

В роботі проведено визначення зміни коефіцієнту технічного використання маневрового тепловоза в залежності від факторів технічної експлуатації. Процедура моделювання враховувала залежність коефіцієнту від: системи технічного обслуговування та планових ремонтів, стратегії екіпіровки паливом, подовження терміну експлуатації, періодичності та тривалості непланових ремонтів. Отримані результати довели обґрунтованість переходу на нову систему технічної експлуатації

Ключові слова: маневрові тепловози, система утримання, коефіцієнт технічного використання, локомотиви, коефіцієнт готовності

В работе проведено определение изменения коэффициента технического использования маневрового тепловоза в зависимости от факторов технической эксплуатации. Процедура моделирования учитывала зависимость коэффициента от: системы технического обслуживания и плановых ремонтов, стратегии экипировки топливом, продления срока службы, периодичности и продолжительности неплановых ремонтов. Полученные результаты показали обоснованность перехода на новую систему технической эксплуатации

Ключевые слова: маневровые тепловози, система содержания, коэффициент технического использования, локомотивы, коэффициент готовности

УДК 629.424.1.001.57

DOI: 10.15587/1729-4061.2016.60640

МОДЕЛЮВАННЯ ЗМІНИ КОЕФІЦІЄНТУ ТЕХНІЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ МАНЕВРОВОГО ТЕПЛОВОЗУ ДЛЯ РІЗНИХ СИСТЕМ УТРИМАННЯ

А. П. Фалендиш

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри*

E-mail: fap_hiit@rambler.ru

А. Л. Сумцов

Асистент**

E-mail: sal-hiit@i.ua

О. В. Артеменко

Аспірант**

E-mail: best-mail1977@mail.ru

О. В. Клецька

Аспірант*

E-mail: gurao@ukr.net

*Кафедра теплотехніки та теплових двигунів***

Кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу*

***Український державний

університет залізничного транспорту

пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050

1. Вступ

Для визначення ефективності системи технічного обслуговування та ремонту (ТОР) застосовують комплексні показники: коефіцієнт технічного використання та коефіцієнт готовності. Коефіцієнт готовності характеризує знаходження тепловоза в справному стані, а коефіцієнт технічного використання – в стані експлуатації. Вони залежать від багатьох факторів експлуатації і ремонту.

Особливо важливим є питання визначення ефективності застосування різних стратегій при введенні в експлуатації нових або модернізованих тепловозів [1, 2]. Враховуючи нагальну потребу в значних об'ємах оновлення тепловозного парку та вибір основного напрямку оновлення за рахунок комплексної модернізації актуальним є вибір системи утримання для модернізованих маневрових тепловозів.

2. Огляд останніх публікацій та постановка проблеми

Визначенню коефіцієнту готовності тягового рухомого складу (ТРС) присвячено багато публікацій.

В роботі [3] розглянуто надійність роботи тепловозного парку лінії ZDM Індійської залізниці. В результаті розрахунку параметрів надійності окремих вузлів запропоновано провести корегування об'ємів робіт існуючої системи утримання. Однак при цьому не розглядається можливість зміни періодичності проведення планових технічних обслуговувань. В дослідженні [4] проведено аналіз функціонування тепловозів та їх ремонтпридатності з послідуною обробкою даних для виявлення шляхів підвищення надійності роботи тепловозного парку. При оцінці якості використовувався коефіцієнт технічного використання, але не проводилась оцінка його зміни від застосування запропонованих в роботі заходів та можливості використання різних стратегій утримання. В статті [5] розглядається методика корегування міжремонтних інтервалів в залежності від сезону експлуатації для підвищення надійності роботи дизеля тепловоза. При цьому коефіцієнт технічного використання було обраховано для існуючої та запропонованої систем. Але в результатах не враховувались зміна стратегій екіпіровки локомотивів і не розглянуто вплив непланових ремонтів на коефіцієнт технічного використання.

Питанню визначення фактичної надійності маневрового тепловозу присвячена праця [6]. В ній розраховано показники надійності та ремонтпридатності маневрових тепловозів SM48, що експлуатуються на залізниці PKP CARGO S. A у Польщі. Можливість вибору іншої системи утримання в роботі не розглядалася. У статті [7] представлені результати дослідження залежностей між відмовами та точковими характеристиками надійності. Запропоновано спосіб визначення коефіцієнту готовності тягового рухомого складу. Питанню визначення коефіцієнту технічного використання та впливу зміни системи ТОР не розглядалося. Стаття [8] присвячена визначенню надійності роботи електровозів на шахті з видобутку цинку та свинцю в місті Тораніка у Македонії. Цікавим у роботі є фактичні значення надійності локомотива в умовах маневрової роботи на шахті. Отримані значення виявили необхідність вдосконалення системи утримання, однак питання її вибору у статті не розглянуто.

В роботах [9, 10] наведено загальні принципи визначення коефіцієнту готовності вантажних локомотивів, його зміну протягом життєвого циклу та прикладні питання його застосування для оцінки роботи системи ТОР локомотивів. Роботи проведені без вивчення питань впливу експлуатаційних факторів на коефіцієнт готовності.

В розглянутих роботах широко висвітлено принципи розрахунку коефіцієнту технічного використання, але недостатньо вивчені питання його зміни при різних системах ТОР та інших експлуатаційних факторів. Не розглянуто вплив непланових ремонтів (НР) на зміну коефіцієнту технічного використання.

3. Мета і завдання дослідження

Метою роботи є моделювання зміни коефіцієнту технічного використання маневрового тепловозу при різних стратегіях його утримання та з урахуванням можливості проведення непланових ремонтів.

Для досягнення мети були сформульовані наступні завдання:

- визначити коефіцієнт технічного використання для різних стратегій планових ТО та ПР при відсутності НР;

- провести моделювання зміни коефіцієнту технічного використання при різних стратегіях екіпіровки тепловоза та обрати найбільш вигідну з них;

- розглянути зміну коефіцієнту технічного використання протягом подовженого до 50 років строку служби тепловоза при різних стратегіях утримання на етапі подовженого строку служби;

- визначити зміну коефіцієнту технічного використання протягом життєвого циклу з урахуванням величини середнього наробітку до НР та при незмінній величині простою на ньому;

- провести моделювання зміни коефіцієнту технічного використання, в залежності від середнього наробітку до НР і часу проведення НР;

- на базі проведеного дослідження та послідуєчої апроксимації отриманих даних визначити залежність зміни коефіцієнту технічного використання в залежності від середнього наробітку до НР і часу проведення НР;

– в результаті проведеного дослідження надати рекомендацію щодо вибору раціональної системи утримання для маневрових тепловозів.

4. Методика моделювання коефіцієнту технічного використання

Ефективність організації системи ТОР можна оцінити різними показниками. З точки зору надійності використовують два комплексні показники: коефіцієнт технічного використання та коефіцієнт готовності. Формулювання та визначення даних понять наведено у ДСТУ 2860 «Надійність техніки. Терміни та визначення». Згідно з цим стандартом коефіцієнт технічного використання $K_{\text{ти}}$ – це відношення математичного сподівання сумарного часу перебування об'єкта у працездатному стані за деякий період експлуатації до математичного сподівання сумарного часу перебування об'єкта в працездатному стані та у простоях, зумовлених технічним обслуговуванням і ремонтом за той самий період.

Коефіцієнт готовності $K_{\text{г}}$ – імовірність того, що об'єкт виявиться працездатним у довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких використання об'єкта за призначенням не передбачено.

Згідно ДСТУ 2862 їх визначають наступним чином

$$K_{\text{ти}} = \frac{K_{\text{г}} T_{\text{д}}}{T_{\text{ном}}}, \quad (1)$$

$$K_{\text{г}} = \frac{T_{\text{о}}}{T_{\text{о}} + T_{\text{в}}}, \quad (2)$$

де $T_{\text{д}}$ – дійсний фонд часу, год; $T_{\text{ном}}$ – номінальний фонд часу, год; $T_{\text{о}}$ – середній наробіток між відмовами, год; $T_{\text{в}}$ – середній час усунення відмов, год.

Дійсний фонд часу $T_{\text{д}}$ дорівнює номінальному фонду часу за винятком простоїв на планові технічні обслуговування та ремонтів $T_{\text{ТОР}}$, тобто

$$T_{\text{д}} = T_{\text{ном}} - T_{\text{ТОР}}. \quad (3)$$

Час простоїв, пов'язаних з проведенням планових технічних обслуговувань (ТО), поточних ремонтів (ПР) та капітальних ремонтів (КР) $T_{\text{ТОР}}$, визначається як сумарний час знаходження локомотива в окремому виді технічного обслуговування та ремонту, помножений на кількість ТО, ПР, КР протягом розрахункового періоду, тобто

$$T_{\text{ТОР}} = \sum_{i=1}^P M_{\text{ТОі}} T_{\text{ТОі}}, \quad (4)$$

де $M_{\text{ТОі}}$ – кількість ТО, ПР, КР і-го виду за період $t_{\text{ном}}$; $T_{\text{ТОі}}$ – тривалість і-го виду ТО, ПР, КР, год; P – кількість видів ТО, ПР, КР.

При розрахунку $M_{\text{ТОі}}$ та $T_{\text{ТОі}}$ враховують всі планові види ТО та ПР, а також неплановий ремонт. При цьому не враховують проведення ТО–1.

Таким чином, враховуючи вище наведене, отримуємо

$$K_{\text{тн}} = K_{\Gamma} \frac{T_{\text{ном}} - (\sum M_{\text{ТОі}} T_{\text{ТОі}})}{T_{\text{ном}}} \quad (5)$$

Для визначення впливу різних факторів скористаємося методами програмування. Для цього розроблено алгоритм визначення коефіцієнту $K_{\text{тн}}$, який представлений на рис. 1. Він дозволяє проводити моделювання з використанням різних систем ТОР та окремих додаткових факторів експлуатації.

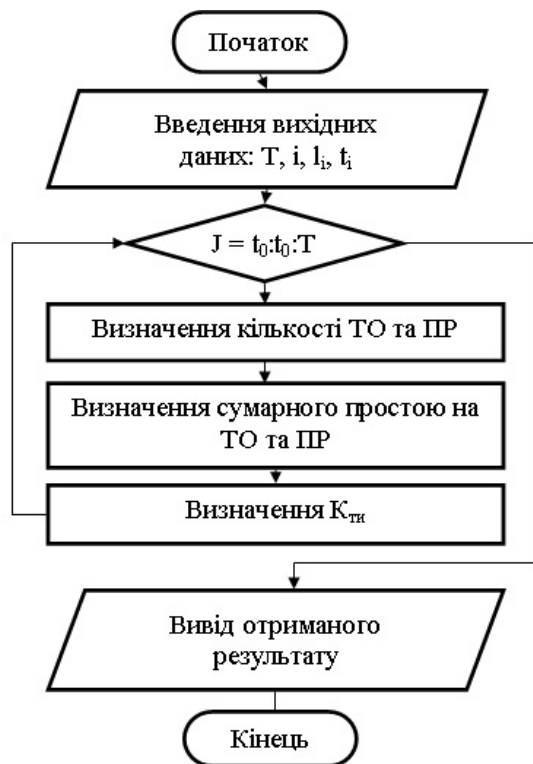


Рис. 1. Алгоритм визначення коефіцієнту технічного використання

Реалізація розробленого алгоритму потребує визначення кількості проведених ТО та ПР. Для визначення цієї величини скористаємося методикою [11] з урахуванням величини напрацювання і норми постановки на планові ТО та ПР у годинах роботи.

5. Результати моделювання коефіцієнту технічного використання та їх обговорення

Для проведення моделювання на базі розробленого алгоритму обрано програмний комплекс для математичних розрахунків MATLAB.

В якості вихідних даних моделювання обрано існуючу систему технічної експлуатації для тепловозів серії ЧМЕЗ. В Україні прийнята планово-попереджувальна система ТОР локомотивів. Вона регламентується «Положенням про планово-попереджувальну систему ремонту технічного обслуговування тягового рухомого складу (електровозів, тепловозів, електро- та дизель-поїздів)» [12]. Ним встановлені види ТО, ПР та КР, а також їх тривалість та періодичність для кожної з серій ТРС. Для тепловозів ЧМЕЗ передбачено наступні види планових ТО, ПР та КР:

- технічне обслуговування ТО–1, ТО–2, ТО–3, поточний ремонт ПР–1 призначені для попередження появи несправностей ТРС в експлуатації, підтримання його в працездатному і належному санітарно–гігієнічному стані, забезпечення безпечної експлуатації, пожежної безпеки та безаварійної роботи;

- технічне обслуговування ТО–4 призначене для обточування бандажів колісних пар (без викочування їх з–під локомотиву) з метою підтримання оптимальної величини прокату та товщини гребенів;

- технічне обслуговування ТО–5 призначене для консервації та локомотивів при постановці в запас та резерв, або підготовки локомотива до відправлення в недіючому стані на капітальні та поточні ремонти на заводи чи інші депо. Або розконсервація до експлуатації після побудування, ремонту на заводах чи в інших депо, підготовка (розконсервація) до експлуатації перед видачею локомотивів із запасу або резерву;

- поточний ремонт ПР–3 призначений для забезпечення справності тягового рухомого складу, відновлення основних експлуатаційних характеристик та забезпечення їх стабільності в міжремонтний період виконанням ревізії, ремонту, заміни груп деталей, вузлів та агрегатів, регулювання та випробувань, а також часткової модернізації;

- капітальний ремонт КР–1 – для відновлення паспортних характеристик, часткового відновлення ресурсу заміною та ремонтом зношених несправних агрегатів ТРС, вузлів, деталей та їх модернізації;

- капітальний ремонт КР–2 – для відновлення справності та повного ресурсу тягового рухомого складу, його паспортних характеристик, модернізації агрегатів, вузлів та деталей, повної заміни кабельно–провідникової продукції та обладнання, що відпрацювало свій ресурс на нове.

В якості вихідних даних для моделювання коефіцієнту технічної готовності розглянемо чотири стратегії проведення ТО та ПР. Для тепловозів серії ЧМЕЗ, згідно положення [12], встановлені різні норми постановки на ТО, ПР та КР в залежності від терміну експлуатації:

- в межах нормативного терміну служби;
- при експлуатації в понад нормативний термін служби;
- після глибокої модернізації новим силовим обладнанням.

Окрім приведених норм проаналізуємо системи технічної експлуатації модернізованого тепловозу серії ЧМЕЗ з дизелем Cat–3508 згідно з рекомендованими виробником нормами пробігу [13].

Міжремонтні інтервали для перелічених систем приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Нормативні міжремонтні інтервали для тепловозів серії ЧМЕЗ

№ п/п	Стратегія утримання	Періодичність					
		ТО–2	ТО–3	ПР–1	ПР–3	КР–1	КР–2
		дб	дб	міс	міс	років	років
1	1 стратегія	3	36	8,5	30	8,5	17
2	2 стратегія	3	45	8,5	30	8,5	17
3	3 стратегія	3	58	11	39	11	22
4	4 стратегія	5	60	12	36	7,5	15

Норми простою для всіх систем однакові і складають: для ТО–2 – 1,5 години, ТО–3 – 12 годин, ПР–1 – 24 години, ПР–2 – 96 годин, ПР–3 – 120 годин.

Таким чином вихідними даними для моделювання є міжремонтні пробіги та норми простою маневрових тепловозів встановлені в діючій системі ТОР та норми запропоновані виробником модернізації.

Для моделювання використаємо рівні для всіх стратегій ТОР додаткові умови:

1) технічне обслуговування ТО–4 проводиться однаково для всіх груп з інтервалом у 6120 годин та простоем у 6 годин на тепловоз;

2) норма простою для всіх КР однакова і складає 720 годин;

3) час в очікуванні ремонту та час витрачений на транспортування до місця проведення КР не враховується;

4) технічне обслуговування ТО–5 проводиться тільки при направленні на КР з простоем 12 годин до та 12 годин після проведення КР.

Ведення цих умов пов'язано з їх залежністю від депо експлуатації. Так, наприклад, в залежності від полігону експлуатації (наявність різних ухилів, кривих ділянок колії, пори року, вид виконаної роботи) необхідність проведення ТО–4 відрізняється, тому для аналізу доцільно прийняти її рівною для усіх систем утримання. Аналогічна ситуація з проведенням КР. Простій на КР визначається договором на його проведення, а час на пересилку на завод та в зворотному напрямі залежить від відстані між депо приписки та локомотиворемонтним заводом, порядком пересилки локомотиву та додатковими витратами часу, пов'язаними з необхідністю очікування пересилки.

Проведення ТО–5 необхідно для пересилки локомотива на завод або в інше депо для проведення планових КР, ПР–3, ПР–1 або передачі в постійну експлуатацію, а також на сезонну консервацію. В залежності від оснащеності депо та атестації його ремонтного цеху, ПР–3 та ПР–1 можуть проводитися на базі депо експлуатації, що виключає ТО–5. В залежності від обсягів перевезень аналогічна ситуація складається і з сезонною консервацією і зберіганням у зимовий період. Тому для рівності цих умов приймаємо необхідність проведення ТО–5 тільки при проведенні КР.

Ідеальним є варіант експлуатації тепловоза, при якому не відбувається відмов на лінії і, як наслідок, не проводяться НР, всі можливі несправності усуваються на планових ТО та ПР без збільшення часу простою на них. В якості кроку розрахунку t_0 прийемо 72 години для всіх систем. Це дозволяє з достатньою точністю моделювати зміну коефіцієнту технічного використання.

Для тепловозів ЧМЕЗ різних варіантів експлуатації, відповідно до даних табл. 1 та з урахуванням обмежень, в кінці життєвого циклу (ЖЦ) отримуємо:

- для першої стратегії $K_{ти}=0,9543$;
- для другої стратегії $K_{ти}=0,9567$;

- для третьої стратегії $K_{ти}=0,9606$;
- для четвертої стратегії $K_{ти}=0,9662$.

Зміна коефіцієнту технічного використання протягом нормативного життєвого циклу (25 років) для кожної групи наведена на рис. 2.

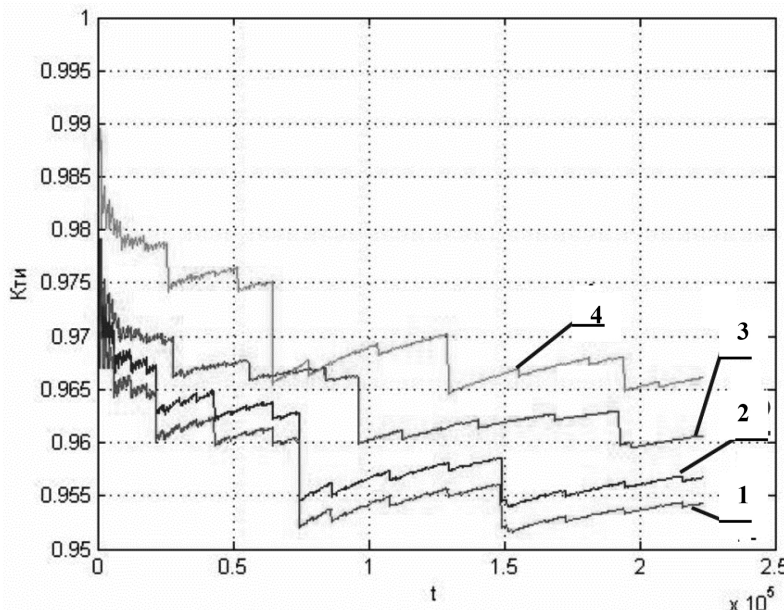


Рис. 2. Зміна коефіцієнту технічного використання $K_{ти}$ для тепловозів ЧМЕЗ протягом нормативного життєвого циклу t при різних стратегіях утримання: 1 – перша стратегія, 2 – друга стратегія, 3 – третя стратегія, 4 – четверта стратегія

Як видно з графіку 1 (рис. 2), зміна коефіцієнту $K_{ти}$ протягом ремонтного циклу (час від побудови до КР або між суміжними КР) є нерівномірною. Найбільша його зміна (зниження) відбувається на першому ремонтному циклі з послідовним вирівнюванням на наступних. При рівних нормах простою на ТО та ПР коефіцієнт готовності буде максимальним при найбільших міжремонтних інтервалах. Однак, збільшення міжремонтного інтервалу вимагає покращення якості ремонту та широке застосування систем неруйнівного контролю та бортових діагностичних комплексів. В іншому випадку збільшення міжремонтного інтервалу в реальних умовах призводить до збільшення кількості непланових ремонтів.

При технічній експлуатації маневрових тепловозів використовують різні системи екіпірування тепловоза. Це пов'язано з роботою маневрових тепловозів на різній відстані від пунктів екіпіровки, різною добовою витратою палива і, як наслідок, різними підходами в проведенні самого ТО–2. Так, для тепловозів, що виконують тільки маневрову роботу на віддалених від основного депо станціях, ТО–2 проводиться силами локомотивної бригади без дозаправки паливом. В зв'язку з цим екіпіровка паливом відбувається тільки на ТО–3 та більш крупних видах обслуговування та ремонту. Для тепловозів, що працюють на вивізній та приміській роботі, екіпіровка паливом здійснюється майже кожне ТО–2. Час, витрачений на екіпіровку паливом (як і іншими експлуатаційними матеріалами), повністю залежить від особливостей розташування та планування пункту ТО. Для моделювання впливу проведення екіпіровки при проведенні ТО–2 задамо

збільшення часу простою в середньому на 1 годину. Всі інші умови та обмеження залишимо без змін. В результаті проведених розрахунків, в кінці ЖЦ, отримаємо наступні результати, для норм:

- першої стратегії $K_{ти}=0,9416$;
- другої стратегії $K_{ти}=0,9438$;
- третьої стратегії $K_{ти}=0,9475$;
- четвертої стратегії $K_{ти}=0,9585$.

Графік зміни $K_{ти}$ в залежності від часу виконання ТО-2 при проведенні екіпіровки для різних систем наведений на рис. 3.

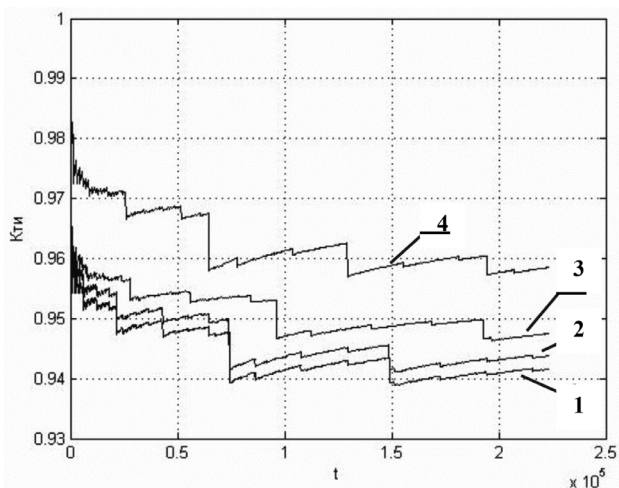


Рис. 3. Зміна коефіцієнту технічного використання $K_{ти}$ тепловозу ЧМЕЗ протягом нормативного життєвого циклу t при різних системах утримання та збільшені часу простою на ТО-2: 1 – перша стратегія, 2 – друга стратегія, 3 – третя стратегія, 4 – четверта стратегія

Таким чином, зменшення простою тепловоза на ТО-2 за рахунок відсутності екіпірування дозволяє підвищити коефіцієнт технічного використання на 0,8–1,3 % в залежності від прийнятої стратегії ТОР.

Положенням [12] встановлено відхилення від норм для постановки тепловозів на ТО-3 та ПР-1 у $\pm 10\%$, для ПР-2 та ПР-3 від -10% до $+20\%$ та для КР від -10% до $+25\%$. В роботі [14] доведено, що оптимальний діапазон відхилення норм пробігів для планових ТО та ПР з технічної та економічної сторони знаходиться у інтервалі $\pm 10\%$. Враховуючи це розглянемо зміну коефіцієнту $K_{ти}$ при зменшені та збільшені пробігу в межах встановлених відхилень. Вихідні умови та обмеження приймемо однаковими з попереднім варіантом моделювання для нормативного терміну експлуатації за виключенням норм пробігів. Величину пробігів будемо дискретно змінювати в діапазоні від 90 до 110 % з кроком у 5 % для ТО-3 і всіх ПР та КР. При цьому норма постановки на ТО-2 залишиться без змін. Рівномірне збільшення норм пробігу призводить до збільшення $K_{ти}$ від 0,9499 при 90 % до 0,9601 при 110 % від номінальних норм постановки на ТО, ПР та КР.

Таким чином, можливо значно підвищити $K_{ти}$ в межах існуючих нормативів для планових ТО та ПР. Іншим напрямом є використання диференційованих норм, при яких на

початковому етапі застосовуються гранично допустимі норми (за максимальним значенням) з поступовим їх зменшенням після проведення кожного КР, але не нижче нормативного рівня. Результатом таких дій отримаємо $K_{ти}$ на рівні системи з нормативною системою експлуатації в кінці ЖЦ.

Розглянемо зміну ефективності системи експлуатації при продовженні терміну служби до 50 років. Умовно ЖЦ буде складатися з наступних етапів:

- нормативний – від побудови до третього капітального ремонту – етап нормативної експлуатації;
- понад нормативний – другий етап після проведення третього КР або модернізації до списання.

На першому етапі використовується система ТОР для тепловозів з нормативним терміном служби.

На другому етапі розглянемо три варіанти системи ТОР:

- продовження експлуатації за нормами (2 стратегія);
- перехід на систему понаднормативної експлуатації (1 стратегія);
- проведення модернізації з переходом на нову систему (3 та 4 стратегії).

В якості нормативних даних використаємо норми ТО та ПР (табл. 1). Для розрахунку використаємо ті ж обмеження, що і для попереднього розрахунку та додаткові:

- час простою на всіх КР рівний та складає 720 годин, в тому числі з заходами по подовженні терміну служби;
- перед та після проведення КР проводиться ТО-5;
- час проведення модернізації рівний часу на КР з врахуванням проведення ТО-5.

Враховуючи ці вихідні дані отримаємо:

- для другої стратегії $K_{ти}=0,9552$;
- для першої стратегії $K_{ти}=0,9540$;
- для третьої стратегії $K_{ти}=0,9571$;
- для четвертої стратегії $K_{ти}=0,9598$.

Результат розрахунку у вигляді графіку зміни коефіцієнту технічного використання протягом життєвого циклу наведений на рис. 4.

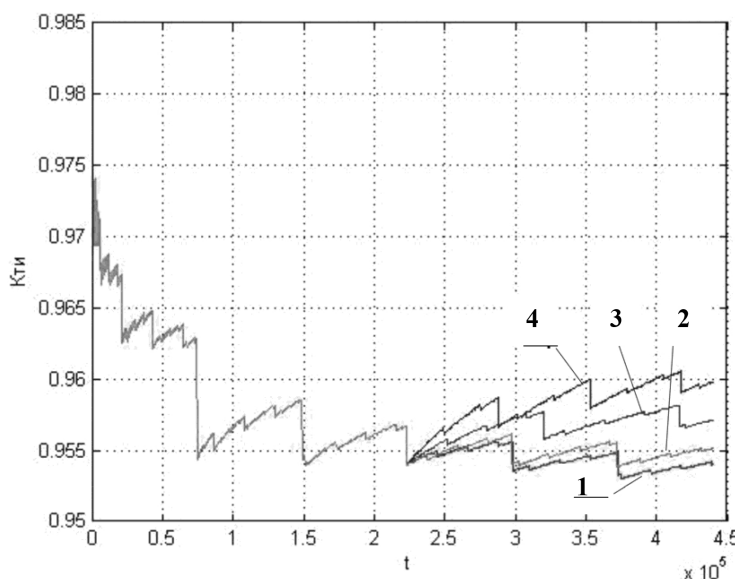


Рис. 4. Зміна коефіцієнту технічного використання $K_{ти}$ протягом подовженого життєвого циклу t та переході на різні системи технічного обслуговування та ремонту: 1 – перша стратегія, 2 – друга стратегія, 3 – третя стратегія, 4 – четверта стратегія

Зниження коефіцієнту технічного використання при подовженні експлуатації понад нормативний термін уповільнюється. При проведенні модернізації коефіцієнт готовності в кінці ЖЦ більший, ніж в кінці першого етапу на 0,1 %. При використанні нової системи ТОР він збільшується на 0,3 %.

Завдяки проведенню модернізації та переходу на нову систему ТОР, збільшується час знаходження тепловоза в експлуатації у порівнянні з двома іншими системами. Це дозволить збільшити можливий час роботи локомотива в експлуатації.

Нажаль, таких ідеальних умов функціонування системи ТОР досягти неможливо. Це пов'язано з впливом на стан локомотива в експлуатації (кліматичні умови, особливості полігону експлуатації, режими навантаження та ін.) і системи ТОР (якість проведення ремонту, якість запасних частин, своєчасність прогнозування виникнення відмов та ін.). Тому виникає необхідність проведення НР. З точки зору часу на усунення відмови НР може проявлятися в двох різновидах: збільшені часу простою на планових видах ТО та ПР та проведені окремого НР.

Розглянемо варіант функціонування системи ТОР, при якому проводиться окремий НР без зміни проведення планових ТО та ПР.

Для розрахунку коефіцієнту технічного використання, з урахуванням НР, введемо додаткові умови, що його характеризують: час простою на НР та середній наробіток до НР. За даними експлуатації приймемо середній простій на НР на рівні 10 годин, а напрацювання до НР 2 000 год., 4 000 год., 6 000 год., 8 000 год., 10 000 год. та 20 000 год. Всі інші вхідні дані та обмеження приймемо аналогічними першому моделюванню для тепловозу ЧМЕЗ в межах нормативного терміну експлуатації (2 стратегія).

Результати розрахунку коефіцієнту готовності представлені на рис. 5.

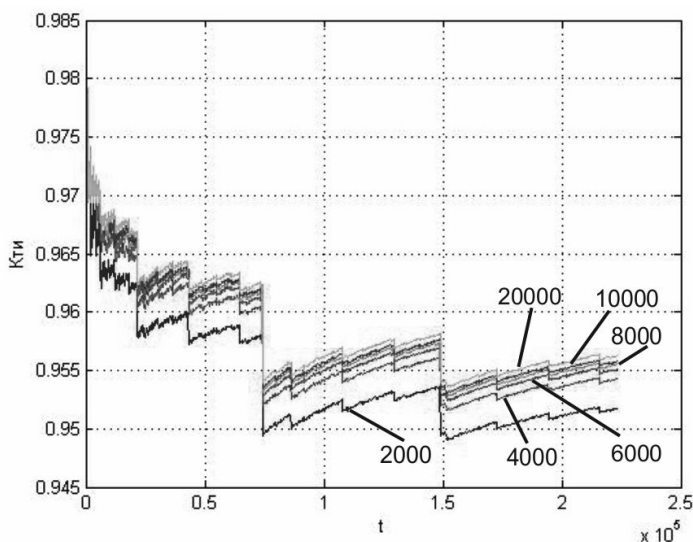


Рис. 5. Зміна коефіцієнту технічного використання $K_{ти}$ протягом життєвого циклу t в залежності від середнього напрацювання до непланового ремонту

З графіку видно, що найбільша зміна коефіцієнту готовності в інтервалі від 2 000 до 6 000 годин, а подальше збільшення напрацювання до НР призводить до незначної зміни коефіцієнту готовності.

Розглянемо докладніше зміну коефіцієнту технічного використання в залежності від параметрів НР. Зміна середнього інтервалу між НР значно впливає на значення коефіцієнту технічного використання, але в реальній експлуатації величина простою НР теж змінна. Тому необхідно розглянути зміну коефіцієнту від часу простою та інтервалу між НР. Середній простій будемо змінювати в інтервалі від 1 до 80 год., а пробіг між НР від 1 000 до 80 000 год. Результати розрахунку коефіцієнту готовності в кінці життєвого циклу наведені на рис. 6.

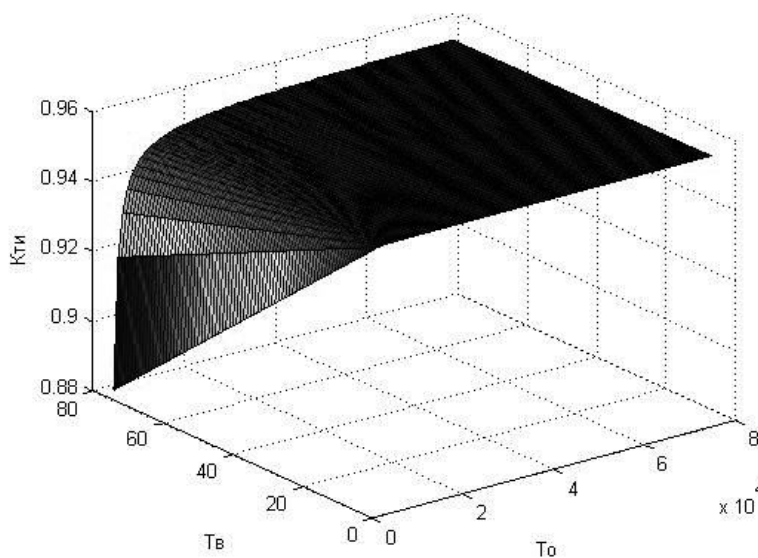


Рис. 6. Зміна коефіцієнту технічного використання $K_{ти}$ в кінці життєвого циклу в залежності від часу простою на неплановому ремонті ($T_в$) та середньому напрацюванню до нього (T_0)

Проведемо апроксимацію отриманої залежності коефіцієнту технічного використання в кінці життєвого циклу від часу простою та середньому наробітку до НР. Для цього скористаємося пакетом математичних програм MATLAB. В результаті апроксимації для всіх систем отримаємо наступні залежності:

– для першої стратегії

$$K_{ти}(T_0, T_в) = 0,9533 + 4,94 \cdot 10^{-8} T_0 - 4,865 \cdot 10^{-5} T_в - 5,268 \cdot 10^{-13} T_0^2 + 5,617 \cdot 10^{-10} T_0 T_в ; (6)$$

– для другої стратегії

$$K_{ти}(T_0, T_в) = 0,9557 + 4,94 \cdot 10^{-8} T_0 - 4,865 \cdot 10^{-5} T_в - 5,268 \cdot 10^{-13} T_0^2 + 5,617 \cdot 10^{-10} T_0 T_в ; (7)$$

– для третьої стратегії

$$K_{ти}(T_0, T_в) = 0,9596 + 4,94 \cdot 10^{-8} T_0 - 4,865 \cdot 10^{-5} T_в - 5,268 \cdot 10^{-13} T_0^2 + 5,617 \cdot 10^{-10} T_0 T_в ; (8)$$

– четвертої стратегії

$$K_{ти}(T_o, T_b) = 0,9651 + 4,94 \cdot 10^{-8} T_o - 4,865 \cdot 10^{-5} T_b - 5,268 \cdot 10^{-13} T_o^2 + 5,617 \cdot 10^{-10} T_o T_b \quad (9)$$

Достовірність проведеної апроксимації перевірена за двома критеріями: сума квадратів похибок SSE та R². Вони склали відповідно 0,0005539 та 0,9972 для всіх отриманих виразів. Адекватність отриманих рівнянь перевірена за величиною абсолютної та відносної похибки апроксимації. Результати їх розрахунку наведені в табл. 2. Отримані значення відносної похибки (менше 0,01 %) свідчать про адекватність отриманих рівнянь.

Таблиця 2

Результати обчислення похибки апроксимації

№ п/п	Стратегія утримання	Абсолютна похибка, 10 ⁻⁵	Відносна похибка, %
1	1 стратегія	7,4030	0,0084
2	2 стратегія	8,6095	0,0098
3	3 стратегія	7,3953	0,0083
4	4 стратегія	7,3856	0,0083

З отриманих залежностей (6)–(9) видно, що для прийнятої структури системи ТОР збільшення періодичності проведення НР призводить до збільшення коефіцієнту K_{ти} і навпаки. Вплив часу простою в даному випадку має протилежну залежність.

Окрім цього в результаті моделювання для різних систем отримано однакові рівняння залежності K_{ти} від НР, за виключенням першої складової, що напряму залежить від K_{ти} при ідеальному функціонуванні системи ТОР (без проведення НР) розглянутої на початку дослідження.

В результаті моделювання серед розглянутих варіантів стратегій утримання маневрового тепловозу найбільш раціональним буде застосування четвертої стратегії утримання без екіпіровки на ТО–2.

Проведене дослідження було спрямоване на аналіз зміни коефіцієнту технічного використання в залежності від різних факторів експлуатації. В якості переваги та науково-практичної цінності можливо відмітити, що результати моделювання вперше було порівняно різні стратегії проведення планових видів ТО та ПР для маневрових тепловозів в рамках прийнятій на Україні планово-попереджувальній системі ТОР та отримано математичні залежності зміни коефіцієнту технічного використання в залежності від середнього наробітку до НР та часу простою на НР.

В якості практичної цінності слід зазначити результати проведеного моделювання двох найбільш ефективних систем ТОР, представлені третьою та четвертою стратегіями. Збільшення міжремонтного інтервалу для ТО–2, ТО–3 та ПР–1 при одночасному його зменшенні для ПР–3 та КР дозволяє підвищити коефіцієнт технічного використання. З огляду на це в експлуатації насамперед потрібно збільшувати фактичні міжремонтні пробіги насамперед для технічних обслуговувань ТО–2 та ТО–3. Це можливо досягти за рахунок застосування сучасних діагностичних комплексів та систем.

Таким чином, застосовуючи приведену методику для порівняння різних варіантів систем утримання маневрових тепловозів можливо обрати найбільш ви-

гідну за критерієм максимальності коефіцієнта технічного використання. Отримані математичні залежності можливо використовувати при розробці вимог до нових або модернізованих тепловозів і систем їх утримання в частинні обґрунтування величини коефіцієнту технічного використання при відомих параметрах надійності тепловоза в цілому. Також можливе вирішення і зворотної задачі при відомій або заданій величині коефіцієнту технічного використання визначити вимоги до надійності маневрового тепловоза. Окрім цього використання отриманих результатів в подальших дослідженнях дозволить враховувати вплив НР при розробці та подальшій оптимізації систем утримання.

6. Висновки

1. Протягом життєвого циклу відбувається зміна коефіцієнту технічного використання, який залежить від прийнятої системи ТОР. При ідеальному функціонуванні системи ТОР та самого локомотива, згідно норм другої стратегії утримання, коефіцієнт технічного використання буде складати K_{ти}=0,9567.

2. При збільшенні простою під час ТО–2 на 1 годину за рахунок проведення екіпіровки тепловоза коефіцієнт K_{ти} знижується до 0,9438, що свідчить про недоцільність такого підходу. Необхідно усунути додаткові простої на ТО–2, пов'язані з екіпіруванням за рахунок максимального заправлення паливом та іншими експлуатаційними матеріалами на ТО–3 та всіх видах ПР.

3. В разі продовження терміну експлуатації до 50 років і при відсутності змін у системі ТОР, коефіцієнт технічного використання буде складати K_{ти}=0,9552. При продовженні терміну експлуатації з 25 до 50 років та модернізації тепловоза і зміні стратегії ТОР на нову коефіцієнт технічного використання підвищується до K_{ти}=0,9571, а при використанні норм для четвертої стратегії він досягає K_{ти}=0,9598.

4. Зміна коефіцієнта K_{ти} залежить від середнього наробітку та часу проведення НР. При незмінному часі простою найбільша зміна коефіцієнту готовності при прийнятій системі технічної експлуатації відбувається в інтервалі від 2 000 один до 6 000 годин, а далі збільшення напрацювання до НР призводить до незначної зміни коефіцієнту готовності та коефіцієнту технічного використання K_{ти}.

5. Моделювання зміни коефіцієнту K_{ти} в залежності від наробітку до НР і часу проведення НР доводить, що вплив зміни часу простою на НР найбільш вагомий при малих інтервалах наробітку до НР (до 2000 год.). Зі збільшенням надійності роботи тепловоза і, як наслідок, збільшенням середнього наробітку до непланового ремонту величина простою майже не впливає на величину коефіцієнту технічного використання.

6. В результаті проведеного моделювання зміни коефіцієнту K_{ти} в залежності від наробітку до НР і часу проведення НР та послідуочної апроксимації отриманих даних, отримано залежність зміни K_{ти} у вигляді поліному. Визначено, що залежність K_{ти} від НР однакова для всіх систем утримання і в першу чергу залежить від ідеального варіанту функціонування системи ТОР (без проведення непланових ремонтів).

7. На базі отриманих в результаті моделювання даних найбільш раціональною з точки зору максимального коефіцієнту технічного використання буде четверта стратегія утримання маневрових тепловозів. При її застосуванні маневровий тепловоз буде знаходитися більше часу в стані експлуатації, у порівнянні

з іншими стратегіями, що надасть можливість виконати більший об'єм роботи. Так у порівнянні з існуючою (2 стратегія) коефіцієнт технічного використання збільшується на 0,993 %, що в перерахунку на тривалість життєвого циклу тепловоза у 25 років надає приріст в часі роботи в розмірі 90 діб.

Література

1. Данько, Н. И. Проблемы обновления подвижного состава железных дорог Украины и пути их совершенствования с учетом жизненного цикла [Текст] / Н. И. Данько, Э. Д. Тартаковский, Д. В. Ломотько, А. П. Фалендыш, Ю. Е. Калабухин // Залізничний транспорт України. – 2011. – Вип. 3. – С. 22–25.
2. Фалендыш, А. П. Вопросы модернизации тепловозов с учетом жизненного цикла [Текст] / А. П. Фалендыш, А. Л. Сумцов, О. В. Клецкая // Локомотив–информ. – 2015. – Вып. 103-104. – С. 4–9.
3. Despodov, Z. Determination of reliability parameters of locomotive transport system in main haulage drift in the Toranica lead and zinc mine [Text] / Z. Despodov // Acta Montanistica Slovaca. – 1998. – Vol. 3, Issue 4. – P. 495–498.
4. Varakuta, E. Reliability parameters of railways rolling-stock functioning researching during its exploitation [Text] / E. Varakuta, J. Beleckyy, N. Bragin // TeKa commission of motorization and power industry in agriculture Lublin university of technology Volodymyr Dahl East–Ukrainian national university of Lugansk. – 2010. – Vol. XD. – P. 25–30.
5. Gandhare S. N. Re–Scheduling Of Maintenance Tasks for Diesel Locomotive (ZDM) Maintenance Work Using FMEA Technique–An Industrial Engineering Approach for Saving the Resources [Text] / S. N. Gandhare, T. A. Madankar, D. R. Ikhar // OSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR–JMCE) International Conference on Advances in Engineering & Technology, 2014. –P. 47–54.
6. Bose, D. Measurement and Evaluation of Reliability, Availability and Maintainability of a Diesel Locomotive Engine [Text] / D. Bose, G. Gliosli, K. Maiidal, S. P. Sau, S. Kuuar // International Journal of Scientific and Research Publications. – 2013. – Vol. 3, Issue 9. – P. 1–18.
7. Zhang Z. Reliability modeling and maintenance optimization of the diesel system in locomotives [Text] / Z. Zhang, O. W. Ga, Y. Zhou, Z. Zhang // Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability. – 2012. – Vol. 14, Issue 4. – P. 302–311.
8. Szkoda, M. Analysis of reliability, availability and maintainability (RAM) of SM48 diesel locomotive [Text] / M. Szkoda // EURO–ZEL 2014 22nd International Symposium, 2014. – P. 1–10.
9. Устенко, О. В. Критерії оцінки технічної ефективності віртуальної системи технічної експлуатації тягового рухомого складу [Текст] / О. В. Устенко // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – 2010. – № 23. – С. 134–141.
10. Тартаковський, Е. Д. Розробка системи утримання тягового рухомого складу при подовженні терміну його експлуатації [Текст] / Е. Д. Тартаковський, О. С. Крашенінін, С. А. Матвієнко // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – 2012. – № 31. – С. 142–149.
11. Тартаковский, Э. Д. Методы оценки жизненного цикла тягового подвижного состава железных дорог [Текст] / Э. Д. Тартаковский, С. Г. Грищенко, Ю. Е. Калабухин, А. П. Фалендыш. – Луганск: изд-во «Ноулидж», 2011. – 174 с.
12. Положення про планово–попереджувальну систему ремонту технічного обслуговування тягового рухомого складу (електровозів, тепловозів, електро та дизель–поїздів) [Текст]. – Затверджено наказом Укрзалізниці №093Ц від 30.06.2010 р. – Київ, 2011. – 30 с.
13. Тепловоз маневровий ЧМЭ–ЗМ. Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию. Часть 3 [Текст]. – Инструкция по техническому обслуживанию ЧМЭ–ЗМ.00.03.000РЭ.
14. Капіца, М. І. Розвиток наукових основ удосконалення систем утримання тягового рухомого складу [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / М. І. Капіца. – Дніпропетр. нац. ун–т заліз. трансп. ім. В. Лазаряна, 2010. – 39 с.