

УДК 649.42

ОЦІНКА ПРИДАТНОСТІ СТАНУ ЛОКОМОТИВІВ У ПЕРІОД ПОНАДНОРМАТИВНОГО ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Д-р техн. наук О. С. Крашенінін, старш. викл. М. М. Одегов

ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ СОСТОЯНИЯ ЛОКОМОТИВОВ В ПЕРИОД СВЕРХНОРМАТИВНОГО СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ

Д-р техн. наук А. С. Крашенинин, старш. препод. Н. Н. Одегов

STATE OF CONFORMITY ASSESSMENT PERIOD LOCOMOTIVES IN EXCESS OF REGULATORY LIFETIME

Doctor of technical sciences A. S. Krashenin, N. N. Odegov

У статті розглядаються питання визначення чинників, що впливають на забезпечення надійності і ефективності тягового рухомого складу за період його понаднормативної експлуатації.

Ключові слова: тяговий рухомий склад (ТРС), система утримання ТРС.

В статье рассматриваются вопросы определения факторов, влияющих на обеспечение надежности и эффективности тягового подвижного состава за период его сверхнормативной эксплуатации.

Ключевые слова: тяговой подвижной состав (ТПС), система содержания ТПС.

The moral and physical deterioration of traction rolling stock can lead to serious negative consequences in all areas of management of the railways.

In our country, as in some European countries, launched the reform of the railways and, in particular, the railway sector, which should contribute to providing impetus to the industry. It is clear that the deployment of this process will be accompanied by possible errors and losses. Note that in this sense need informed and cautious measures, based on achievements, experience and scientific narobkah scientists. Intended applications before development of the industry should not stand alone or completely ignored. In addition we must consider that instantly solve the problem of increasing the efficiency of railways impossible. In terms of a scientific approach involves problem solving Factors affecting the life of existing appropriate traction rolling stock if necessary, upgrade, or its rate of renewal.

The spectrum of research includes search solutions optimize maintenance repair locomotives within the maintenance; place and role in the diagnosis of maintenance, maintenance; cycling and frequency of maintenance, maintenance; problems lifecycle traction rolling stock.

Keywords: traction rolling stock, system maintenance traction rolling stock.

Вступ. Технічний стан ТРС залізниць України характеризується значним погіршенням всіх складових його ефективності і досягненням критичної межі. Обмеженість в усіх видах ресурсів не дозволяє проводити в повному обсязі

необхідні кроки щодо виправлення цієї ситуації. Як показує практика, потрібні науково і практично обґрунтовані заходи, що спроможні забезпечувати підтримання необхідного рівня надійності і ефективності використання ТРС. Це ставить

актуальним питання щодо подальшого його використання після досягнення нормативного терміну експлуатації.

Моральний і фізичний знос ТРС може призвести до серйозних негативних наслідків в усіх сферах господарювання залізниць.

В нашій країні, як і в ряді європейських країн, започаткована реформа залізниць і, зокрема, залізничного господарства, що повинна сприяти наданню імпульсу розвитку галузі. Зрозуміло, що розгортання цього процесу буде супроводжуватися можливими помилками і втратами. Слід відмітити, що в цьому сенсі потрібні зважені і обережні заходи, що базуються на досягненнях, досвіді і наукових напрацюваннях науковців. Намічені раніше програми розвитку галузі не повинні стояти окремо або зовсім ігноруватися. Крім того, треба вважати, що миттєво вирішити задачі підвищення ефективності залізниць неможливо. З точки зору наукового підходу, це передбачає вирішення задач визначення чинників, що впливають на доцільний термін використання діючого ТРС чи необхідності модернізації, чи його темпів оновлення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням удосконалення і підвищення ефективності утримання ТРС присвячені дослідження Г.Г. Басова, Б.Є. Боднара, С.Г. Грищенка, О.І. Володіна, О.Л. Голубенка, В.Г. Пузиря, Є.Є. Коссова, В.Г. Маслієва, Е.Д. Тартаковського, В.О. Четвергова та інших вітчизняних та закордонних учених.

Спектр питань досліджень включає пошук рішення оптимізації технічного обслуговування ремонту локомотивів у рамках системи утримання; місця і ролі діагностування при ТО, ПР; циклічності і періодичності системи ТО, ПР; проблем життєвого циклу ТРС.

Метою статті є визначення чинників, що впливають на ефективний термін використання локомотивів і визначають доціль-

ність подовження терміну їх використання понад нормативний термін експлуатації.

Виклад основного матеріалу.

Подовження терміну експлуатації за умови дотримання відповідних умов можна подовжити з 22 до 40 років, оскільки ресурс локомотивів залежить від інтенсивності використання і може змінюватись в межах $7\div 10$ років [1, 4].

Остаточним кроком при визначенні граничного терміну експлуатації локомотивів слід вважати економічні витрати. Дотримання цих вимог дозволить ефективно використати парк локомотивів при подовженні терміну його експлуатації, за умови відповідності необхідним технічним характеристикам.

Задача обґрунтування ефективної циклічності ТО і ПР при подовженні терміну експлуатації локомотивів полягає у визначенні такого варіанта напрацювань, якому відповідає мінімум витрат на утримання, зокрема, парку магістральних тепловозів. Показник ефективності у цьому випадку являє собою суму витрат на ТО-3, ПР і КР (з корегуванням по витратах на дизельне паливо) тепловоза за період досягнення ним сумарного напрацювання.

Прийняті наступні значення напрацювання (пробіги) після відновлювального ремонту (ВР) ($L_{ВР}$) до списання, що мають границі $L_{ВР} = 360, 420, 450$ і 500 тис. км. Число ПР-3 до списання повинне становити $1\div 2$; число ПР-2 у період до ПР-3 – $0\div 1$; напрацювання між поточними ремонтами ПР-2 і ПР-3 повинно зменшуватися в міру збільшення їхніх порядкових номерів у ремонтному циклі до списання (тобто замість традиційного принципу рівності і кратності нормативних напрацювань варто використовувати принцип їх "диференціювання"), оскільки технічний стан локомотива має тенденцію до погіршення з ростом його напрацювання від ВР, ПР-3 і ПР-2; нормативні пробіги між ТО-3 і ПР-1 також повинні зменшуватися в міру росту напрацювання локомотива від ВР.

На рис. 1 подано вісім варіантів періодичності та чергування ПР-2 і ПР-3

для прийнятих чотирьох варіантів $L_{BP} = 360, 420, 450, 500$ тис. км.

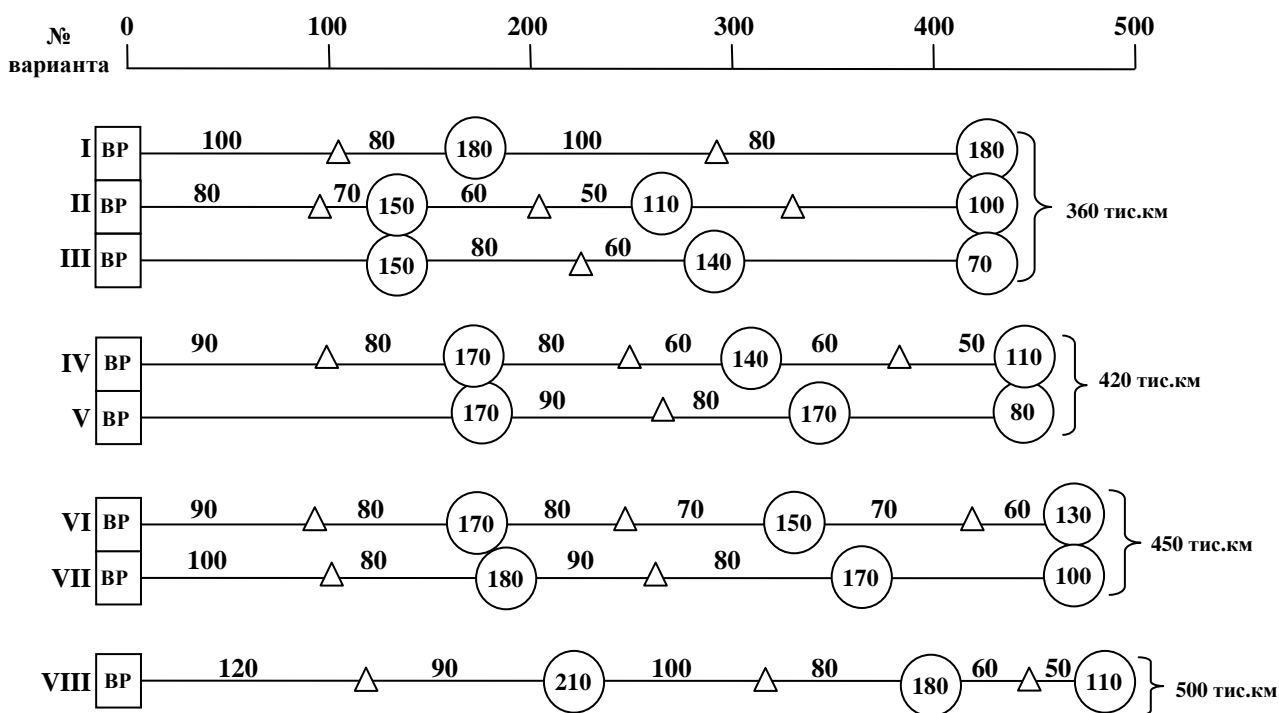


Рис. 1. Варіанти періодичності ремонтного циклу ПР-3 і ПР-2 для різних пробігів L_{BP} до списання:

- – ПР-3, числа у колі – пробіг до ПР-3, тис. км;
- △ – ПР-2, числа над лініями – пробіг до ПР-2, тис. км

Особливості варіантів: II – зі звичайним чергуванням ремонтів, тобто із двома ПР-3 і трьома ПР-2; III – із двома ПР-3, але в період від ВР до першого ПР-3 відсутній ПР-2; I – з одним ПР-3 і двома ПР-2 за пробіг від ВР до списання. Варіанти з $L_{BP} > 360$ тис. км усі передбачають по два ремонти ПР-3 і 2÷3 ремонти ПР-2. Найбільший пробіг до ПР-3 у варіантах відповідає періоду від ВР до I ПР-3 (при $L_{BP} = 500$ тис. км) і становить 210 тис. км, а найменший – 110 тис. км (період від I ПР-3 до II ПР-3 при $L_{BP} = 360$ тис. км).

Для кожного з восьми варіантів у дослідженнях використовувалися два

різновиди періодичності ПР-1: А – для періоду роботи тепловоза від ВР до I ПР-3 – 40 тис. км, для періоду від I ПР-3 до II ПР-3 – 35 тис. км, від II ПР-3 до завершення експлуатації – 30 тис. км; Б – відповідно по зазначених періодах 35, 30 і 25 тис. км. Таким чином, періодичність ПР-1 також прийнята диференційованою зменшуваною від періоду до періоду.

Для кожного з них розглянуті у свою чергу три різновиди періодичності ТО-3: а – у період від ВР до I ПР-3 – 40 діб, від I ПР-3 до II ПР-3 – 30 діб, від II ПР-3 до закінчення експлуатації – 25 діб; б – по зазначених періодах періодичність ТО-3 становить відповідно 35, 25 і 20 діб; в – 30, 25 і 20 діб.

Ефективність експлуатації локомотивів у післянормативний період експлуатації доцільно досліджувати виходячи з теорії старіння, що базується на чинниках поняття «придатність».

Під придатністю будь-якого технічного об'єкта розуміється його відносна здатність і потенційні можливості виконувати свої функції або заданий процес у межах припустимих відхилень за якістю і економічністю протягом оптимального терміну служби.

Щодо локомотива розрізняють дві групи обладнання (елементи) і дві складові його придатності.

Конструктивними елементами називаються всі окремо виготовлені деталі, що входять до складу локомотива, незалежно від матеріалу, розмірів і форми. Для локомотивів до конструктивних елементів відносяться рами, блоки, вали, шестірні, підшипники, болти, прокладки, шайби, баки, трубопроводи і т.ін., що представлені фізично окремими зразками, виготовленими за відповідними до креслень технічними умовами.

Неконструктивними елементами називають деякі невідокремлювані елементи, що забезпечують необхідний активний зв'язок або нормальне функціонування всіх конструктивних елементів при роботі локомотивів.

До неконструктивних елементів відноситься, наприклад, збирання локомотивів, їх регулювання, фарбування і змащення, виконані при підготовці локомотивів із їх конструктивних елементів відповідно до певних технічних умов.

Придатність локомотива дорівнює сумі придатностей конструктивних і неконструктивних елементів

$$E_m = \sum_1^s E_i + \sum_1^s G_j .$$

Придатність локомотива частково періодично відновлюється за рахунок застосування нового обладнання або відновлення деяких параметрів старого обладнання. Це відбувається в загальному випадку стільки разів, скільки проводиться передбачена конструкцією зміна недовговічного обладнання локомотива, а також відновлення параметрів ремонтпридатних вузлів на технічному обслуговуванні і ремонті.

Локомотиви належать до категорії машин (IV категорія), які складаються з незмінюваних конструктивних елементів вихідної придатності, внаслідок чого, крім періодичних ремонтів, передбачається виконання технічного обслуговування.

В загальному вигляді вихідна придатність локомотива дорівнює

$$E_{mIV} = \sum E_{iIV} + \sum G_{jIV} = \sum E_{iIV} + \sum G_{1IV} + G_{2IV} + G_{3IV}^0 ,$$

де E_{iIV} - придатності всіх конструктивних елементів;

$\sum G_{1IV}$ - придатність, що відповідає довгочасно діючому складанню і припасуванню конструктивних елементів;

$\sum G_{2IV}$ - частина придатності локомотива, що відповідає недостатньо довго діючій обробці й монтажу конструктивних елементів, яку необхідно через терміни

τ_{2IV}^L повністю відновляти при ремонті $n_{2IV} - 1$ разів за термін служби локомотива;

$\sum G_{3IV}^0$ - частина придатності неконструктивних елементів локомотива, що відповідає короткочасно діючому змащенню та регулюванню, які при використанні необхідно періодично через терміни τ_{3IV}^L частково відновляти при

технічним обслуговуванні $n_{3IV} - 1$ разів за термін служби локомотивів.

Для кількості оцінки придатності використовують наступні коефіцієнти.

Коефіцієнт рівномірності визначається відношенням сумарного значення придатностей $\sum E_i$ вихідних конструктивних елементів локомотива до сумарної придатності $\sum n_i E_i$ всіх конструктивних елементів, що зношуються при роботі за термін служби

$$K_p = \frac{\sum E_i}{\sum n_i E_i},$$

де n_i - повна кількість відповідних конструктивних елементів, що зношуються в локомотиві за термін його експлуатації.

Практично з достатньою точністю коефіцієнт рівномірності визначається зі співвідношення відповідних вартостей, тобто

$$K_p = \frac{\sum E_i}{\sum n_i E_i} \approx \frac{\sum Q_i}{\sum n_i Q_i},$$

де Q_i - вартість відповідного конструктивного елемента.

$$K_c = \frac{\sum G_j}{\sum G_j + \sum (n_j - 1)g_j} \approx \frac{\sum Q_j}{\sum Q_j + \sum (n_j - 1)q_j},$$

де G_j й Q_j - придатність і вартість вихідних і поновлюваних при відповідному технічному обслуговуванні і ремонті конструктивних елементів локомотива;

$n_j - 1$ - кількість відповідних технічних обслуговувань і ремонтів локомотива за весь термін служби;

Наступною оцінкою конструктивної й технологічної досконалості локомотива є коефіцієнт стабільності монтажу, регулювань.

Коефіцієнт стабільності K_c регулювань локомотива характеризує потрібні обсяги робіт при технічному обслуговуванні і ремонті і їх повторність за термін експлуатації. Коефіцієнт K_c визначається відношенням вихідної придатності неконструктивних елементів, необхідних для нормальної роботи локомотива за повний термін його служби

$$K_c = \frac{\sum G_j}{\sum n_j G_j}.$$

Практично коефіцієнт стабільності регулювань локомотива визначають із достатньою точністю через відповідні вартісні показники, тобто

$$K_c = \frac{\sum Q_j}{\sum n_j Q_j}.$$

У випадку нерівності вихідної й поновлюваної придатності неконструктивних елементів ($g_j \neq G_j$) коефіцієнт K_c визначається за виразом

g_j і q_j - відповідно придатність і вартість, що вводяться в локомотив при поновленні відповідного неконструктивного елемента.

Коефіцієнт довговічності може бути визначений за формулою

$$K_d = \frac{K_p K_c E_m}{K_c \sum E_i + K_p \sum G_j},$$

або, застосовуючи вартісні співвідношення, за формулою

$$K_d = \frac{K_p K_c Q_m}{K_c \sum Q_i + K_p \sum Q_j},$$

де E_m і Q_m - відповідно придатність і вартість локомотива;

E_i і Q_i - придатність і вартість конструктивних елементів локомотива;

G_j і Q_j - придатність і вартість неконструктивних елементів локомотива.

З аналізу структури зміни придатності локомотива за термін його експлуатації впливає можливість внесення істотних коректувань у діючі оцінювальні його характеристики.

Методичний підхід до введення цього коректування наступний. Якщо розділити загальну придатність локомотива на повний термін експлуатації (роботу, виконану за цей термін), можна оцінити придатність локомотива виробничому призначенню протягом терміну експлуатації, яку називають питомою придатністю.

Питому придатність можна визначати за виразом

$$P_{\Pi} = \frac{E_m + \sum (n_i - 1)E_i + \sum (n_j - 1)G_j}{T}.$$

Для восьми варіантів подовження терміну експлуатації локомотивів після ВР були розраховані сумарні витрати на всі види ТО, ПР і можливі позапланові ремонти (НР). Кількість ТО, ПР була розрахована за прийнятими варіантами. Витрати на ТО-3, ПР-1, ПР-2, ПР-3 були прийняті середніми по залізниці. Як показує практика експлуатації, з ростом

пробігу зростає складова понаднормативних робіт на ТО, ПР. Тому при розрахунках відповідно до варіанта подовження терміну експлуатації ця складова змінювалась в діапазоні $0,26 \div 0,33$ від сумарних витрат на ТО, ПР. Відповідно обов'язковий обсяг регламентних робіт за цих умов зменшувався протилежно понаднормативному терміну. Сумарні витрати, що виникають на позапланових ремонтах, були прийняті в розмірі на 25 % більш, ніж понаднормативні витрати на планових ТО, ПР. Фактор збільшення терміну експлуатації був врахований збільшенням обсягу ремонтів в діапазоні $1,0 \div 1,25$. Залишкова ціна локомотива на початок експлуатації після ВР прийнята в розмірі $C_{Л} = 5 \cdot 10^6$ грн.

На підставі викладеного проведені розрахунки, що зведені до таблиці, і побудовані графіки зміни показників придатності локомотивів (рис. 2-5). Коефіцієнт рівномірності $K_{рів}$ за рахунок планових заходів з ТО, ПР мав стабільний характер, в діапазоні $0,76 \div 0,73$. Причому найменше його значення прийшлося на сьомий варіант організації ТО, ПР в післянормативний термін експлуатації. Це свідчить про те, що при дотриманні технології ТО, ПР досягається стабільний рівень підтримки надійності обладнання.

Разом з цим при досягненні нормативного терміну використання локомотивів коефіцієнт стабільності регульовальних робіт K_c зі збільшенням терміну експлуатації зменшується. Діапазон зміни K_c спостерігається в межах $0,55 \div 0,44$. Це підтверджує те, що при зношенні і старінні обладнання все складніше підтримувати технічний стан локомотивів, особливо, коли не виконуються спеціальні роботи, що пов'язані з подовженням терміну експлуатації.

Такий характер зміни коефіцієнтів K_p і K_c сформував динаміку зміни коефіцієнта довговічності K_d . Діапазон коливань K_d знаходиться в межах $0,73 \div 0,67$, що в значній мірі вдається завдяки коефіцієнту K_p .

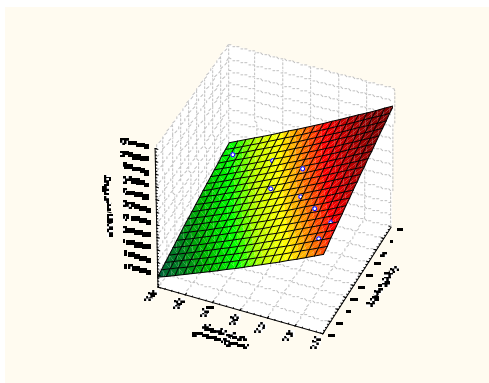


Рис. 2. Залежність витрат на ТО, ПР від варіанта пробігу і коефіцієнта довговічності $Q_{ТО,ПР} = f(L_B, K_d)$

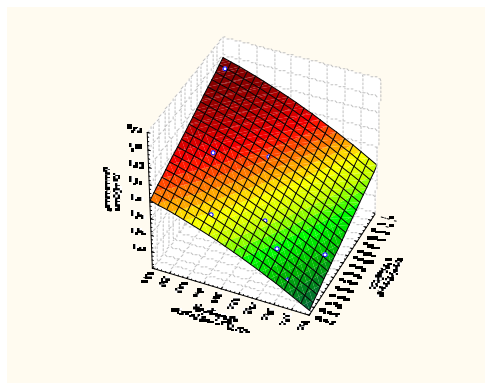


Рис. 3. Залежність коефіцієнта довговічності від коефіцієнта рівномірності і коефіцієнта стабільності $K_d = f(K_{рів}, K_{ст})$

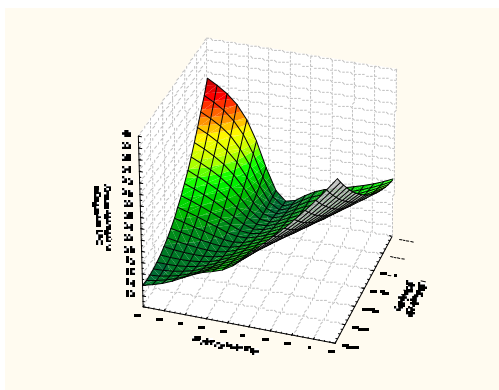


Рис. 4. Залежність питомої придатності обладнання локомотивів від варіанта пробігу коефіцієнта довговічності $\Pi_{П} = f(L_B, K_d)$

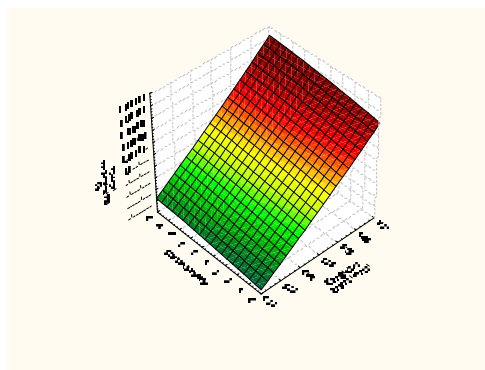


Рис. 5. Залежність сумарних витрат на ТО, ПР від варіанта пробігу і коефіцієнта довговічності $Q_{заг} = f(L_B, K_d)$

Старіння локомотивів в понаднормативний термін експлуатації впливає на коефіцієнт питомої придатності $\Pi_{П}$. При збільшенні терміну експлуатації $\Pi_{П}$ поступово зменшується при рості загальних витрат на підтримку технічного стану локомотивів. Звідси можна констатувати, що тільки за рахунок коректування міжремонтних пробігів не

вдається стабільно підтримувати технічний стан локомотивів, навіть при збільшенні витрат на планові ТО, ПР, що необхідні за регламентом. Як слідує з практики експлуатації локомотивів, потрібно коректувати обсяги робіт з кожними наступними ТО, ПР за рахунок додаткових діагностичних випробувань обладнання, що доцільно експлуатувати далі.

Таблиця

Розрахунок параметрів придатності локомотива

Варіант побуду	Кількість/сумарна вартість ТО, ПР $\left(K_i / \sum K_i C_i \right)$				Понаднормативний термін експлуатації T	Сумарні, $Q_{\text{топр}}$	Регламентні витрати, Q_1	Понаднормативні витрати, Q_2	Позапланові витрати, Q_3	Загальні витрати ТО, ПР в післянормативний термін експлуатації	Коефіцієнт рівномірності, K_p	Коефіцієнт стабільності регулювання, K_c	Коефіцієнт довговічності, K_d	Коефіцієнт питомої придатності, $L_{\text{п}}$
	ТО – 3 ($C_{\text{ТО-3}} = 5000$)	ПР – 1 ($C_{\text{ПР-1}} = 15000$)	ПР – 2 ($C_{\text{ПР-2}} = 85000$)	ПР – 3 ($C_{\text{ПР-3}} = 190000$)										
1	46/230000	9/1350000	2/170000	1/190000	360000	1940000	1429133	510867	459780	2399780	0,76	0,53	0,73	19,28
2	51/255000	8/1200000	3/255000	2/380000	360000	2090000	1518733	571267	542703	2632703	0,74	0,51	0,71	19,69
3	47/235000	10/1500000	1/85000	2/380000	360000	2200000	1576667	623333	623333	2823333	0,74	0,50	0,69	20,00
4	49/245000	8/1200000	3/255000	2/380000	420000	2080000	1469867	610133	640640	2720640	0,75	0,49	0,70	16,86
5	45/225000	10/1500000	1/85000	2/380000	420000	2190000	1525700	664300	730730	2920730	0,74	0,48	0,69	17,12
6	50/250000	9/1350000	3/255000	2/380000	450000	2235000	1534700	700300	805345	3040345	0,74	0,47	0,68	16,08
7	47/235000	10/1500000	2/170000	2/380000	450000	2285000	1546183	738817	886580	3171580	0,73	0,45	0,67	16,19
8	49/245000	9/1350000	3/255000	2/380000	500000	2230000	1486667	743333	929167	3159167	0,74	0,44	0,67	14,46

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку:

1. Існуючі в нашій країні підходи і моделі утримання рухомого складу за основу приймають критерії, що базуються на мінімізації питомих витрат за життєвий цикл, які не в повній мірі враховують особливості експлуатації локомотивів, що продовжують використовувати в понаднормативний термін.

2. Для забезпечення ефективного використання локомотивів у будь-який період їх дії, а особливо в післянормативний, слід проводити комплексні дослідження, що дозволяють визначати динаміку зміни параметрів ефективності в залежності від коефіцієнтів довговічності, рівномірності, стабільності, придатності агрегатів і вузлів локомотивів.

Список використаних джерел

1. Методы оценки жизненного цикла тягового подвижного состава железных дорог [Текст]: монография / Э. Д. Тартаковский, С. Г. Грищенко, Ю. Е. Калабухин [и др.]. – Луганск: Изд-во «Ноулидж», 2011. – 174 с.
2. Галкин, В. Г. Надежность тягового подвижного состава [Текст]: учеб. пособие для вузов ж.д. трансп. / В. Г. Галкин, В. П. Парамзин, В. А. Четверов. – М.: Транспорт, 1981. – 184 с.
3. Северцев, Н. А. Надежность сложных систем в эксплуатации и отработке [Текст]: учеб. пособие для вузов / Н. А. Северцев. – М.: Высш. школа, 1989. – 432 с.
4. Колегаев, Р. Н. Определение оптимальной долговечности технических систем [Текст] / Р. Н. Колегаев. – М.: Советское радио, 1967.
5. Михлин, В. М. Прогнозирование технического состояния машин [Текст] / В. М. Михлин. – М.: Колос, 1976.
6. Оцінка показників ТО при подовженні терміну експлуатації ТРС по наробці [Текст] / Е. Д. Тартаковський, О. В. Устенко, О. С. Крашенінін [та ін.] // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 132. – С. 5-11.
7. Крашенінін, О. С. Покращення організації технічного обслуговування та поточного ремонту тягового рухомого складу в післянормативний термін його використання [Текст] / О. С. Крашенінін, О.О. Шапатіна, Ю.В. Черняк // Транспортні інновації. – К., 2011. – № 9. – С. 26-28.
8. Крашенінін, А. С. Оценка периодичности технического обслуживания и ремонта в период после нормативных сроков эксплуатации ТПС [Текст] / А. С. Крашенінін, О. А. Шапатіна, С. А. Матвиенко [та ін.] // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – Вип. 128. – С. 165-167.
9. Крашенінін, О. С. Оцінка ефективності системи подовження терміну служби ТРС більш нормативного і оновлення експлуатаційного парку [Текст] / О. С. Крашенінін, П. О. Харламов // Вісник Східноукраїнського університету ім. Володимира Даля: наук. журнал. – Луганськ, 2012. – № 3(174). – С. 109-113.

Крашенінін Олександр Семенович, доктор технічних наук, професор, кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 21-24.

Одегов Микола Миколайович, старший викладач кафедри автоматизованих систем електричного транспорту Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 10-74. E-mail: 8084214@ukr.net.

Krashenin Oлександр Semenovich, doctor of technical sciences, professor, department of exploitation and repair of rolling stock Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: 20-79.

Odegov Nikolai, senior lecturer automated electric transport, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 10-74. E-mail: 8084214@ukr.net.

Стаття прийнята 05.07.2016 р.