

УДК 629.424.3

*Д-р техн. наук Е.Д. Тартаковський,
кандидати техн. наук О.С. Крашенінін,
П.О. Харламов,
аспіранти О.О. Шапатіна,
К.О. Зезюлін*

ОПТИМІЗАЦІЯ НАПРАЦЮВАННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ЗА ТЕРМІН СЛУЖБИ

Вступ. Транспортна стратегія України передбачає поетапне входження залізничного транспорту в ринкові відносини, що визначає вдосконалення системи керування перевізним і ремонтно-

експлуатаційними процесами. Розширення зовнішнього конкурентного середовища потребує від Укрзалізниці пошуку нових резервів зниження витрат при забезпеченні високої якості надаваних послуг. Таким

чином, питання регулювання внутрішньогалузевих взаємин на основі оптимізації витрат на технічне обслуговування та ремонт тягового рухомого складу за термін служби стають у цей час досить актуальними [5].

Аналіз досліджень і публікацій. За останні роки провідними науковими організаціями велися значні науково-дослідні та практичні роботи з метою вирішення завдань:

- удосконалення методів розрахунку параметрів системи технічного утримання локомотивів та оцінки її ефективності;
- аналізу витрат на поточний ремонт та амортизацію локомотивів в умовах зміни обсягів перевезень;
- обґрунтування оптимальної системи обслуговування та ремонту рухомого складу;
- розгляд загальних критеріїв оптимальності та знаходження більш простих способів вирахування суспільно виправданих витрат, тотожних за своїм змістом оптимальним оцінкам [4].

Мета статті. Метою статті є визначення оптимальних термінів напрацювання відновлювального обладнання тягового рухомого складу за весь термін служби з урахуванням мінімізації сумарних витрат.

Основний матеріал статті. Важливе наукове і практичне значення вибору оптимального сумарного напрацювання відновлювальних вузлів і агрегатів ТРС визначається необхідністю вирішення задач щодо подовження терміну експлуатації ТРС в цілому.

Одним з підходів до оптимізації сумарного напрацювання відновлювальних агрегатів є мінімізація сумарних витрат, що припадають на одиницю виконаної роботи за термін служби [1]

$$Z = \frac{\sum Z_i}{T}; \quad (1)$$

де $\sum Z_i$ – сумарні витрати на розроблення, виготовлення й експлуатацію i -го обладнання ТРС;

T – сумарне напрацювання обладнання за термін служби.

Сумарні витрати на розроблення, виготовлення й експлуатацію обладнання можна подати у вигляді

$$\sum Z_i = Z_p + Z_T + Z_{нр}, \quad (2)$$

де Z_p – витрати на розробку і виготовлення обладнання;

Z_T – витрати на експлуатацію обладнання, що визначаються пропорційно терміну служби;

$Z_{нр}$ – витрати на усунення позапланових відмов за період експлуатації.

Витрати на експлуатацію обладнання можна подати у вигляді

$$Z_T = \alpha T, \quad (3)$$

де α – коефіцієнт темпу росту витрат за період експлуатації.

Витрати на усунення позапланових відмов пропорційні кількості відмов за період експлуатації.

$$Z_{нр} = \widehat{Z}_{нр} \cdot m, \quad (4)$$

де $\widehat{Z}_{нр}$ – середні витрати на одне відновлення працездатного стану обладнання при позаплановому ремонті;

m – загальна кількість виникнення позапланових відмов за термін служби.

На інтервалі напрацювання між капітальними ремонтами чи після останнього КР-2 кількість відмов відновлювального обладнання ТРС можна апроксимувати співвідношенням

$$m = At^B, \quad (5)$$

де A і B – параметри залежності.

Для оцінки цих параметрів за дослідними даними методом найменших квадратів складаємо систему m рівнянь

$$i = \bar{A} t_i^{\bar{B}}, \quad (6)$$

де i – порядковий номер відмови обладнання, $i \in (1, m)$;

t_i – напрацювання обладнання до виникнення i -ї відмови.

Прологарифмуємо цей вираз, щоб подати його в лінійній формі

$$\ln i = \bar{C} + \bar{B} \ln t_i, \quad (7)$$

де $\bar{C} = \ln \bar{A}$.

Для визначення параметрів методом найменших квадратів визначимо суму квадратів неув'язок [2]

$$S_H = \sum_{i=1}^m [\ln i - (\bar{C} + \bar{B} \ln t_i)]^2. \quad (8)$$

- оцінки параметрів C і B

$$\bar{C} = (b_1 l_{22} - b_2 l_{12}) / (l_{11} l_{22} - l_{12} l_{21}), \quad (11)$$

$$\bar{B} = (l_{11} b_2 - l_{21} b_1) / (l_{11} l_{22} - l_{12} l_{21});$$

- дисперсії оцінок параметрів C і B

$$D(\bar{C}) = l_{22} S_H / (l_{11} l_{22} - l_{12} l_{21}) (m - 2), \quad (12)$$

$$D(\bar{B}) = l_{11} S_H / (l_{11} l_{22} - l_{12} l_{21}) (m - 2);$$

- оцінку параметру A і його дисперсію

$$\bar{A} = e^{\bar{C}}, \quad (13)$$

$$D(\bar{A}) = \bar{A}^2 D(\bar{C}).$$

За умови попередніх співвідношень (2) – (5) сумарні витрати на складові життєвого циклу ТРС можна подати таким чином:

Умовами мінімуму суми квадратів неув'язок є умови

$$\sum_{i=1}^m (\ln i - \bar{C} + \bar{B} \ln t_i) = 0, \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^m \ln t_i \cdot (\ln i - \bar{C} + \bar{B} \ln t_i) = 0.$$

В результаті отримаємо систему рівнянь

$$l_{11} \bar{C} + l_{12} \bar{B} = b_1, \quad (10)$$

$$l_{21} \bar{C} + l_{22} \bar{B} = b_2,$$

де

$$l_{11} = m; \quad l_{12} = \sum_{i=1}^m \ln t_i;$$

$$b_1 = \sum_{i=1}^m \ln i; \quad l_{21} = \sum_{i=1}^m \ln t_i;$$

$$l_{22} = \sum_{i=1}^m (\ln t_i)^2;$$

$$b_2 = \sum_{i=1}^m (\ln i) (\ln t_i).$$

У результаті розв'язання системи рівнянь отримуємо залежності, що визначають:

$$\sum Z_i = Z_p + \alpha T + \widehat{Z}_{\text{нр}} \cdot A t^B, \quad (14)$$

а сумарні витрати на одиницю напрацювання за термін служби

$$Z = \frac{z_p}{t} + \alpha + \widehat{z}_{\text{нр}} \cdot At^{B-1}. \quad (15)$$

Припускаючи неперервний характер цих витрат, визначимо похідну по t і отримаємо умову, що визначає сумарне напрацювання

$$-\frac{z_p}{t^2} + \widehat{z}_{\text{нр}} \cdot A(B-1)t^{B-1} = 0. \quad (16)$$

Розв'язуючи це рівняння відносно t , отримаємо співвідношення, що визначає оптимальне сумарне напрацювання ТРС як виробу, що відновлюється, за термін його використання [4]

$$t_{\text{опт}} = \sqrt[B]{\frac{z_p}{\widehat{z}_{\text{нр}} \cdot A(B-1)}}. \quad (17)$$

З цього співвідношення видно, що оптимальне сумарне напрацювання існує лише при наявності процесів зносу і старіння, тобто коли $B > 1$.

Як критерій, що визначає недоцільність подовження експлуатації і відновлення ТРС, особливо після проведення другого КР-1 при перевищенні нормативного терміну експлуатації, можна використовувати параметр гранично допустимого параметра потоку відмов $\omega_{\text{гр}}$ [3], коли

$$\omega_{\text{гр}} > \omega_{\text{сер}}. \quad (18)$$

Параметр $\omega_{\text{сер}}$ характеризує середнє значення відмов обладнання ТРС на інтервалі визначеного життєвого терміну служби

$$\omega_{\text{сер}} = \sqrt[B]{A \left(\frac{z_p}{\widehat{z}_{\text{нр}} \cdot (B-1)} \right)^{B-1}}. \quad (19)$$

Розглянута задача повинна розв'язуватися шляхом порівняння двох варіантів: першого, що розглянутий? і варіанта, що мінімізує простої на ТО, ПР і КР [4].

Введемо для цього варіанта параметр коефіцієнта простою

$$K_{\text{ПР}} = {}^2)K_{\text{ПР}} + {}^3)K_{\text{КР}} + {}^1)K_{\text{ТО,ПР}}, \quad (20)$$

де $K_{\text{ПР}} = {}^2)t_b/t$; ${}^3)K_{\text{КР}} = \tau_{\text{КР}}/t$;

${}^1)K_{\text{ТО,ПР}} = t_{\text{ТО,ПР}}/t$ – коефіцієнти простою

ТРС на поточних ТО, ПР, позапланових ремонтах і на КР;

t – середнє напрацювання ТРС;

t_b – сумарний простій ТРС на позапланових ремонтах;

$\tau_{\text{КР}}$ – середній простій ТРС на КР.

Сумарний простій ТРС на позапланових ремонтах визначається із

$$t_b = T_b \cdot m(t), \quad (21)$$

де T_b – середній термін простою на позаплановому ремонті;

$m(t)$ – математичне очікування кількості позапланових ремонтів за термін експлуатації.

З урахуванням цього коефіцієнт простою набуде вигляду

$$\begin{aligned} K_{\text{ПР}} &= \tau_{\text{КР}}/t + t_{\text{ТО,ПР}}/t + T_b At^{B-1} = \\ &= \tau_{\text{КР}} + t_{\text{ТО,ПР}}/t + T_b At^{B-1} = \tau_p/t + T_b At^{B-1}, \end{aligned} \quad (22)$$

де $\tau_P = \tau_{KP} + t_{TO,PP}$ – сумарний простій ТРС на всіх видах ремонту.

Після диференціювання виразу по t отримаємо умову, що відповідає оптимальному сумарному напрацюванню за період експлуатації

$$-\tau_P/t^2 + A(B-1)T_b t^{B-2} = 0. \quad (23)$$

З цього виразу отримаємо сумарне напрацювання або ресурс обладнання ТРС за період експлуатації в цілому або при визначенні окремих задач у відповідних інтервалах між відповідними ПР або КР.

$$t_{\text{опт}} = \sqrt[B]{\frac{\tau_P}{A(B-1)T_b}}. \quad (24)$$

Відповідно до цього виразу забезпечується мінімізація простою ТРС на всіх видах ремонту, тобто максимум коефіцієнта технічного використання.

Середнє значення напрацювання ТРС на відмову в інтервалі оптимального ресурсу має вигляд

$$\tilde{T}(t_{\text{опт}}) = \sqrt[B]{\frac{1}{A} \left(\frac{(B-1)T_b}{\tau_P} \right)^{B-1}}. \quad (25)$$

Визначення оптимальних параметрів $t_{\text{опт}}$ і $\tilde{T}(t_{\text{опт}})$ зводиться до обробки масивів даних відмов обладнання ТРС, визначення на підставі розрахунків значень

параметрів законів відмов і визначення оптимальних значень напрацювання і граничних характеристик ефективності системи ТО та ПР.

Висновки:

1. Розглянуто підходи до оптимізації сумарного напрацювання відновлювальних агрегатів, одним з яких є мінімізація сумарних витрат, що припадають на одиницю виконаної роботи за термін служби.

2. Отримано співвідношення, що визначає оптимальне сумарне напрацювання ТРС, як виробу, що відновлюється, за термін його використання за наявності умови, що оптимальне сумарне напрацювання існує лише при наявності процесів зносу і старіння. Запропоновано критерій, що визначає недоцільність подовження експлуатації і відновлення ТРС, особливо після проведення другого КР-1 при перевищенні нормативного терміну експлуатації.

3. Отримано вираз сумарного напрацювання або ресурсу обладнання ТРС за період експлуатації в цілому або при визначенні окремих задач у відповідних інтервалах між відповідними ПР або КР. Відповідно до цього виразу забезпечується мінімізація простою ТРС на всіх видах ремонту, тобто максимум коефіцієнта технічного використання.

Список літератури

1. Дегтярев, Ю.И. Методы оптимизации [Текст] / Ю.И. Дегтярев. – М.: Сов. радио, 1980.
2. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ [Текст] / Н. Дрейпер, Г. Смит. – М.: Статистика, 1973. – 383 с.
3. Герцбах, И.Б. Модели отказов [Текст] / И.Б. Герцбах, Х.Б. Кордонский. – М.: Сов. радио, 1966. – 186 с.
4. Воробьев, А.А. Оптимизация системы ремонта локомотивов [Текст] / А.А. Воробьев // Вестник ВНИИЖТ. – 1990. – № 1. – С. 16-19.
5. Про програму реструктуризації на залізничному транспорті України на 1998 – 2003 роки [Текст] // Магістраль ділова. – 1998. – № 6. – С. 61-69.

Ключові слова: тяговий рухомий склад, технічне обслуговування, поточний ремонт, нормативний термін, оптимізація, подовження терміну служби, витрати

Анотації

Розв'язання задач щодо подовження терміну експлуатації ТРС в цілому залежить від вибору оптимального сумарного напрацювання відновлювальних вузлів і агрегатів ТРС. Одним з підходів до оптимізації сумарного напрацювання відновлювальних агрегатів є мінімізація сумарних витрат, що припадають на одиницю виконаної роботи за термін служби. Визначення оптимальних параметрів напрацювання зводиться до обробки масивів даних відмов обладнання ТРС, розрахування значень параметрів законів відмов та оптимальних значень напрацювання і граничних характеристик ефективності системи ТО та ПР.

Решение задач по продлению срока эксплуатации ТПС в целом зависит от выбора оптимальной суммарной наработки восстанавливаемых узлов и агрегатов ТПС. Одним из подходов к оптимизации суммарной наработки восстанавливаемых агрегатов есть минимизация суммарных расходов, которые приходятся на единицу выполненной работы за срок службы. Определение оптимальных параметров наработки сводится к обработке массивов данных отказов оборудования ТПС, определению значений параметров законов отказов и определению оптимальных значений наработок и граничных характеристик эффективности системы ТО и ПР.

To work to extend the life of the traction rolling stock in general depends on the choice of the optimal total operating time of recoverable components and assemblies traction vehicles. One approach is to optimize the total time units have recovered minimization of total costs, which account for one performance of works for life circle.