

# ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 629.424-82

Б. Є. БОДНАР<sup>1\*</sup>, О. Б. ОЧКАСОВ<sup>2\*</sup>, Є. Б. БОДНАР<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Локомотиви», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. + 38 (056) 733 19 01, ел. пошта bodnarz@nz.diiit.edu.ua, ORCID 0000-0002-3591-4772

<sup>2\*</sup>Каф. «Локомотиви», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. + 38 (056) 733 19 61, ел. пошта abochkasov@gmail.com, ORCID 0000-0002-7719-7214

<sup>3\*</sup>Каф. «Локомотиви», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. + 38 (056) 733 19 61, ел. пошта Melnar78@gmail.com, ORCID 0000-0001-6040-913X

## Визначення періодичності діагностування вузлів гідравлічної передачі тепловозів

**Мета.** Сучасні методології утримання технічних об'єктів орієнтовані на одночасне забезпечення заданого рівня надійності обладнання та мінімізації витрат на системного утримання. Побудова систем утримання, як правило, базується на використанні даних про надійність обладнання, аналізі результатів діагностування та прогнозуванні залишкового ресурсу обладнання локомотивів. Окрім того, під час розробки систем утримання враховують витрати на проведення технічного обслуговування та ремонту вузлів. Основна мета роботи полягає в підвищенні ефективності використання локомотивного парку за рахунок зменшення витрат на утримання локомотивів з урахуванням технічного стану його вузлів. **Методика.** Для досягнення поставленої мети запропоновано методику визначення раціональних періодів діагностування вузлів локомотива, засновану на мінімізації витрат на проведення діагностування та виконання технічного обслуговування й ремонту обладнання. Для визначення періодичності контролю використано дані про надійність вузлів і деталей, отримані на основі обробки статистичної інформації щодо роботи локомотивів в умовах експлуатації, а також дані щодо витрат на відновлення вузлів у разі виникнення відмов. **Результати.** Запропоновано метод визначення раціональних періодів діагностування вузлів локомотива, заснований на мінімізації витрат на проведення діагностування та відновлення в разі його відмови. На основі аналізу надійності гідравлічних передач локомотивів в умовах їх експлуатації визначено показники надійності вузлів і деталей гідропередачі у вигляді залежностей середньої кількості відмов гідропередач від напрацювання тепловоза. Розроблено технологіко-економічну карту ремонту гідропередачі та техніко-економічну карту її діагностування. Наведено результати визначення періодичності діагностування гідропередачі УП750–1200ПР тепловозів ТГМ4 та ТГМ6. **Наукова новизна.** Подальший розвиток отримала методологія визначення періодичності контролю технічного стану вузлів локомотивів за рахунок обліку впливу системи профілактичних, планових ремонтів і діагностування на надійність локомотива. **Практична значимість.** Використання запропонованої методики для формування системи ремонту й діагностування локомотивів та їх вузлів дозволить формувати систему утримання локомотивів з урахуванням їх фактичного стану.

*Ключові слова:* система утримання; періодичність контролю; мінімізація витрат на систему утримання; гідравлічна передача тепловоза

### Вступ

Управління технічним станом локомотивів є багатофакторним завданням. Воно має бути спрямоване на виявлення, попередження та усунення несправностей вузлів і деталей, що до-

зволяє запобігти подальшим відмовам в експлуатації та підвищити безпеку руху.

За останні роки у світі для підвищення рівня надійності технічних засобів застосовували кілька стратегій їх технічного обслуговування та ремонту, а саме [8, 15–18]:

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

– реактивна стратегія (ремонт за фактом раптової відмови);

– планово-попереджувальна стратегія ремонту (ППР діє на Укрзалізниця та ряді інших залізниць світу);

– ремонт за технічним станом обладнання (контроль розвитку передвідмовних станів через прогнозування значення залишкового ресурсу);

– рекомендаційна стратегія утримання (розрахунок індивідуальної системи ремонту для кожної одиниці обладнання).

У перелічених стратегіях утримання обладнання використовують різноманітні підходи та методології. Найбільш сучасними є такі:

– Reliable Centered Maintenance (RCM) – система обслуговування, орієнтована на надійність вузлів;

– Risk Based Maintenance (RBM) – система обслуговування, орієнтована на мінімізацію ризиків відмов обладнання.

Перехід до сучасної методології утримання вимагає значних витрат ресурсів та часу, у зв'язку з цим використовують комбінацію різноманітних підходів. Одним із них є Total Productive Maintenance (TPM) – це комплексний підхід, який використовує методологію бережливого виробництва Lean і який вважають перехідним від планово-попереджувальної до превентивної стратегії [13, 17].

У реалізації стратегії обслуговування та ремонту локомотивів з урахуванням їх технічного стану особливої актуальності набувають задачі організації роботи систем діагностування, зокрема визначення періодичності діагностування вузлів та систем локомотива.

### Мета

Основною метою роботи є скорочення витрат на систему утримання тягового рухомого складу за рахунок удосконалення підходів до визначення періодичності контролю технічного стану його вузлів.

### Методика

Аналіз літературних джерел [1, 2, 9, 14] з визначення періодичності діагностування вузлів та агрегатів транспортних засобів свідчить, що найбільше поширення отримали методи, які

використовують для розв'язання названих задач, а саме:

– статистичний, що ґрунтується на допустимому рівні ймовірності безвідмовної роботи;

– індивідуальний – за отриманою реалізацією діагностичного параметра;

– економіко-ймовірнісний – за сукупністю реалізації діагностичного параметра;

– економіко-ймовірнісний – за дискретними значеннями діагностичного параметра.

Статистичний метод визначення періодичності діагностування за допустимим рівнем ймовірності безвідмовної роботи (рис. 1) простий і зручний, однак він не точний і не економічний, особливо за великих варіацій зміни технічного стану об'єкта. Цей метод доцільно використовувати в разі технічного обслуговування об'єктів, не обладнаних засобами діагностування. Як правило, це прості технічні об'єкти, характер розвитку несправності яких відомий. Крім того, необхідно враховувати умови експлуатації об'єктів, зміна умов експлуатації призведе до зміни характеру кривої безвідмовної роботи (рис. 1.)

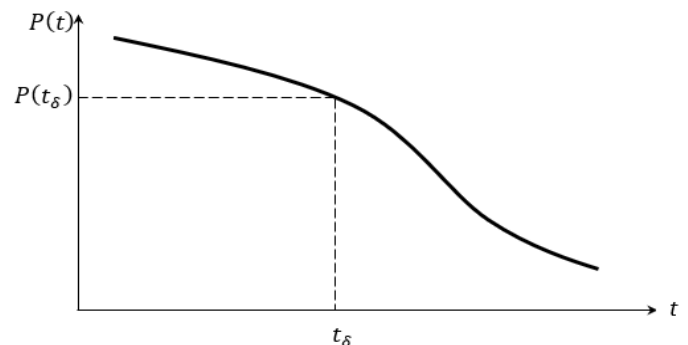


Рис. 1. Визначення періодичності діагностування за заданою ймовірністю відмов (статистичний метод):

$P(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи;

$t$  – напрацювання об'єкта

Fig. 1. Determining the frequency of diagnostics for a given failure probability (statistical method):

$P(t)$  – probability of failure-free operation;

$t$  – operating time of the object

Метод визначення періодичності діагностування за отриманою реалізацією діагностичного параметра (екстраполяційний метод) заснований на розв'язанні функції, що апроксимує зміни діагностичного параметра від початкової величини  $S_n$  до граничної  $S_c$  (рис. 2).

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Повний ресурс вузла, який діагностують, визначають за формулою:

$$S_n = S_c + V^L, \quad (1)$$

де  $V$  – інтенсивність зміни параметрів;  $L$  – показник ступеня, що визначає характер зміни параметра.

Недоліком цього методу є необхідність постійного обчислення випереджувального нормативу діагностичного параметра та вимірювання параметрів зношування деталей. Використання цього методу виправдано в разі діагностування складних та дорогих вузлів.

Використання статистичного та екстраполяційного методів у поєднанні з методологією ТРМ дозволяє зменшити витрати на проведення діагностування обладнання. Зменшення витрат забезпечується шляхом упровадження елементів автономного обслуговування із залученням персоналу, який експлуатує обладнання, до організації періодичних вимірювань контрольних параметрів.

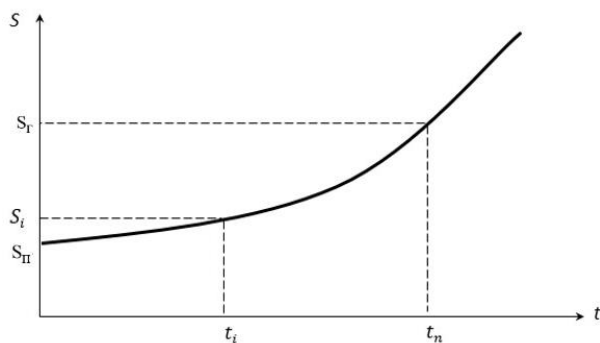


Рис. 2. Визначення періодичності діагностування з використанням отриманої реалізації діагностичного параметра (екстраполяційний метод):

$S_n$  – значення діагностичного параметра в початковий період;  $S_r$  – граничне значення діагностичного параметра;  $t$  – напрацювання об'єкта

Fig. 2. Determining the frequency of diagnostics using the obtained realization of the diagnostic parameter (extrapolation method):

$S_n$  – value of the diagnostic parameter in the initial period;  $S_r$  – limit value of the diagnostic parameter;  $t$  – operating time of the object

Використання інформаційних систем управління технічним станом обладнання ЕАМ (Enterprise Asset Management) скорочує витрати на

обробку результатів, прогнозування залишкового ресурсу та ймовірності відмови.

Економіко-ймовірнісний метод визначення періодичності діагностування за сукупністю реалізації діагностичного параметра дозволяє встановити періодичність діагностування, яка є постійною і єдиною величиною допустимого (випереджувального) нормативу для всієї сукупності об'єктів. Сутність методу полягає в оптимізації періодів діагностування за критерієм мінімуму сумарних питомих витрат на ремонт, профілактику та діагностування.

Економіко-ймовірнісний метод визначення періодичності діагностування за дискретними значеннями діагностичного параметра застосовують у тих випадках, коли діагностичний параметр і діагностичні засоби забезпечують виявлення несправностей об'єкта діагностування в поточний момент, але не дозволяють встановити загальну закономірність його технічного стану протягом міжконтрольного періоду.

У цьому методі оптимізацію періодичності діагностування здійснюють за мінімумом сумарних експлуатаційних витрат до відновлення. Ці витрати визначають вартістю всіх діагностичних перевірок до відновлення, а також додатковими витратами на несвоєчасне виявлення несправностей.

Аналіз методів визначення періодичності діагностування технічних об'єктів показує, що кожен із них можна використати на певному етапі розробки систем діагностування. Загальним недоліком наявних методів є те, що під час визначення періодичності діагностування не враховують вплив системи профілактичних, планових ремонтів та діагностування на надійність об'єкта.

## Результати

Пропонуємо метод визначення раціональних періодів діагностування вузлів локомотива, заснований на мінімізації витрат на проведення діагностування та відновлення у разі їх відмови, із використанням даних про надійність вузлів та деталей, отриманих на основі обробки статистичної інформації щодо роботи локомотивів в умовах експлуатації.

Обробка статистичної інформації для отримання показників надійності, по-перше, врахо-

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

вує конкретні умови експлуатації локомотива, режими його роботи, особливості профілю колії та ряд інших, що залежать від характеру виконуваної локомотивом роботи, а по-друге, дає можливість визначити періоди діагностування та встановити періоди проведення технічного обслуговування й ремонту з урахуванням технічного стану та умов експлуатації локомотивів.

Як показник оцінки технічного стану локомотива використовують значення середньої кількості відмов  $H(t)$ . Якщо після відмови вузла проводять його відновлення в повному обсязі, то середню кількість відмов  $H(t)$  за період роботи  $t$  визначають з рівняння відновлення [11–14]:

$$H(t) = F(t) + \int_0^t H(t-x)dF(x), \quad (2)$$

де  $F(t)$  – функція розподілу напрацювання до відмови.

Якщо після періоду напрацювання у проводять діагностичні перевірки вузлів локомотива, то деяку частину відмов буде попереджено. У цьому випадку функція напрацювання до відмови буде залежати від періодів діагностування  $y$ , що позначимо записом  $F(t/y)$ . Ця функція буде відповідати рівнянню відновлення, розв'язок якого  $H(t/y)$  є середньою кількістю відмов за напрацювання за умови, що через період напрацювання  $y$  проводять діагностичні перевірки.

Очевидно, що процедура діагностування є процесом попередження відмов. Якщо врахувати ефективність діагностування як коефіцієнт  $k(y)$ , то середню кількість відмов вузла з урахуванням діагностування визначаємо за формулою:

$$H(t/y) = k(y) \cdot H(t). \quad (3)$$

Такий підхід дозволяє обійти значні математичні труднощі під час побудови функції  $F(t/y)$  та розв'язання рівняння відновлення.

Виходячи з визначення коефіцієнта  $k(y)$ , встановимо його властивості:

1)

$$\lim_{y>0} k(y) = \ell, \quad (4)$$

де  $\ell$  – частка відмов, які не можна попередити проведеним діагностуванням.

Якщо діагностування вичерпні, то  $\ell = 0$ ;  
2)

$$\lim_{y>\infty} k(y) = 1. \quad (5)$$

Ця властивість відображає той факт, що зі зростанням періодів діагностування його ефективність зменшується.

Як одну з можливих моделей діагностування, модель проріджування потоку відмов, можна взяти такий період роботи вузла або агрегата  $\tau(y)$ , що є наступним після діагностування і в якому відчутний вплив діагностування.

Тоді з урахуванням наведеного коефіцієнта  $k(y)$  можна виразити так:

$$k(y) = 1 - \frac{\tau(y)}{y}. \quad (6)$$

А оскільки  $\tau(y) \leq y$ , то, виходячи з властивостей (1 та 2), отримаємо:

$$\lim_{y \rightarrow 0} \frac{\tau(y)}{y} = 1 - \ell; \quad (7)$$

$$\lim_{y \rightarrow \infty} \frac{\tau(y)}{y} = 0. \quad (8)$$

Вибір функції  $\tau(y)$  дозволяє побудувати значну кількість математичних моделей діагностування.

Для вичерпного діагностування, коли  $\ell = 0$ , як наближене значення для  $\tau/y$  можна взяти  $P(y)$ , тоді коефіцієнт  $k(y)$  дорівнюватиме функції  $F(y)$  розподілу напрацювання до відмови без урахування діагностування.

Як наступне наближення, відповідно до описування моделі діагностування, відношення  $\tau/y$  можна записати у вигляді:

$$\frac{\tau(y)}{y} = \frac{a \cdot \sin(b) \cdot y}{y}, \quad (9)$$

тоді з урахуванням умови (1) параметри  $a$  і  $b$  повинні задовольняти умові  $a \cdot b = 1 - \ell$ , і, відповідно:

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

$$\frac{\tau}{y} = \frac{(1-\ell) \cdot \sin(b) \cdot y}{b \cdot y}; \quad \tau = \frac{(1-\ell)}{b} \sin(b) \cdot y, \quad (10)$$

де  $b$  – характеристика ступеня відновлення локомотива за взятої системи діагностування.

Питомі витрати коштів на проведення діагностування локомотива та його відновлення у випадку відмови можна представити у вигляді:

$$Z = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^N \left[ C_i^n \left( \frac{T}{y_i} \right) + C_i^A \cdot k_i(y_i) \cdot H_i(T) \right], \quad (11)$$

де  $T$  – напрацювання локомотива;  $C_i^n$  – вартість проведення перевірки  $i$ -го вузла локомотива;  $C_i^A$  – середня вартість аварійного відновлення  $i$ -го вузла локомотива;  $k_i(y_i) = F_i(y_i)$  – імовірність відмови  $i$ -го вузла локомотива;  $N$  – кількість вузлів локомотива.

Очевидно, що перший член рівняння  $C_i^n \left( \frac{T}{y_i} \right)$  представляє вартість проведених перевірок  $i$ -го вузла, а другий  $C_i^A \cdot k_i(y_i) \cdot H_i(T)$  – вартість відновлення  $i$ -го вузла з урахуванням проведення діагностування через періоди  $y_i$ .

Для розв'язання задачі оптимізації періодів проведення діагностичних перевірок рівняння представимо у вигляді:

$$\lim_{T \rightarrow \infty} Z = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{C_i^n}{y_i} + C_i^A \cdot k_i(y_i) \cdot \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{H_i(T)}{T} \right], \quad (12)$$

де  $\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{H_i(T)}{T} = \varpi$  – середня кількість відмов вузлів локомотива за одиницю напрацювання.

З урахуванням цього, розв'язок рівняння (12) запишемо у вигляді:

$$\lim_{T \rightarrow \infty} Z = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{C_i^n}{y_i} + C_i^A \cdot k_i(y_i) \cdot \varpi \right] \rightarrow \min, \quad (13)$$

за умові  $0 \leq y \leq \infty$ .

Складові  $\frac{C_i^n}{y_i}$  рівняння (13) являють собою гіперболу, характер зміни якої подано на рис. 3.

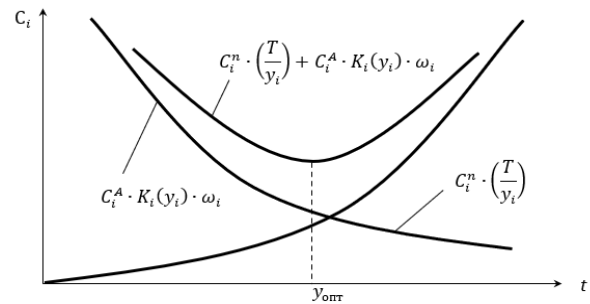


Рис. 3. Характер зміни вартості проведення діагностичних перевірок та вартості відновлення вузлів локомотива, що відмовили:

$$C_i^n \frac{T}{y_i} - \text{вартість виконаних } \left( \frac{T}{y_i} \right) \text{ разів} \\ \text{перевірок } i\text{-го вузла;}$$

$$C_i^A \cdot k_i(y_i) \cdot \omega_i - \text{вартість відновлення відмови } i\text{-го вузла} \\ \text{з урахуванням проведення діагностування} \\ \text{через періоди } y_i$$

Fig. 3. Changes in the cost of diagnostic checks and the cost of restoring failed locomotive components:

$$C_i^n \frac{T}{y_i} - \text{the cost of checking the } i\text{-th node } \left( \frac{T}{y_i} \right) \text{ times;}$$

$$C_i^A \cdot k_i(y_i) \cdot \omega_i - \text{the cost of restoring the failure of the } i\text{-th} \\ \text{node, taking into account the diagnostics in periods}$$

$$\text{Дослідження функції } \left[ \frac{C_i^n}{y_i} + C_i^A \cdot k_i(y_i) \cdot \omega_i \right]$$

показали, що вона є унімодальною, а це означає, що існує оптимальне значення, за якого витрати на проведення діагностичних перевірок і відновлення  $i$ -го вузла локомотива будуть мінімальні і це рішення є єдиним.

Вартість проведення діагностичних перевірок та вартість відновлення вузлів локомотива визначають на основі техніко-економічних та технологічних карт. В основу розробки технологічної карти ремонту вузла гідропередачі покладено її поділ на елементи, зв'язки між якими обумовлені мережевими графіками на її ремонт або перевірку.

Техніко-економічна карта (ТЕК) ремонту агрегата містить перелік технологічних операцій ремонту його вузлів гідропередачі, витрати коштів і часу на їх виконання, а також витрати на аварійне відновлення вузлів у разі непланових ремонтів [3, 4, 7].

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

ТЕК діагностування гідропередачі містить інформацію про надійність її вузлів, перелік діагностичних операцій та їх економічну оцінку.

Витрати коштів на виконання кожної операції позначимо через  $C_j^n$ , а витрати часу –  $t_j^n$ , тоді витрату коштів на відновлення  $i$ -го вузла визначиться за формулою:

$$C_{(v)}^n = \sum_{j=1}^N C_{(j)}^n \cdot \delta(\sum_{i \in v} T_{ij}), \quad (14)$$

де  $N$  – кількість елементарних операцій відновлення;  $v$  – кількість елементів, які ремонтують (обсяг ремонту);

$$\delta(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}. \quad (15)$$

Тривалість ремонту (витрати часу)  $i$ -го елемента визначимо за формулою:

$$t_i^n = \sum_{j=1}^N t_j^n \cdot T_{ij}. \quad (16)$$

Тривалість ремонту агрегата або локомотива в цілому визначає та його складова на ремонт, для якої необхідно найбільше часу.

Витрати часу на виконання ремонту в обсязі  $v$  визначаємо за формулою:

$$t^n(v) = \max_{i \in v} \sum_{j=1}^N t_j^n \cdot T_{ij}. \quad (17)$$

Витрати коштів на виконання аварійного відновлення під час виконання непланових ремонтів  $i$ -го елемента визначаємо за формулою:

$$C_i^A = C_i^n + t_i^n \cdot C_{л2} + t_{mp} \cdot C_{л2}, \quad (18)$$

де  $C_i^n$  – вартість проведення планового ремонту агрегата;  $t_i^n$  – тривалість простою тепловоза на плановому ремонті;  $C_{л2}$  – вартість локомотивогодини;  $t_{mp}$  – час транспортування тепловоза до місця ремонту та час повернення до місця експлуатації.

Витрати часу на виконання непланового ремонту визначаємо за формулою:

$$t_i^A = t_i^n + t_{mp}. \quad (19)$$

Вартість проведення діагностичних перевірок та витрати часу на їх проведення становлять:

$$C_i^{\partial n} = \sum_{j=1}^N c_j^{\partial n}; \quad t_i^n = \sum_{j=1}^N t_j^{\partial n}, \quad (20)$$

де  $c_j^{\partial n}$  та  $t_j^{\partial n}$  – витрати коштів і часу відповідно на проведення діагностування  $i$ -го елемента.

Для реалізації наведеної методики як об'єкт дослідження було обрано уніфіковану гідравлічну передачу УГП750–1200ПР, установлену на тепловозах ТГМ6 та ТГМ4.

Вибір гідравлічної передачі для практичної реалізації запропонованої методики обумовлений тим, що гідравлічна передача є одним із найважливіших вузлів маневрових тепловозів. Відмова гідравлічної передачі в процесі експлуатації може призвести до повної зупинки тепловоза. Умови експлуатації тепловозів із гідравлічною передачею на промислових підприємствах є складними, тому впровадження діагностування та періодичного контролю стану передачі з використанням засобів діагностування дозволить значно підвищити надійність тепловоза в цілому.

Методи та засоби випробування гідравлічних передач розглянуто в [4]. Результати досліджень щодо розробки засобів і методів випробування гідравлічних передач у режимі вибігу під час стендових випробувань наведено в роботах [3, 12]. Перспективи використання нейронних мереж для аналізу результатів діагностування гідравлічних передач наведено в [19]. Ураховуючи складність гідравлічної передачі, сучасні системи випробування та діагностування гідравлічних передач будують на базі інформаційно-вимірювальних систем. Розробці та вдосконаленню інформаційно-вимірювальних систем гідравлічних передач під час стендових випробувань присвячено роботи [10, 11, 20]. Розглянуті методи та засоби випробування гідравлічних передач орієнтовано на стендові випробування після капітальних ремонтів.

Питання вибору періодичності діагностування гідравлічної передачі в процесі експлуатації

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

тації недостатньо розглянуто в роботах, що підтверджує актуальність нашого дослідження. На основі аналізу надійності гідравлічних передач в умовах експлуатації визначено показники надійності вузлів і деталей гідропередачі у вигляді залежностей середньої кількості відмов від напрацювання тепловоза  $H(t = f(t))$ , а також розроблено технологічно-економічну карту ремонту гідропередачі й техніко-економічну карту її діагностування.

Характеристики надійності вузлів гідропередачі УГП750–1200ПР у ТЕК подано у вигляді коефіцієнтів, апроксимованих за дослідними залежностями середньої кількості відмов від напрацювання тепловоза  $H(t) = f(t)$ .

У зв'язку з тим, що діагностування тепловоза проводять під час планових видів ремонту, витрати коштів і часу на транспортування до

місця ремонту й назад до місця експлуатації враховано в ТЕК ремонту. Під час складання ТЕК діагностування ці витрати не враховували.

Для складання ТЕК ремонту гідропередачі вартість і час виконання кожної операції взято на підставі технічно обґрунтованих норм часу на слюсарні роботи за заводського ремонту тепловозів.

Для ТЕК діагностування гідропередачі час проведення операцій контролю визначено дослідним шляхом, а вартість виконання кожної операції розраховано за тарифною сіткою залежно від витрат часу. Рациональні періоди діагностування визначено з використанням наведеної методики на ЕОМ.

За результатами розрахунку визначено рациональні та оптимальні періоди діагностування вузлів гідропередачі, які наведено в табл. 1.

Таблиця 1

**Періоди діагностування вузлів гідропередачі УГП750–1200ПР тепловозів ТГМ4 та ТГМ6**

Table 1

**Diagnostic periods of power transmission units UGP750–1200PR of diesel locomotives TGM4 and TGM6**

Найменування вузла гідропередачі УГП750–1200ПР	Періоди діагностування вузлів УГП, тисяч годин	
	раціональні	оптимальні
Вал привідний	7...10	7,1
Вал головний та гідроапарати	4...7	4,7
Вал відбору потужності	4...7	4,7
Вал вторинний та вал реверса	4...10	7,1
Насос живлення	4...7	7,1
Насос відкачувальний	11...15	11,8
Фільтр магнітний	2...4	2,4
Фільтр УГП	4...7	4,7
Клапан підпірний	28...35	28,3
Коробка золотникова	9...15	9,4
Вентиль електрогідравлічний	28...35	28,3
Вентиль електропневматичний	30...35	30,7
Клапан блокувальний	7...10	7,1
Привід реверса та режиму	4...7	4,7

### Наукова новизна та практична значимість

У роботі отримала розвиток методологія визначення періодичності контролю технічного стану вузлів локомотивів за рахунок обліку впливу системи профілактичних, планових ремонтів та діагностування на надійність локомотива. Використання запропонованої методики під час формування системи ремонту та діагностування локомотивів і їх вузлів дозволить формувати систему утримання локомотивів з урахуванням їх фактичного стану.

### Висновки

На основі аналізу стратегій та підходів до технічного обслуговування й ремонту обладнання локомотивів обґрунтовано необхідність

удосконалення методики визначення періодичності діагностування їх вузлів та систем.

Запропоновано метод визначення раціональних періодів діагностування вузлів локомотива, оснований на мінімізації витрат на проведення діагностування та його відновлення в разі відмови, з використанням даних про надійність вузлів і деталей, отриманих на основі обробки статистичної інформації щодо роботи локомотивів в умовах експлуатації. Методику визначення періодичності діагностування можна використовувати під час формування системи утримання локомотивів з урахуванням їх фактичного стану, що визначають за результатами діагностування.

Наведені результати визначення періодичності діагностування гідروпередачі УГП750–1200ПР тепловозів ТГМ4 та ТГМ6 можна використовувати для формування системи ремонту та діагностування вказаних тепловозів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аулін В. В., Каліч В. М., Гриньків А. В., Голуб Д. В. Прогнозування залишкового ресурсу агрегатів та систем транспортних засобів сільськогосподарського виробництва за їх технічним станом. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2015. Вип. 45 (2). С. 28–36.
2. Боднар Б. Е. *Теоретические основы, опыт создания систем испытания и диагностирования тепловозов с гидродинамической передачей* : дис. ... докт. техн. наук. Днепропетровский государственный технический университет ж/д транспорта. Днепропетровск, 1997. 366 с.
3. Боднар Б. С., Бобирь Д. В., Капіца М. І. *Гідравлічні передачі локомотивів*. Дніпро : Друкарня ТОВ підприємство «Дріант», 2021. 406 с.
4. Боднар Е. Б. *Підвищення експлуатаційної надійності локомотивів шляхом впровадження раціональної системи утримання* : дис. ... канд. техн. наук. Українська державна академія залізничного транспорту. Харків, 2004. 161 с.
5. Босов А. А., Боднар Б. С., Боднар С. Б. Моделирование технологий ремонту технических объектов. *Вісник Національного транспортного ун-ту та ТАУ*. 2002. Вип. 6. С. 10–14.
6. Босов А. А., Боднар С. Б. Влияние системы содержания на надежность локомотивов. *Збірник наукових праць Дніпропетровського державного технічного університету залізничного транспорту*. 2002. Вип. 10. С. 66–68.
7. Босов А. А., Лоза П. А. *Теоретические основы рационального содержания подвижного состава железных дорог* : монография. Днепропетровск : Изд-во ООО предприятие «Дриант», 2015. 252 с.
8. Дацун Ю. М. Розвиток наукових основ формування інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів : дис. ... докт. техн. наук. Український державний університет залізничного транспорту. Харків, 2021. 358 с.
9. Глущенко В. Е. Создание алгоритмов диагностирования транспортных средств с использованием методов теории нечетких множеств. *Вестник ВУГУ*. 2000. № 4. С. 182–187.
10. Жуковицький І. В., Ключник І. А., Очкасов О. Б., Коренюк Р. О. Удосконалення засобів вимірювання стелу обкатки гідропередач тепловозів шляхом впровадження мікропроцесорних засобів. *Локомотив-Інформ*. 2017. № 5–6. С. 51–57.
11. Ключник І. А. Дослідження можливості використання нейронних мереж при випробуваннях гідравлічних передач тепловозів. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2017. № 5. С. 8–15.



## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

12. Очкасов А., Коренюк Р., Черняев Д., Христинич А. Моделирование режима самоторможения гидравлической передачи УГП750/1200 при стендовых испытаниях. *Сборник статей 21-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы» Инженерия Транспорта и Организация Перевозок* (Вильнюс, 4–5 Мау 2018). Вильнюс, 2018. С. 45–48.
13. Скачкова І. А., Бичкова Л. А., Юношева Ю. О. Впровадження системи загального догляду за обладнанням на машинобудівному підприємстві. *Приазовський економічний вісник*. 2020. № 2 (19). С. 136–141. DOI: <https://doi.org/10.32840/2522-4263/2020-2-23>
14. Туренко А. М., Мигаль В. Д., Рыжих Л. А. *Проектирование диагностического обеспечения транспортных машин* : учебное пособие. Харьков : Майдан, 2016. 391 с.
15. Bondar V., Ockasov O., Petrenko V., Martishevskij M. Implementing Intelligent Monitoring of the Technical Condition of Locomotive Hydraulic Transmissions. *Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure*. 2023. P. 726–736. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-25863-3\\_70](https://doi.org/10.1007/978-3-031-25863-3_70)
16. Lee J., Ni J., Singh J., Jiang B., Azamfar M., Feng J. Intelligent Maintenance Systems and Predictive Manufacturing. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. 2020. Vol. 142. Iss. 11. P. 1–23. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.4047856>
17. Silva Christo E. da, Petruccelli L. P., Costa K. A. Total productive maintenance in the railway system. *Jurnal Teknologi*. 2015. Vol. 76. Iss. 6. P. 55–59. DOI: <https://doi.org/10.11113/jt.v76.5678>
18. Tartakovskiy E., Ustenko O., Puzyr V., Datsun Y. Systems approach to the organization of locomotive maintenance on Ukraine railways. *Rail Transport–Systems Approach*. 2017. P. 217–236. Springer, Cham. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-51502-1\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-51502-1_5)
19. Bodnar B., Ochkasov O., Bobyr D., Korenyuk R., Bazaras Ž. Using the Self-Braking Method when the Post-overhaul Diagnostics of Diesel-Hydraulic Locomotives. *Proceedings of 22nd International Scientific Conference. Transport Means 2018* (Trakai, 03–05 Oct. 2018). Kaunas Univ. of Technology, Klaipėda Univ., JSC Lithuanian Railways (AB “Lietuvos Geležinkeliai”). Kaunas, 2018. Pt. II. P. 914–919.
20. Zhukovytskyi I. V., Kliushnyk I. A., Ochkasov O. B., Korenyuk R. O. Information-measuring test system of diesel locomotive hydraulic transmissions. *Science and Transport Progress*. 2015. № 5 (59). С. 53–65. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2015/53159>
21. Zhukovitskiy I. V., Klyushnik I. A. Choice of the optimal parameters of measuring the shaft rotation frequency of the hydraulic transmission of the locomotive using microcontroller. *Science and Transport Progress*. 2017. № 2 (68). С. 36–45. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2017/99945>

B. Y. BODNAR<sup>1\*</sup>, O. B. OCHKASOV<sup>2\*</sup>, Y. B. BODNAR<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dept. «Locomotives», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel.+ 38 (056) 733 19 01, e-mail bodnarz@nz.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-3591-4772

<sup>2\*</sup>Dept. «Locomotives», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. + 38 (056) 733 19 61, e-mail abochkasov@gmail.com, ORCID 0000-0002-7719-7214

<sup>3\*</sup>Dept. «Locomotives», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. + 38 (056) 733 19 61, e-mail Melnar78@gmail.com, ORCID 0000-0001-6040-913X

## Determination of the Frequency of Diagnostics of Hydraulic Transmission Units of Diesel Locomotives

**Purpose.** Modern methodologies for maintaining technical facilities are focused on simultaneously ensuring a given level of equipment reliability and minimizing system maintenance costs. The development of maintenance systems is usually based on the use of equipment reliability data, analysis of diagnostic results and forecasting of the residual life of locomotive equipment. In addition, the development of maintenance systems takes into account the costs of maintenance and repair of components. The main goal of the study is to increase the efficiency of the locomotive fleet by reducing the cost of maintaining locomotives, taking into account the technical condition of its components. **Methodology.** To achieve this goal, we propose a methodology for determining the rational periods for diagnosing locomotive components based on minimizing the cost of diagnostics and performing maintenance and repair of equipment. To determine the frequency of control, we used data on the reliability of components and parts obtained from the processing of statistical information on the operation of locomotives in operation, as well as data on the costs of restoring components in the event of failures. **Findings.** A method for determining the rational peri-

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

ods for diagnosing locomotive components based on minimizing the cost of diagnosing and restoring them in case of failure is proposed. Based on the analysis of the reliability of hydraulic transmissions of locomotives in their operation, the reliability indicators of hydraulic transmission units and parts are determined in the form of dependencies of the average number of hydraulic transmission failures on the operating time of the locomotive. A techno-economic map of hydraulic transmission repair and a techno-economic map of its diagnostics have been developed. The results of determining the frequency of diagnostics of the hydraulic transmission UGP750–1200PR of diesel locomotives TGM4 and TGM6 are presented. **Originality.** The methodology for determining the frequency of monitoring the technical condition of locomotive components has been further developed by taking into account the impact of the system of preventive, scheduled maintenance and diagnostics on the reliability of the locomotive. **Practical value.** The use of the proposed methodology for the formation of a system for repairing and diagnosing locomotives and their components will allow the formation of a system for maintaining locomotives taking into account their actual condition.

Keywords: maintenance system; frequency of control; minimization of maintenance system costs; hydraulic transmission of a locomotive

## REFERENCES

1. Aulin, V. V., Kalich, V. M., Grinkiv, A. V., & Holub, D. V. (2015). Forecasting the residual life of components and vehicles agriculture for their technical state. *Design, production and exploitation of agricultural machines*, 45(2), 28-36. (in Ukrainian)
2. Bodnar, B. E. (1997). *Teoreticheskie osnovy, opyt sozdaniya sistem ispytaniya i diagnostirovaniya teplovozov s gidrodinamicheskoy peredachey* (Doctoral dissertation). Dnipropetrovsk State Technical University of Railway Transport. Dnipropetrovsk, Ukraine. (in Russian)
3. Bodnar, B. Ye., Bobyr, D. V., & Kapitsa, M. I. (2021). *Hydraulic transmission of locomotives*. Dnipro: Drukarnia TOV pidpriemstvo «Driant». (in Ukrainian)
4. Bodnar, E. B. *Improvement of operational reliability of locomotives by Introduction of the rational maintenance system* (PhD dissertation). Ukrainian state academy of railway transport. Kharkiv, Ukraine. (in Ukrainian)
5. Bosov, A. A., Bodnar, B. Ie., & Bodnar, Ye. B. (2002). Modeljuvannja tekhnologij remontu tekhnichnykh ob'ektiv. *Visnyk Nacionaljnogho transportnogho un-tu ta TAU*, 6, 10-14. (in Ukrainian)
6. Bosov, A. A., & Bodnar, Ye. B. (2002). Vlyanye systemy sodержaniya na nadezhnost lokomotyvov. *Proceedings of the Dnipropetrovsk state technical university of railway transport*, 10, 66-68. (in Russian)
7. Bosov, A. A., & Loza, P. A. *Teoreticheskie osnovy ratsionalnogo sodержaniya podvizhnogo sostava zheleznykh dorog: monografiya*. Dnepropetrovsk: Izd-vo OOO predpriyatje «Driant». (in Russian)
8. Datsun, Yu. M. (2021). Development of scientific formation fundamentals of the intellectualized locomotive repair system (Doctoral dissertation). State Academy of Railway Transport. Kharkiv, Ukraine. (in Ukrainian)
9. Glushchenko, V. Ye. (2000). Sozdanie algoritmov diagnostirovaniya transportnykh sredstv s ispolzovaniem metodov teorii nechetkikh mnozhestv. *Vestnik VUGU*, 4, 182-187. (in Russian)
10. Zhukovytskyi, I. V., Kliushnyk, I. A., Ochkasov, O. B., & Koreniuk, R. O. (2017). Udoskonalennia zasobiv vymiriuvannia stendy obkatky hidropredach teplovoziv shliakhom vprovadzhennia mikroptsesornykh zasobiv. *Lokomotyv-Inform*, 5-6, 51-57. (in Ukrainian)
11. Kliushnyk, I. A. (2017). Research of the possibility of using neural networks in the tests of locomotive hydraulic transmissions. *Information and control systems at railway transport*, 5, 8-15. (in Ukrainian)
12. Ochkasov, A., Koreniuk, R., Cherniaev, D., & Khrystych, A. (2018). Modeling of the Self-Delaying Mode of the UGP750/1200 Hydraulic Transmission under Stand Tests. In *Proceedings of the 21th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania' Transport Engineering and Management* (pp. 45-48). Vilnius, Lithuania. (in Russian)
13. Skachkova, I., Bychkova, L., & Yunosheva, Y. (2020). Implementation of total productive maintenance at the machine-building enterprise. *Pryazovskyi Economic Herald*, 2(19), 136-141. DOI: <https://doi.org/10.32840/2522-4263/2020-2-23> (in Ukrainian)
14. Turenko, A. M., Migal, V. D., & Ryzhikh, L. A. (2016). *Proektirovanie diagnosticheskogo obespecheniya transportnykh mashin: uchebnoe posobie*. Kharkov: Maydan. (in Russian)
15. Bondar, B., Ochkasov, O., Petrenko, V., & Martishevskij, M. (2023). Implementing Intelligent Monitoring of the Technical Condition of Locomotive Hydraulic Transmissions. *Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure*, 726-736. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-25863-3\\_70](https://doi.org/10.1007/978-3-031-25863-3_70) (in English)

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

16. Lee, J., Ni, J., Singh, J., Jiang, B., Azamfar, M., & Feng, J. (2020). Intelligent Maintenance Systems and Predictive Manufacturing. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 142(11), 1-23. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.4047856> (in English)
17. Silva Christo, E. da, Petruccelli, L. P., & Costa, K. A. (2015). Total productive maintenance in the railway system. *Jurnal Teknologi*, 76(6), 55-59. DOI: <https://doi.org/10.11113/jt.v76.5678> (in English)
18. Tartakovskyi, E., Ustenko, O., Puzyr, V., & Datsun, Y. (2017). Systems approach to the organization of locomotive maintenance on Ukraine railways. In *Rail Transport-Systems Approach* (pp. 217-236). Springer, Cham. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-51502-1\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-51502-1_5) (in English)
19. Bodnar, B., Ochkasov, O., Bobyr, D., Korenyuk, R., & Bazaras, Ž. (2018). Using the Self-Braking Method when the Post-Overhaul Diagnostics of Diesel-Hydraulic Locomotives. In *Proceedings of 22nd International Scientific Conference. Transport Means 2018* (Pt. II, pp. 914-919). Kaunas Univ. of Technology, Klaipėda Univ., JSC Lithuanian Railways (AB “Lietuvos Geležinkeliai”). Kaunas, Lithuania. (in English)
20. Zhukovytskyi, I. V., Kliushnyk, I. A., Ochkasov, O. B., & Korenyuk, R. O. (2015). Information-measuring test system of diesel locomotive hydraulic transmissions. *Science and Transport Progress*, 5(59), 53-65. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2015/53159> (in English)
21. Zhukovytskyi, I. V., & Kliushnyk, I. A. (2017). Choice of the optimal parameters of measuring the shaft rotation frequency of the hydraulic transmission of the locomotive using microcontroller. *Science and Transport Progress*, 2(68), 36-45. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2017/99945> (in English)

Надійшла до редколегії: 25.11.2022

Прийнята до друку: 24.03.2023