

УДК 629.421.1

DOI: 10.34029/2311-4061-2021-138-1-30-39

*Кандидати техн. наук*

*Матяш В. О., Аулін Д. О.*

*Інженери Анацький О. О., Коваленко Д. М.*

## ПЕРСПЕКТИВНІ ЗАХОДИ З РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ДЛЯ ТЕПЛОВОЗІВ

*Ключові слова:* тепловоз, економія ресурсів, дизельний двигун, полегшення пуску, вуглецеві відкладення, безрозбірна очистка, модель випробування.

### Вступ

В сучасних складних економічних умовах є актуальним і обґрунтованим запровадження енергетичного, технічного, конструкційного та ресурсного менеджменту із залученням сучасних технологій та професіоналів. Оптимізація потоків фінансів і ресурсів вимагає дуже ретельного та точного підходу з використанням напрацьованих обґрунтованих методів. Необхідність впровадження новітніх технологій, технічних конструкцій, організації ремонтів та праці вимагає на початковому етапі мінімальних вкладень, але значних теоретичних розрахунків. При цьому вибір ефективних управлінських рішень, таких як використання сучасних методів управління проектами, бізнес-процесами, реінжинірингу, логістики, менеджменту, маркетингу, моніторингу, впровадження спеціалізованого програмного забезпечення та іншого, базується на всебічному аналізі комплексу взаємозалежних чинників, визначенні та порівняльній оцінці можливих альтернатив і допустимих планів дій на базі математичних методів: моделювання, аналізу, балансування, імітаційного моделювання, прогнозування, оптимізації, підтримки прийняття рішень тощо [1].

Спеціалістами залізниць і підприємств у співробітництві з кафедрою експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ), протягом багатьох років розробляються та впроваджуються актуальні рішення з ремонту, модернізації, експлуата-

ції, як вузлів та локомотивів в цілому, так і в розрізі раціонального споживання ресурсів. Для даного тягового рухомого складу найбільш актуальним є комплексне вирішення проблеми ресурсозбереження [2].

### Мета роботи

Мета роботи полягає в визначенні найбільш перспективних заходів з ресурсозбереження для тепловозів. Для її досягнення необхідно вирішити наступні задачі: проаналізувати існуючий досвід застосування ресурсозберігаючих заходів для тепловозів; дослідити ефективність застосування запропонованих заходів; надати рекомендації щодо впровадження найбільш перспективних ресурсозберігаючих заходів для тепловозів.

### Основна частина дослідження

Для більш систематизованого розгляду усіх можливих заходів з ресурсозбереження відносно тепловозів доцільно розділити їх на основні стратегічні напрями: конструкційні заходи, технологічні заходи, експлуатаційні заходи і організаційно-технологічні заходи.

У свою чергу кожний з виділених видів заходів включає ряд найважливіших напрямів діяльності, що забезпечують найпомітніші позитивні результати у ресурсозбереженні [3].

В якості *конструкційних заходів* пропонується під час модернізації пускових та регулювальних систем тепловозів встановлювати декомпресор, що дає змогу зменшити насосні втрати в циліндрах. Даний захід направлений на зменшення витрат палива та збільшення економічності роботи двигуна, а також підвищення надійності акумуляторних батарей [4]. Система пуску тепловозних двигунів, що експлуатуються на залізницях України має істотний недолік – великий обертаючий момент, який виникає під час пуску дизеля для подолання моменту опору провртанню колінчастого валу, що призводить до зростання пускових струмів в акумуляторній батареї до пікових значень. Це знижує строк експлуатації акумуляторної батареї і підвищується знос пар тертя валопроводів і зубчастих передач у силовій установці тепловоза [5]. Тому актуальним є завдання розробки методів зниження пускового струму акумуляторних батарей тепловозів на підставі результатів теоретичних та експериментальних досліджень [6].

Для досягнення економії ресурсів під час пуску дизельних двигунів тепловозів, шляхом зменшення негативних впливів пускових пікових струмів і збільшення терміну служби акумуляторних батарей, було розроблено пристрій (декомпресор) для полегшення пуску двигуна внутрішнього згорання. Він являє собою кроковий електродвигун з редуктором, що кріпиться на індикаторний кран циліндра дизеля (рис. 1), який перед його запуском з'єднує об'єм циліндра з атмосферою. При досягненні пускової частоти валу дизеля індикаторний кран кроковим двигуном зачищається і подається команда на подачу палива у відповідний циліндр дизеля.

Апробація даного пристрою була проведена на експериментальному стенді, який складається з двохциліндрового дизельного двигуна (діаметр поршня 96 мм, хід поршня 112 мм), з'єданого з електричним пусковим двигуном (стартером) через клиноремінну передачу.

В зв'язку з тим, що досліджувався процес пуску дизельного двигуна, було розраховано обертаючий момент його пускової системи, який необхідний для подолання моменту опору провертанню колінчастого валу  $M_C$ , Н·м, за формулою:

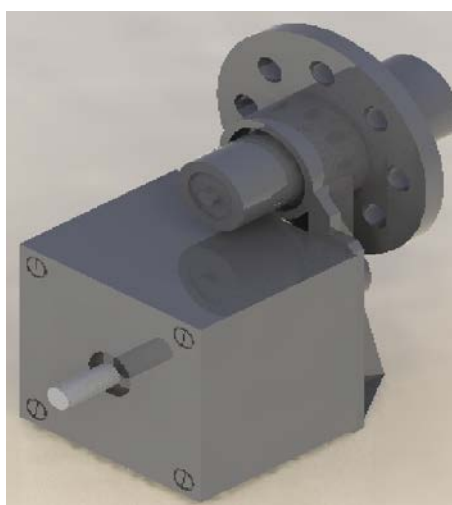


Рис. 1 – Пристрій для пускової декомпресії циліндра тепловозного дизеля

$$M_C = 390 \cdot V_h \cdot \left[ \varepsilon + 6 \cdot \sqrt{\delta_H} + k_M \cdot \left( 1 + \frac{\delta_H^2}{8} \right) \cdot \sqrt{v \cdot \frac{\pi \cdot n_{KP}}{30}} \right] \quad (1)$$

де:  $V_h$  – робочий об'єм циліндрів двигуна, м<sup>3</sup>,  $V_h = 0,011$  м<sup>3</sup>;

$\varepsilon$  – ступінь стиснення,  $\varepsilon = 13$ ;

$\delta_H$  – коефіцієнт нерівномірності прокручування валу двигуна,  $\delta_H = 0,5$ ;

$k_M$  – коефіцієнт типу двигуна внутрішнього згорання,  $k_M = 2,8$ ;

$v$  – кінематична в'язкість масла у двигуні, мм<sup>2</sup>/с,  $v = 14$  мм<sup>2</sup>/с;

$n_{KP}$  – частота обертання колінчастого валу, об/хв,  $n_{KP} = 180$  об/хв.

При цих умовах, обертаючий момент дорівнює:

$$M_C = 390 \cdot 0,011 \cdot \left[ 13 + 6 \cdot \sqrt{0,5} + 2,8 \cdot \left( 1 + \frac{0,5^2}{8} \right) \cdot \sqrt{14 \cdot \frac{3,14 \cdot 180}{30}} \right] = 275 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Потужність на колінчастому валу під час пуску  $N_n$ , Вт, визначається за виразом:

$$N_n = \frac{M_C \cdot \pi \cdot n_{KP}}{30}, \quad (2)$$

$$N_n = \frac{275 \cdot 3,14 \cdot 180}{30} = 5181 \text{ Вт}.$$

Потужність електрична  $P_e$ , Вт:

$$P_e = \frac{N_n}{\eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{ел}}}, \quad (3)$$

де:  $\eta_{\text{мех}}$  – коефіцієнт корисної дії механічний,  $\eta_{\text{мех}}=0,97$ ;

$\eta_{\text{ел}}$  – коефіцієнт корисної дії електричний,  $\eta_{\text{ел}}=0,84$ .

$$P_e = \frac{5181}{0,97 \cdot 0,84} = 6359 \text{ Вт.}$$

Проведені експериментальні пуски стендового двигуна з використанням декомпресорів показали істотне зменшення пускового струму електростартера в умовах експериментальної установки (рис. 2).

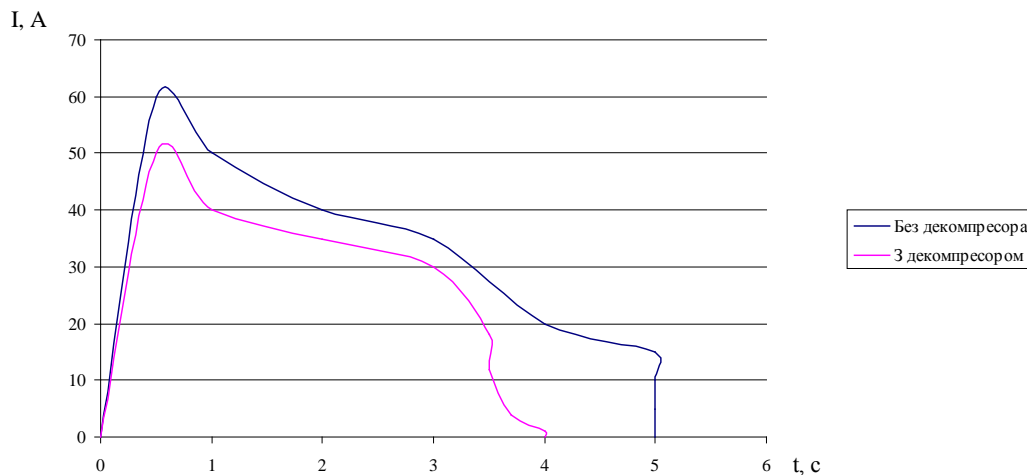


Рис. 2 – Осцилограма зміни пускового струму електростартера дизельного двигуна експериментальної установки

**Конструкційним заходом** спрямованим на зменшення витрат матеріалів та праці робітників є впровадження актуальних конструкційних новітніх матеріалів. У прагненні до мінімізації та зниження затрат коштів та матеріалів на проведення ТО і ПР тепловозів, недостатньо приділяється увага конструктивним рішенням по нескладним, але відповідальним вузлам локомотивів. Досвід експлуатації тепловозів серії ЧМЕЗ в/і вказує на недостатність вивчення проблеми виходу з ладу болтів та сферичних вкладишів підвісу їх головних рам на візках. За даними локомотивних депо вихід з ладу цього вузла, в середньому на один локомотив, відбувається 1-3 рази на рік. При чому з ладу виходить підвісний несучий болт (тріщина, злам).

Застосування кульових опор в підвісці головної рами дозволяє візкам повертатися щодо рами тепловоза при вписуванні його в криві ділянки колії. Підвісні болти кожного візка розташовані з нахилом, як ребра піраміди, вершина якої співпадає з віссю відповідного шворню головної рами. Таке розташування болтів сприяє швидкому поверненню візків в початкове положення після виходу

тепловоза з кривої ділянки залізничної колії, що зменшує вертикальний підріз гребенів бандажів колісних пар. Відомо, що при терті споріднені матеріали придатні до схоплювання. Так, сталевий цементований сферичний вкладиш підвісу несучого болта при терті об своє сталеве гніздо здатен припускатися до міжметалевих зв'язків. Зусилля, які впливають на дану пару тертя, мають великі числові значення. Для вирішення цієї проблеми були розроблені і впроваджені біметалеві гнізда з антифрикційного композитного матеріалу, виконані за кресленням на рисунку 3. Результати проведених попередніх експлуатаційних випробувань цього конструктивного рішення на протязі шести місяців (табл. 1) показали високу працездатність модернізованого вузла, з мінімальним його зносом та високою надійністю.

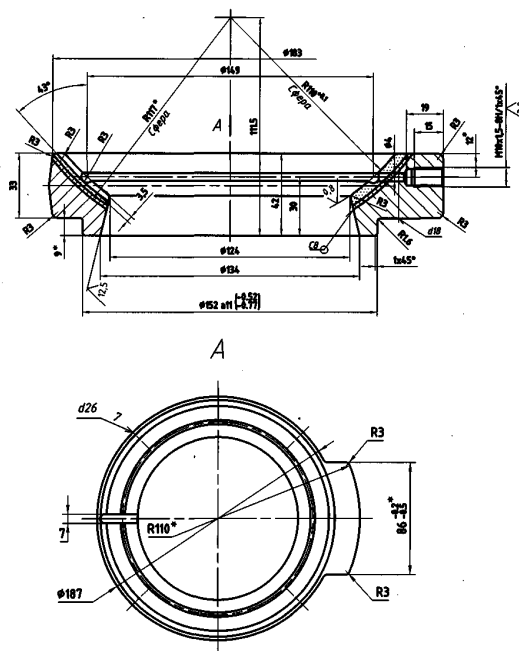


Рис. 3 – Сферичне гніздо з композитною поверхнею тертя болта підвісу на візках головної рами тепловоза ЧМЕЗ

Табл. 1 – Результати попередніх випробувань модернізованих вузлів підвісу головної рами тепловозу ЧМЕЗ на його візках після шести місяців експлуатації

Показник	До випробувань	Після випробувань	Похибка вимірювань
Висота гнізда, мм	42	42	0,1
Посадковий діаметр, мм	152	152	0,1
Внутрішній діаметр, мм	124	124	0,1
Ширина фіксуючого шипу, мм	86	86 <sup>-0,2</sup> <sub>-0,5</sub>	0,1
Товщина плакованого шару, мм	6,3	6,5	0,1
Зовнішній діаметр, мм	205	205	0,1
Внутрішній діаметр, мм	70	70 <sup>+0,2</sup> <sub>+0,3</sub>	0,1
Висота вкладишу сферичного, мм	66	66	0,1

Серед **технологічних заходів** можна відзначити безрозбірну технологію очистки систем паливоподачі та циліндро-поршневої групи дизельного двигуна тепловозу.

Під час роботи двигуна внутрішнього згорання утворюються відкладення на елементах його системи паливоподачі, циліндро-поршневої групи і випускного тракту. Основним джерелом відкладень служать смолянисті речовини, що утворюються при термічному окисленні неорганічних вуглеводнів палива та моторної оливи. Ці вуглецеві відкладення (смоли та кокс) чинять негативний

вплив на елементи паливної апаратури та циліндро-поршневої групи двигуна. Вуглецеві відкладення на цих елементах мають різний склад та різні механізми утворення [7-10].

Існуюча технологія ремонту в багатьох випадках не передбачає запобігання підвищеному забрудненню складових дизельного двигуна і зводиться, в основному, до видалення відкладень, пов'язаному з демонтажем елементів або розбиранням механізмів дизеля та тепловоза. Крім того, механічне видалення нагару тягне за собою додаткове пош-

кодження циліндро-поршневої групи та захисного покриття поршнів двигуна, що веде до їх прискореного зношування.

Спеціалістами УкрДУЗТ, локомотивного господарства РФ «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця» та НПП «ТОР» розроблена і апробована технологія безрозбірної очистки паливних систем та циліндро-поршневої групи дизельного двигуна тепловоза з використанням спеціальної миючої рідини [11].

Параметри розпилювання – дисперсність, рівномірність і глибина проникнення у циліндр двигуна факела розпиленого палива, від яких залежить якість протікання робочого процесу дизеля, в свою чергу, залежать не тільки від геометричних розмірів отворів, через які відбувається розпилювання, але також від чистоти їх обробки, наявності гострих країв та наявності вуглецевих відкладень на їх поверхнях [12, 13]. У комплекті форсунок, що встановлюється на двигун, значення ефективних прохідних перетинів отворів для подачі палива у окремих форсунках, згідно технічних умов, не повинні мати різницю більше 5 %. Ці прохідні перетини визначаються на технологічному стенді для статичного проливання елементів паливної апаратури.

Витрата палива через елемент паливної апаратури  $\Delta V$  в  $\text{м}^3$  за час  $\Delta t$  визначається за формулою:

$$\Delta V = 10^3 \mu f \sqrt{\frac{2P_{II}}{\rho_{II}}} \Delta t, \quad (4)$$

де:  $\mu$  – коефіцієнт витоків через форсунку;  
 $f$  – площа паливних отворів форсунки,  $\text{м}^2$ ;

$P_{II}$  – тиск палива,  $\text{МН/м}^2$ ;

$\rho_{II}$  – густина палива,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\rho_{II} = 840 \text{ кг/м}^3$ ;

$\Delta t$  – час витоків палива через форсунку, с.

Ефективний прохідний перетин елементу паливної апаратури визначається за формулою:

$$\mu f = \frac{\Delta V}{10^3 \Delta t \sqrt{2 \frac{P_{II}}{\rho_{II}}}}. \quad (5)$$

Вплив вуглецевих відкладень на систему подачі палива дизельного двигуна визначається сумою факторів впливу на зміну гідравлічних опорів паливних трубопроводів високого тиску і форсунок, температур поверхонь, якості сумішоутворення тощо (рис. 4).



Рис. 4 – Фактори, що впливають на утворення вуглецевих відкладень на елементах системи паливоподачі тепловозних дизелів та їх вплив на якість сумішоутворення у циліндрах двигуна

Рівнями факторів впливу є граничні і середні значення зміни ефективного прохідного перерізу елементів паливної апаратури, викликані вуглецевими відкладеннями. Поєднання рівнів за всіма чинниками утворює

умови роботи паливної системи у моделі об'єкта, що досліджується – паливної системи у складі дизельного двигуна тепловоза (рис. 5).

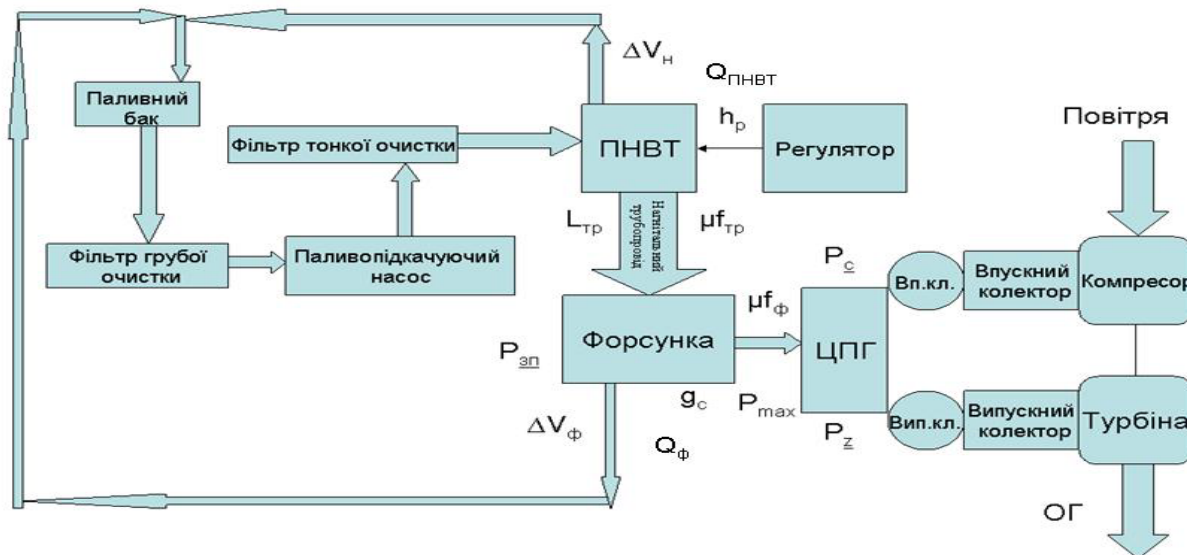


Рис. 5 – Взаємозв'язок показників роботи тепловозного дизеля з технічним станом його системи паливоподачі

Зміни гідравлічних опорів трубопроводів високого тиску та форсунок дизельного двигуна враховуються коефіцієнтами:

$$\Delta_{III} = \frac{\mu f_{III} - \mu f'_{III}}{\mu f_{III}}, \quad (6)$$

де:  $\mu f_{III}$  – ефективний перетин паливопроводу без вуглецевих відкладень, м<sup>2</sup>;

$\mu f'_{III}$  – ефективний перетин паливопроводу після експлуатації, м<sup>2</sup>;

$$\Delta_{\phi} = \frac{\mu f_{\phi} - \mu f'_{\phi}}{\mu f_{\phi}}, \quad (7)$$

де:  $\mu f_{\phi}$  – ефективний перетин розпилювача форсунки без вуглецевих відкладень, м<sup>2</sup>;

$\mu f'_{\phi}$  – ефективний перетин розпилювача форсунки після експлуатації, м<sup>2</sup>.

Для побудови математичної моделі зв'язку між вимірюваною величиною відгуку  $y$  і контрольованими змінними факторами  $f = (x_1, \dots, x_i)$  можна застосувати методи регресійного аналізу, так як результати вимі-

рювань  $y_u$ ,  $u = 1, \dots, N$  являють собою незалежні, нормально розподілені випадкові величини, дисперсія відгуків яких в різних точках і факторного простору однакова і не залежить від абсолютних значень  $y_u$ . Фактори  $x_1, \dots, x_i$  виміряні з мізерно малою помилкою в порівнянні з помилкою у визначенні  $y$ .

З аналізу впливу гідравлічних опорів на функцію відгуку  $Q$  видно, що лінійного наближення недостатньо, тому в якості апроксимуючої функції приймаємо поліном другого порядку.

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i < j}}^k b_{ji} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{is} x_i^2, \quad (8)$$

де  $k$  – число факторів. Рівні факторів та їх коди наведено у таблиці 2.

Табл. 2 – Рівні факторів впливу на зміни ефективного прохідного перетину паливопроводу високого тиску і форсунки двигуна та їх коди

Рівні факторів	Код рівня	Фактори		
		Коефіцієнт зміни ефективного прохідного перетину паливо-проводу високого тиску, $\Delta_{III}$	Коефіцієнт зміни ефективного прохідного перетину форсунки, $\Delta_{\phi}$	Пробіг тепловоза, $T$ діб
Основний $\bar{X}$	0	0,985	0,833	225
Верхній $X^B$	+1	0,977	0,666	450
Нижній $X^H$	-1	1	1	0

Реалізація матриці випробувань дозволяє побудувати модель паливної системи у складі дизельного двигуна тепловоза (см. рис. 4),

яка містить перетворені згідно її квадратичні члени

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i < j}}^k b_{ji} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} (x_i^2 - \bar{x}_i^2). \quad (9)$$

Остаточна форма отриманого рівняння набуде вигляду:

$$y = 1,46 + 0.021x_1 + 0.124x_2 + 0.055x_3 + 0.006x_1x_2 - 0.0012x_1x_3 - 0.048x_2x_3 - 0.012x_1^2 - 0.005x_2^2 + 0.006x_3^2, \quad (10)$$

де  $x_1, x_2, x_3$  – кодовані значення факторів.

Щоб використовувати це рівняння, необхідно перейти до реальних змінних за формулами (11). Використовуючи дані табл. 2, отримаємо:

$$\begin{cases} x_1 = \frac{\Delta_{III} - 0,977}{0,033}; \\ x_2 = \frac{\Delta_{\phi} - 0,666}{0,334}; \\ x_3 = \frac{T - 225}{450}. \end{cases} \quad (11)$$

Дисперсії  $S_{ag}^2$  і  $S_{воспр}^2$  однорідні та з вірогідністю 95 % їх відношення відповідає умові:

$$\frac{S_{ag}^2}{S_{воспр}^2} < F, \quad (12)$$

де  $F$  – довідкове значення критерію Фішера.

Отримані залежності доцільно використовувати при розробці інструкцій і методичних вказівок щодо прийняття оптимальних рішень по періодичності та характеру проведення профілактичної очистки паливної системи, її апаратури і циліндро-поршневої групи дизелів тепловозів від вуглецевих відкладень, з урахуванням умов роботи та режимів їх експлуатації. Вигляд крапель розпиленого палива до і після проведення очистки паливної системи приведено на рисунках 6 та 7.

Якщо перейти від продуктивності паливної системи до ефективної витрати палива  $g_e$  тепловозним дизелем, отримуємо її залежність від напрацювання тепловозу (рис. 8).

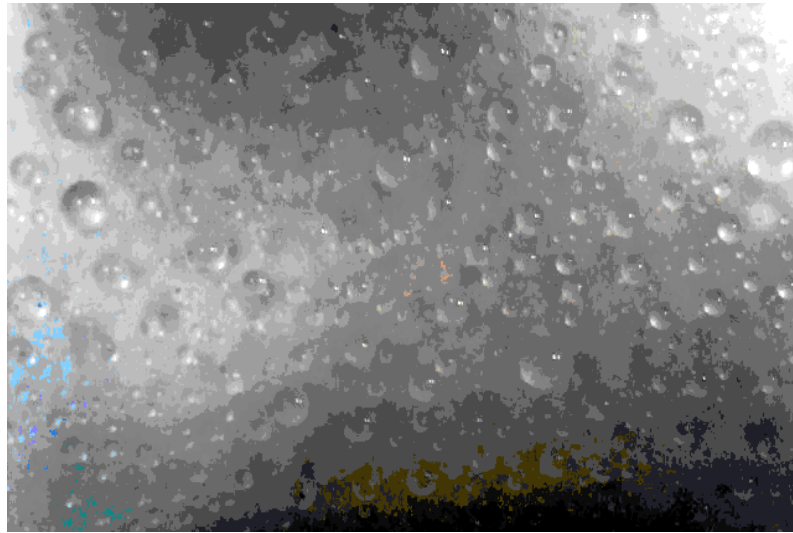


Рис. 6 – Зображення крапель розпиленого палива форсункою  $T = 300$  діб  $\Delta_{III} = 0,986$ ;  $\Delta_{\phi} = 0,885$  (збільшено в 150 разів)

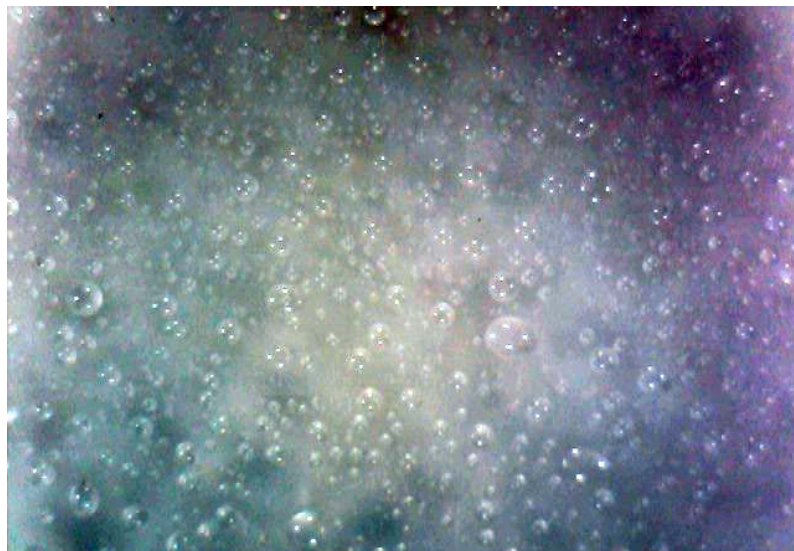


Рис. 7 – Зображення крапель розпиленого палива форсункою  $T = 300$  діб після застосування технології безрозбірної очистки системи паливоподачі  $\Delta_{III} = 0,998$ ;  $\Delta_{\phi} = 0,995$  (збільшено в 150 разів)

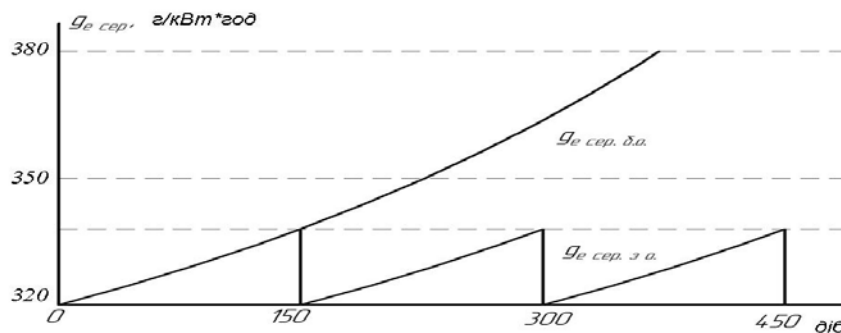


Рис. 8 – Залежність зміни ефективної витрати палива  $g_e$  дизелем від напрацювання тепловозу для двох станів паливної системи:  
 $g_{e 60}$  – без очищення,  $g_{e 30}$  – з очищенням



Результати наведених експериментальних та теоретичних досліджень вказують на доцільність внесення змін до існуючої системи технічного обслуговування і поточних ремонтів тепловозів, з включенням до них технології безрозбірного очищення паливної системи дизеля. Роботи з безрозбірного очищення паливної системи пропонуються проводити приблизно 2 рази на рік для тепловозів, що знаходяться у постійній експлуатації, поєднуючи їх з плановими видами технічного обслуговування. Також можливе застосування цієї технології при погіршенні паливної економічності тепловозів. В цьому випадку технологію безрозбірного очищення паливної системи тепловозу пропонуються застосовувати на найближчому ТО-3 [14]. Також пропонуються провести коригування існуючого регламенту міжремонтних пробігів тепловозів.

#### Висновки

Розглянуті в статті ресурсозберігаючі заходи для тепловозів можуть бути віднесені до основних стратегічних напрямів впровадження ресурсозберігаючих заходів в локомотивному господарстві залізниць України.

Запропоновано:

- під час модернізації пускових та регулювальних систем двигунів тепловозів встановлювати на них декомпресори, що дасть змогу зменшити насосні втрати в циліндрах дизеля на режимах його пуску. Розраховано обертаючий момент, необхідний для подолання моменту опору повертанню колінчастого валу дизеля, що дає змогу оптимізувати потужність електричного двигуна (стартера) необхідного для його запуску;

- технологію безрозбірної очистки паливних систем та циліндро-поршневої групи тепловозного дизеля з використанням спеціальної миючої рідини. За допомогою математичного моделювання отримані залежності, на підставі яких можливо встановити оптимальну періодичність та об'єм профілактичної очистки систем паливподачи тепловозних дизелів;

- використання сучасних матеріалів в парі тертя сферичного підвісу головної рами тепловозів ЧМЕЗ на його візках надає можливість зменшити знос вузла та збільшити його

надійність. Згідно до отриманих даних по експлуатації удосконаленого вузла він пропрацював без зауважень з 2009 по 2014 рік, що значно перевищує реальний строк експлуатації вузла, виготовленого в умовах депо.

#### Література

1. Kinash I. A. Organization of system resource saving management in enterprise / I. A. Kinash // Austrian Journal of Humanities and Social Sciences. – 2015. – № 11-12. – P. 110-112.
2. Saidi M.-Y. Resource saving: Which resource sharing strategy to protect primary shortest paths? / M.-Y. Saidi, B. Cousin // 13th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC): Conference Paper, 9-12 Jan. 2016, Las Vegas, NV, USA. – IEEE, 2016. – P. 72-74. DOI: 10.1109/CCNC.2016.7444788.
3. Смоляк М. І. Розроблення заходів з підвищення ефективності роботи депо за рахунок раціонального використання енергоресурсів [Електрон. ресурс] / М. І. Смоляк, А. П. Фалендиш, А. М. Зінківський // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – 2014. – Вип. 144. – С. 140-144. – Режим доступу: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.144.2014.80517>
4. Анацький О. О. Аналіз факторів впливаючих на пускові характеристики дизельних двигунів тепловозів та допоміжних пристроїв для полегшення пуску / О. О. Анацький, С. В. Бобрицький // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2015. – № 1 (218). – С. 272-275.
5. Порядок розроблення та поставлення продукції на виробництво для потреб залізничного транспорту в системі Міністерства транспорту України : ГСТУ 32.0.08.001-97. – [Чинний від 2000-03-01]. – Київ : Міністерство транспорту України, 2000. – 90 с.
6. Фесенко М. Н. Теория, конструкция и расчет автотракторного электрооборудования / М. Н. Фесенко. – Москва : Машиностроение, 1979. – 344 с.

7. Володин А. И. Причины образования кокса в сопловых отверстиях распылителей форсунок дизелей / А. И. Володин, Л. Ю. Михайлова, Ю. П. Макушев // Омский научный вестник. Серия «Приборы, машины и технологии». – 2013. – № 1 (117). – С. 59-63.

8. Thermal analysis of cylinder head carbon deposits from single cylinder diesel engine fueled by palm oil–diesel fuel emulsions [Електрон. ресурс] / М. Husnawan, Н. Н. Masjuki, Т. М. I. Mahlia, М. G. Saifullah // Applied Energy. – 2009. – Vol. 86, iss. 10. – P. 2107–2113. - Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.12.031>.

9. Galante-Fox J. Diesel injector internal deposits in High Pressure Common Rail diesel engines [Електрон. ресурс] / J. Galante-Fox, J. Bennett // Fuel Systems for IC Engines. – London: IMechE, 2012. – P. 157-166. - Режим доступа: <https://doi.org/10.1533/9780857096043.5.157>.

10. Laser surface cleaning of carbonaceous deposits on diesel engine piston [Електрон. ресурс] / Y. C.Guan, G. K. L. Ng, Н. Y. Zheng, М. Н. Hong, X. Hong, Z. Zhang // Applied Surface Science. – 2013. – Vol. 270. – P. 526–530. - Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.01.075>.

11. Ресурсозберігаючі технології очистки систем дизеля та тепловоза / Е. Д. Тартаковський, А. О. Каграманян, Д. О. Аулін, О. В. Басов // Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування. SEUTTOO–2017: матеріали 8-ї Міжнар. науково-практ. конф., Херсон, 28-29 вересня 2017 р. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2017. – С. 312-315.

12. Грехов Л. В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей / Л. В. Грехов, Н. А. Иващенко, В. А. Марков. – Москва : Легион-Автодата, 2005. – 344 с.

13. Лышевский А. С. Распыливание топлива в судовых дизелях / А. С. Лышевский. – Ленинград: Судостроение, 1971. – 248 с.

14. Розрахунковий комплекс оцінки ефективності використання ресурсозберігаючих технологій очищення систем дизеля та тепловоза / Д. О. Аулін, А. О. Каграманян, А. П. Фалендиш, О. В. Рудковський // Інформацій-

но-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2017. – № 6. – С. 9-15.

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**Матяш Віктор Олександрович,**

к.т.н.

Вул. Євгена Котляра, 7  
м. Харків, 61000, Україна  
Тел.: 38 050 619 04 52.  
E-mail: [pktbkh@ukr.net](mailto:pktbkh@ukr.net).

**Аулін Дмитро Олександрович,**

к.т.н., старший викладач Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ).

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

Тел.: +38 057 730 19 99.

E-mail: [Dimmo@ex.ua](mailto:Dimmo@ex.ua);

<https://orcid.org/0000-0002-7990-4808>.

**Анацький Олександр Олександрович,**

старший викладач УкрДУЗТ.

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

Тел.: +38 057 730 19 99.

E-mail: [ANATSKIY@i.ua](mailto:ANATSKIY@i.ua);

<https://orcid.org/0000-0002-0132-8767>.

**Коваленко Дмитро Миколайович,**

старший викладач УкрДУЗТ.

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

Тел.: +38 057 730 19 99.

E-mail: [Kovacodm@gmail.com](mailto:Kovacodm@gmail.com);

<https://orcid.org/0000-0002-9192-2224>.