

УДК 62-682

АРТЕМЕНКО О. В., інженер (Філія "ПІВДЕННА ЗАЛІЗНИЦЯ" ПАТ "Укрзалізниця"),
КЛЕЦЬКА О. В., асистент кафедри теплотехніки та теплових двигунів,
СТОВПЯГА М. С., магістр кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу,
ФАЛЕНДИШ А. П., д.т.н., завідувач кафедри теплотехніки та теплових двигунів (Український державний університет залізничного транспорту)

Регулювання процесу обігріву системи охолодження дизеля тепловоза ЧМЕЗ

Показана доцільність оновлення маневрових тепловозів шляхом їх модернізації. Актуальним є впровадження підігріву систем охолодження тепловозів за рахунок вбудованих підігрівачів. Розроблені моделі для визначення параметрів підігріву систем охолодження дизеля, масла у водомасляному теплообміннику та наддувального повітря. В ролі підігрівача на тепловозі встановлюються два рідинні нагрівачі "Thermo 350" виробництва німецької фірми "Webasto". Наведені результати випробувань системи підігріву в холодний період року та дані висновки за їх результатами.

Ключові слова: модернізація маневрового тепловоза, система підігріву тепловоза, модель підігріву системи охолодження, випробування.

Вступ

Інвентарний парк тягового рухомого складу України складають понад 2,4 тисячі магістральних і маневрових тепловозів, з них експлуатуються 1343 тепловози. Понад 95 % інвентарного парку тепловозів вже відпрацювали встановлений заводами-виробниками нормативний термін служби та потребують негайної заміни або проведення капітально-відновлювального ремонту [1 - 3].

Парк маневрових тепловозів складається з різних серій, але переважна більшість з них припадає на тепловози ЧМЕЗ різних індексів. Всього в парку налічується понад 1,5 тисячі локомотивів [1]. Аналіз парку маневрових тепловозів залізниць України показав, що на даний момент понад 98 % його парку експлуатується за межами нормативно встановленого терміну служби, що складає 25 років, та потребує оновлення.

Парк тепловозів складається на 50 % із маневрових локомотивів. Серед них тепловози ЧМЕЗ в кількості понад 1,4 тисячі одиниць.

Тільки тепловози ЧМЕЗ експлуатуються на межі нормативного строку експлуатації, але і вони вичерпають призначений ресурс в найближчі три роки. Подальша експлуатація всіх тепловозів ЧМЕЗ можлива через виконання комплексу заходів щодо подовження максимального можливого терміну експлуатації до 40-50 років [1]. При цьому тепловози ЧМЕЗ відносяться до 2-го покоління локомотивів та морально і фізично застаріли, мають завищені експлуатаційні витрати (паливо, мастило, ремонт і т. п.).

Маневрові тепловози інших серій складають 24 одиниці (ТГМ23, ТГК2, ТГК21, ТЕМ103, ТЕМ18ДМ) і не потребують списання до 2020 р. Тепловози серії ЧМЕ2, що експлуатуються в локомотивних депо переважно для власних потреб, протягом 2015 – 2020 рр. повинні бути вилучені з інвентарного парку через високий ступінь зносу та повне вичерпання нормативного та подовженого строку служби [1, 3].

Таким чином, технічний стан парку тепловозів є критичним. Основна частина локомотивів вже вичерпала свій ресурс і потребує оновлення, особливо це стосується маневрових тепловозів. При цьому виникає практична необхідність оновлення парку тепловозів для задоволення потреби у перевезеннях та маневровій роботі. Для цього пропонується два основні напрямки: закупівля нових одиниць локомотивів або модернізація наявних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Враховуючи недостатні обсяги фінансування програм закупівлі нових серій тепловозів вітчизняними залізницями, найбільш перспективним виглядає заміна застарілих, тих, що вичерпали свій ресурс, локомотивів шляхом їх часткової або комплексної модернізації.

Як показують дослідження [4-9, 14, 15], останнім часом комплексна модернізація набуває все більших обсягів та є найбільш перспективним напрямком оновлення парку тепловозів [10].

© О. В. Артеменко, О. В. Клецька, М. С. Стівяга, А. П. Фалендиш, 2017

Одним із шляхів оновлення парку маневрових тепловозів є його модернізація. Враховуючи складне економічне становище в країні, доцільно модернізацію виконувати в локомотивних депо шляхом впровадження в конструкцію нових енергоефективних пристроїв.

Визначення мети і задачі дослідження

Метою даної роботи є розроблення математичного забезпечення для системи автоматичного прогріву системи охолодження тепловоза ЧМЕЗ в холодний період року.

Основна частина дослідження

Тепловтрати дизеля тепловоза в режимі його обігріву в основному є функцією температурного напору, тобто різниці температур теплоносія $t_{m.n.}^{\circ C}$ (води) та температури навколишнього повітря ($t_n^{\circ C}$).

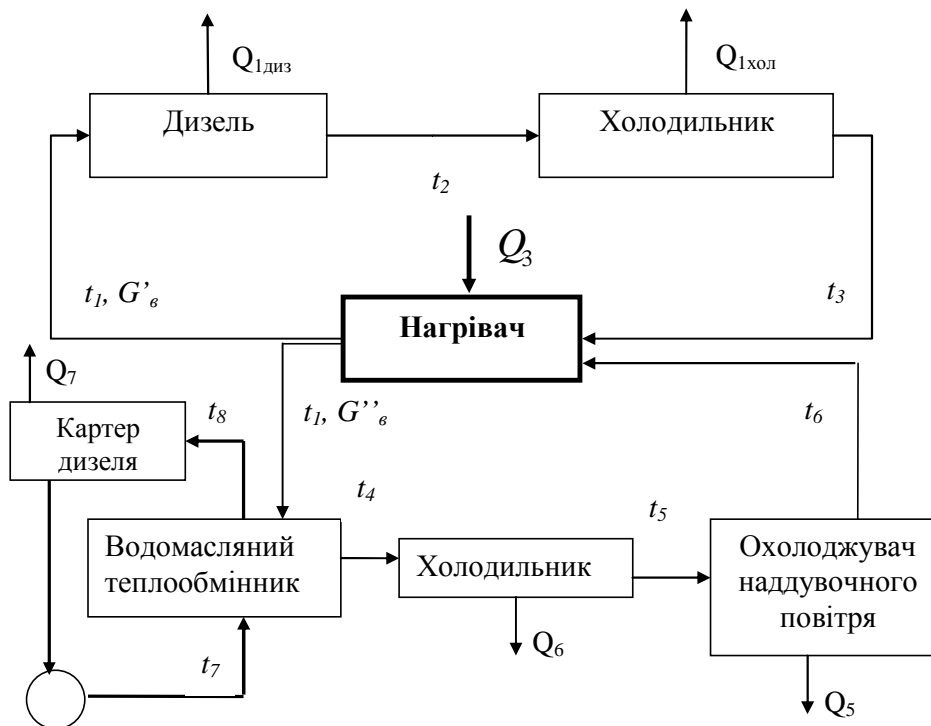
Виходячи з того, що при даній температурі зовнішнього повітря ці тепловтрати однозначно залежать від середньої температури теплоносія для зменшення витрати енергії на обігрів дизеля тепловоза, слід було б застосувати теплоносій з мінімально можливою температурою. Тобто температурою, що

виключає розморожування систем. Але при запуску дизеля, незалежно від зовнішньої температури, є ряд умов та особливостей:

- температура води в дизелі при його запуску повинна бути не нижче $40^{\circ C}$;
- температура масла в дизелі при його запуску повинна бути не нижче $20^{\circ C}$;
- температура води в решті частини системи (крім двигуна) повинна бути достатньою, щоб під час запуску двигуна не переохолодити його нижче $30^{\circ C}$;
- запуск двигуна може знадобитися в будь-який момент часу, що викликає неможливість використання режиму прогріву з додатковим догрівом систем до необхідної температури безпосередньо перед запуском.

Виходячи з цих умов для раціонального регулювання процесу обігріву системи охолодження дизеля тепловоза ЧМЕЗ необхідно визначити температуру після нагрівача в залежності від зовнішніх умов, тобто потужність нагрівача, та розробити систему підтримання її в необхідних межах [11].

Розглянемо коротко систему охолодження дизеля тепловоза ЧМЕЗ [11]. Вона являє собою двоконтурну систему, спрощена схема якої з паливопідігрівачем подана на рис. 1.



Маслопідкачувальний агрегат

Рис. 1. Схема обігріву системи охолодження дизеля маневрового тепловоза

На рис. 1 показані такі позначення:

t_1 - температура теплоносія на вході в систему, °С;

t_2 - температура теплоносія на виході з дизеля, °С;

t_3 - температура теплоносія на виході з холодильника (з системи), °С;

t_4 - температура теплоносія після водомасляного теплообмінника, °С;

t_5 - температура теплоносія після холодильника системи охолодження масла і наддувного повітря, °С;

t_6 - те саме, на виході з системи, °С;

t_7 - температура масла на вході у водомасляний теплообмінник, °С;

t_8 - температура масла на виході з водомасляного теплообмінника, °С;

$Q_{1хол}$ - тепловтрати холодильника системи охолодження дизеля, кДж/год;

$Q_{1диз}$ - тепловтрати дизеля, кДж/год;

Q_5 - тепловтрати охолоджувачів наддувного повітря в режимі їх обігріву, кДж/год;

Q_6 - те саме, тепловтрати холодильника, кДж/год;

Q_7 - теплота, передана теплоносієм (водою) маслу у ВМТ (тепловтрати системи через масло в картері двигуна і у ВМТ), кДж/год;

Q_3 - кількість теплоти, яку видає теплопідігрівач, кДж/год;

G'_e - витрата теплоносія через систему охолодження дизеля, кг/год;

G''_e - витрата теплоносія через систему охолодження масла дизеля та повітря в охолоджувачі повітря, кг/год.

У першому контурі охолоджується водою дизель, а в другому – охолоджується масло у водомасляному теплообміннику та повітря в охолоджувачі повітря.

У ролі підігрівача на тепловозі встановлюються два рідинні нагрівачі "Thermo 350" виробництва німецької фірми "Webasto". Система підігріву включається в роботу в зимовий період при тривалих стоянках тепловоза після заглушення дизеля в депо, а також, коли відсутня робота на станції. Дана система підігріву забезпечує працездатність у температурному діапазоні від мінус 40 °С до 0 °С; підтримування автономної роботи протягом 8 год від додаткової акумуляторної батареї; індикацію необхідних параметрів (роботи системи; температури

охолоджувальної рідини; температури мастила; напруги додаткової акумуляторної батареї).

Обладнання системи встановлюється в дизельному відділенні тепловоза серії ЧМЕЗ. В кабіні машиніста тепловоза встановлюється пульт керування автоматичною системою підігріву охолоджувальної рідини з індикаторами температур основного та допоміжного контурів, а також загрози замерзання охолоджувальної рідини [12].

Розрахунок підігріву системи охолодження дизеля тепловоза для регулювання процесу обігріву дизеля розділимо на три блоки:

- розрахунок системи охолодження дизеля;
- розрахунок системи охолодження масла у водомасляному теплообміннику та повітря в повітроохолоджувачі;
- загальний розрахунок теплонагрівача.

Розрахунки будемо вести для двох режимів температур:

- мінімальної температури навколишнього середовища в регіоні експлуатації тепловоза t_H^{\min} ;

- дійсної температури навколишнього середовища в регіоні t_H , для якої буде виконуватись умова $t_H \geq t_H^{\min}$.

Згідно з статистичними даними гідрометцентру, за останні 10 років найменшою температурою була температура - 40 °С. Тому приймаємо $t_H = -40^{\circ}\text{C}$.

Математичну модель розрахунку підігріву системи охолодження дизеля на основі роботи [13] у загальному вигляді можна подати таким чином:

$$\begin{cases} Q_{1хол} = f((KH)_{хол}, t_2, t_3, t_H) \\ Q_{1хол} = f(G'_e, C_e, t_2, t_3) \\ Q_{1диз} = f((KH)_{диз}, t_1, t_2, t_H) \\ Q_{1диз} = f(G'_e, C_e, t_1, t_2) \\ Q_1 = Q_{1диз} + Q_{1хол} = f(G'_e, C_e, t_1, t_3) \end{cases}$$

де $Q_{1хол}$ – рівняння теплопередачі для холодильника, кДж/год;

$Q_{1хол}$ – рівняння теплового балансу холодильника, кДж/год;

$Q_{1диз}$ – рівняння теплопередачі для дизеля, кДж/год;

$Q_{1диз}$ – рівняння теплового балансу дизеля, кДж/год;

C_v – теплоємність води, $C_v=4,1868$ кДж/(кг град);
 Q_1 – рівняння теплового балансу системи, кДж/год;
 $(KH)_{диз}$ – сумарний коефіцієнт теплопередачі для дизеля, кДж/(год град);
 $(KH)_{хол}$ – сумарний коефіцієнт теплопередачі для холодильника, кДж/(год град).
 У розгорнутому вигляді вона буде такою:

$$\begin{cases} Q_{1хол} = \frac{(KH)_{хол}}{2} (t_2 + t_3 - 2t_H), \\ Q_{1хол} = G'_6 \cdot C_6 (t_2 + t_3), \\ Q_{1диз} = \frac{(KH)_{диз}}{2} (t_1 + t_2 - 2t_H), \\ Q_{1диз} = G'_6 \cdot C_6 (t_1 + t_2), \\ Q_1 = Q_{1диз} + Q_{1хол} = G'_6 \cdot C_6 (t_1 + t_3). \end{cases}$$

Для даної моделі введені такі обмеження, які необхідно врахувати:

- 1) температура теплоносія (нагрітої води) на вході в обидві системи охолодження тепловоза t_1 однакова;
- 2) умовами однозначності розрахунку системи є серединні температури води і масла для кожного значення;
- 3) спочатку проводиться розрахунок системи для t_H^{min} , а потім для інших t_H , бо витрати теплоносія через систему G'' однакові при всіх t_H .

Алгоритм визначення параметрів системи охолодження дизеля тепловоза при її нагріві подано на рис. 2.

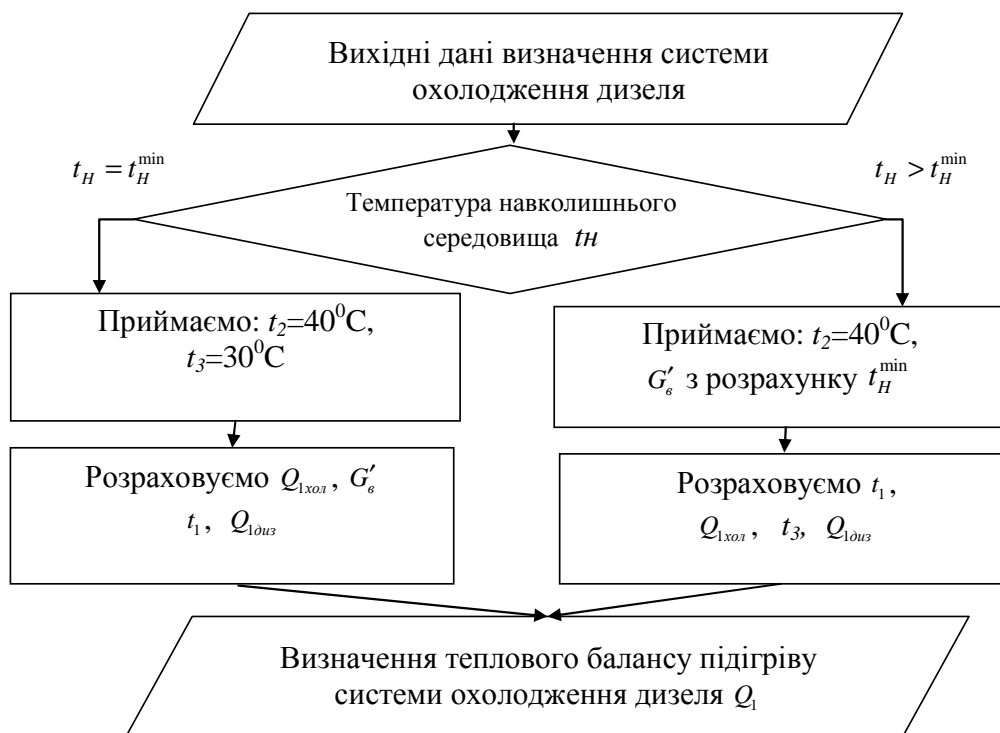


Рис. 2. Алгоритм визначення параметрів підігріву системи охолодження дизеля

Математичну модель розрахунку процесу підігріву системи охолодження масла і наддувального повітря в загальному вигляді можна подати таким чином:

$$Q_7 = 453.472(t_7 + t_8) - 814.416t_H - 925.28,$$

$$Q_7 = v_M \cdot \rho_M \cdot C_M (t_8 - t_7),$$

$$Q_7 = G''_6 \cdot C_6 (t_1 - t_4),$$

$$Q_7 = K_M \cdot H_{BMT} \cdot \Delta t$$

$$Q_6 = G''_6 \cdot C_6 (t_4 - t_5),$$

$$Q_6 = (KH)_6 \cdot \left(\frac{t_4 + t_5}{2} - t_H \right)$$

$$Q_5 = G''_e \cdot C_e (t_5 - t_6),$$

$$Q_5 = (KH)_5 \cdot \left(\frac{t_5 + t_6}{2} - t_H \right),$$

де V_M - об'ємна продуктивність
маслопрокачувального агрегату, м³/год;

$(KH)_5$ - добуток сумарного коефіцієнта
теплопередачі охолоджувачів наддувного повітря на їх
поверхню охолодження, кДж/(год град);

$(KH)_6$ - добуток сумарного коефіцієнта
теплопередачі холодильника цієї системи на його
поверхню нагріву, кДж/(год град);

C_M - середня питома масова теплоємність в
діапазоні від 0°C до заданої температури,
кДж/(кг*град);

ρ_M - щільність масла, кг/м³;

λ_M - коефіцієнт теплопровідності,
кДж/(м*год*град);

Pr - критерій Прандтля;

V_M - коефіцієнт кінематичної в'язкості, м²/год;

t_H - температура зовнішнього повітря, °C;

H_{BMT} - поверхня нагріву водомасляного
теплообмінника, що омивається маслом, м²;

K_M - коефіцієнт теплопередачі від теплоносія
(води) до масла у водомасляному теплообміннику,
кДж/(м²год град).

При розрахунку в моделі необхідно враховувати
таке:

1) температура теплоносія (нагрітої води) на вході
в обидві системи охолодження тепловоза t_1 однакова.
Тому при розрахунку даної системи охолодження вона
приймається для кожної t_H з раніше виконаного
розрахунку підігріву системи охолодження дизеля;

2) умовами однозначності розрахунку системи є
серединні температури води і масла для кожного
значення;

3) так як витрата теплоносія через систему G''
однакова при всіх t_H , то спочатку проводиться
розрахунок системи для t_H^{\min} , а потім для інших t_H .

Невідомими в системі є дев'ять величин:
 $t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, Q_5, Q_6, Q_7, G''_e$. Таким чином, система
рівнянь є незамкненою, так як при дев'ятьох невідомих
рівнянь всього сім. Так як тепловтрати будь-якого
теплообмінника (або його систем) однозначно
визначаються тільки за заданою різницею середньої

температури теплоносія і визначальною середовища,
то для розв'язання нашої системи рівнянь додатково
необхідно задатися ще двома температурами – по
одній на кожен теплоносій (воду і масло), що
визначають однозначно їх середні температури в
системі. Це забезпечить замкнутість системи рівнянь
для розрахунку процесу обігріву системи охолодження
масла і наддувного повітря секції тепловоза.

У зв'язку з цим попередньо задались:

а) для визначення середньої температури води в
системі температурою t_4 (можна і t_6) при відомій з
розрахунку системи охолодження t_1 ;

б) попередньо приймали середньою температурою
масла - $t_m^{cp} = \frac{t_7 + t_8}{2}$, від якої залежать фізичні

параметри масла, необхідні для визначення
коефіцієнта теплопередачі від стінок трубок у
водомасляному теплообміннику до масла α_M ,
наступною перевіркою середньої температури масла за
умовами теплообміну в водомасляному
теплообміннику.

Алгоритм розрахунку підігріву системи
охолодження масла та наддувного повітря подано на
рис. 3.

Загальну кількість теплоти, яку необхідно
отримати від підігрівача розраховуємо за формулою,
кДж/год,

$$Q_3 = 1,1 (Q_1 + Q_2).$$

На основі поданих алгоритмів було розроблено
програмне забезпечення для розрахунку параметрів
прогріву системи охолодження дизеля тепловоза
ЧМЕЗ.

Результати випробувань, які проводились при
температурах від мінус 13 до мінус 17 °C, показали
[12], що система підігріву підтримує в автоматичному
режимі температуру охолоджувальної рідини та
мастила дизеля в діапазоні температур від плюс 40 до
плюс 60 °C, забезпечуючи при цьому економію палива,
збільшення ресурсу дизеля, зменшення негативних
викидів у атмосферу.

Розрахункові витрати палива системою підігріву
складають 3,0 кг/год при мінусовій температурі.
Витрати палива при роботі штатного дизеля
K6S310DR в режимі холостого ходу складають
10 кг/год. Гарячий простій тепловоза, згідно з даними
системи „БІС-Р", складає 25 % добового часу в
зимовий період року.

Час першочергового нагріву охолоджувальної
рідини від плюс 90 °C до плюс 70 °C при температурі
навколишнього середовища складає 2 год 15 хв для
основного контура та 1 год 4 хв для допоміжного
контура.

Результати випробувань та розрахунків за розробленими моделями показали розбіжність не більше ніж 7%, що є задовільним для попередніх розрахунків.

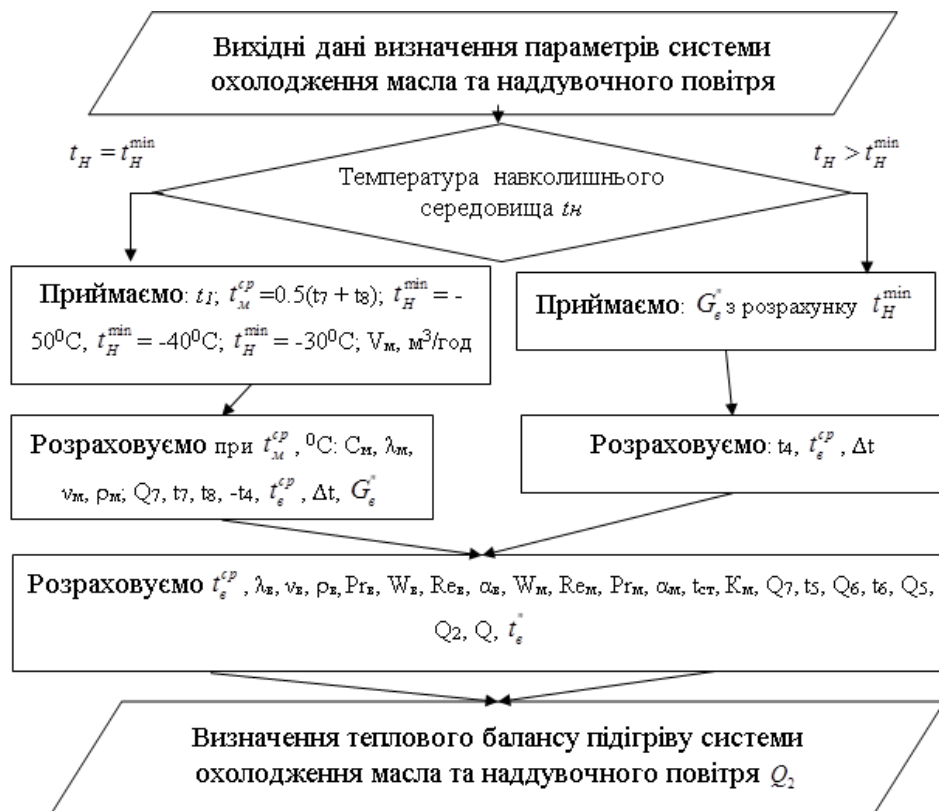


Рис. 3. Алгоритм визначення параметрів підігріву системи охолодження масла та наддувочного повітря

Висновки

У результаті проведених робіт можна зробити такі висновки:

1. Показана доцільність модернізації маневрових тепловозів новими системами їх прогріву в холодний період року.

2. Запропонована модель визначення параметрів підігріву системи охолодження маневрового тепловоза ЧМЕЗ. Похибка розрахунків та результатів випробувань не перевищує 7%. Дана система є універсальною і може використовуватись для розрахунків і інших типів тепловозів з двоконтурною системою охолодження дизелів.

3. В подальшому доцільно провести розрахунки систем підігріву тепловозів з іншими типами підігрівачів та зробити порівняльний аналіз результатів розрахунків.

Список використаних джерел

1. Комплексна програма оновлення рухомого складу України на 2008-2020 роки [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 2009. – 300 с.
2. Білоус, Ю. А. Результати роботи локомотивного господарства у 2012 році [Текст] / Ю. А. Білоус // Локомотив-інформ. – 2013. – № 4. – С. 22-24.
3. Сергиенко, Н. И. Подвижной состав железных дорог Украины: состояние и перспективы. [Текст] / Н. И. Сергиенко // Вагонный парк. – 2011. – № 6. – С. 11-22.
4. Перспективи використання модернізованих тепловозів М62 [Текст] / Е. Д. Тартаковський, А. П. Фалендиш, А. Л. Сумцов [та ін.] // Зб. наук. праць Донецького інституту залізничного транспорту. – 2012. - №32. – С.155-157.
5. Павлюченко, С. Н. Модернизация как выгодная инвестиция [Текст] / С. Н. Павлюченко // Локомотив-інформ. – 2007. – № 9. – С. 8-13.
6. Фалендиш, А. П. Аналіз варіантів модернізації тепловозів серії ЧМЕЗ [Текст] / А. П. Фалендиш,

- А. Л. Сумцов, О. В. Клименко // 36. наук. праць ДонІЗТ. – 2013. – Вип. 36. – С. 162-166.
7. Скала, Б. Модернизация ЧМЭЗ – новые возможности [Текст] / Б. Скала, В. Франк // Локомотив-информ. – 2006. – № 4. – С. 20-24.
 8. Calculation of the parameters of hybrid shunting locomotive / A.Falendysh, P.Kharlamov, O. Kletska, N.Volodarets /6th Transport Research Arena. April 18-21, 2016. Transportation Research Procedia 14 (2016)/ 665-671. Doi:10.1016/j.tpro.2016.05.325.
 9. Ильин, Ю. Модернизировать или купить? [Текст] / Ю. Ильин // Транспорт. – 2011. – № 10. – С. 5-6.
 10. Tartakovsky E. Condition and trends renewal of diesel locomotives in Ukraine [Text] / E. Tartakovsky, A. Sumtsov, O. Artemenko, N. Bragin // Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospect: thesis, 3-12 May 2017, Dresden (Germany) – Paris (France)/ -Severodonetsk. V.Dahl East Ukrainian National University. 2017. - P. 190-192.
 11. Нотик, З. Х. Тепловозы ЧМЭЗ, ЧМЭЗТ, ЧМЭЗЭ: пособие машинисту [Текст] / З. Х. Нотик. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1996. – 444 с.
 12. Артеменко, А. В. Системы подогрева охлаждающей жидкости [Текст] / А. В. Артеменко, В. В. Артеменко // Локомотив-информ. 2011. – №9. – С. 24-25.
 13. Нащокин, В. В. Техническая термодинамика и теплопередача [Текст] / В. В. Нащокин. – М.: Высшая школа, 1975. – 496 с.
 14. Каграманян А.О. Аналіз витрат тепла секції тепловоза та його вплив на визначення кількості теплоти при самопрогріві дизеля [Текст] / А.О. Каграманян, А.В. Онищенко // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2007. - №12. – С. – 30.
 15. Каграманян А.О. Використання акумуляторів теплоти, як альтернативного джерела енергії при прогріві тепловозів [Текст] / А.О. Каграманян, А.В. Онищенко // Залізничний транспорт України: науково-практичний журнал. - 2011. - № 1. - С. 49-51

Artemenko O.V., Kletska O.V., Stovpyaha M.S., Falendysh A.P. Regulation of the heating process of the diesel engine diesel engine locomotive ЧМЭЗ. The technical condition of the locomotive fleet is critical. The bulk of the locomotives has already exhausted its resources and needs to be updated, especially as regards maneuver locomotives. In this case, there is a practical need to upgrade the fleet of diesel locomotives to meet the need for transportation and shunting operations. For this purpose, two main directions are proposed: the purchase of new units of locomotives or the modernization of existing ones.

Recent research shows that complex modernization is gaining in increasing volumes and is the most promising direction for the renewal of diesel locomotives. One of the ways to upgrade the fleet of shunting diesel locomotives is its modernization. Taking into account the difficult economic situation in the country, it is expedient to carry out modernization at the locomotive depot due to the introduction of new energy-efficient devices into the construction. The expediency of updating shunting diesel locomotives is shown due to their modernization. Current is the introduction of heating systems for cooling diesel locomotives at the expense of built-in heaters. Models for determining the parameters of the heating of diesel cooling systems, oils in a water-oil heat exchanger and supercharging air have been developed. As a heat sink in the diesel locomotive, two liquid heaters "Thermo 350" manufactured by the German company "Webasto" are installed. The results of the tests of the heating system in the cold period of the year are presented and conclusions are derived from their results.

Keywords: modernization of shunting diesel locomotive, system of heating of diesel locomotive, model of heating of cooling system, tests.

Артеменко А.В., Клецкая О.В., Стовпяга М.С., Фалендыш А.П. Регулирование процесса обогрева системы охлаждения дизеля тепловоза ЧМЭЗ. Показана целесообразность обновления маневровых тепловозов за счет их модернизации. Актуальным является внедрение подогрева систем охлаждения тепловозов за счет встроенных подогревателей. Разработаны модели для определения параметров подогрева систем охлаждения дизеля, масла в водомасляном теплообменнике и наддувочного воздуха. В качестве подогревателя на тепловозе устанавливаются два жидкостных обогревателя "Thermo 350" производства немецкой фирмы "Webasto". Приведены результаты испытаний системы подогрева в холодный период года и даны выводы по их результатам.

Ключевые слова: модернизация маневрового тепловоза, система подогрева тепловоза, модель подогрева системы охлаждения, испытания.

Надійшла 09.08.2017 р.

*Артеменко А. В., инженер (филиал "ЮЖНАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА" ПАО "Укрзализныця").
Клецкая О. В., ассистент кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, Харьков, Украина. guraao@ukr.net.*

Стовпяга М. С., магістр кафедри експлуатації і ремонту подвижного состава, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. *Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. fap_hiit@ukr.net.*

Фалендыш А. П., д.т.н., професор, завідуючий кафедрою теплотехники і теплових двигателів, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. *fap_hiit@ukr.net.*

Artemenko O. V., engineer (Branch "SOUTHERN RAILWAY" PJSC "Ukrzaliznytsya").

Kletskaia O. V., Assistant of the Department of Heat Engineering and Heat Engines, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. *gurao@ukr.net.*

Stovpyaga M. S., Master of the Department of Operation and Repair of Rolling Stock, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine.

Falendysh A. P., Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Heat Engineering and Heat Engines,