

© Вихопень І.Р.¹, Клецька О.В.², Кіріцева О.В.³,
Сумцов А.Л.⁴, Барібін М.А.⁵

ВИПРОБУВАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА, МОДИФІКОВАНОГО ПРИСАДКОЮ DFC2020

Зменшення об'ємів витрати палива будь-якими транспортними засобами із силовою установкою на основі двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) було, є і буде одним із самих актуальних завдань, на вирішення якого спрямовані зусилля великої кількості вчених із різних областей науки. Одним із самих простих, в плані технічної реалізації, способом вирішення даної задачі являється використання різного роду присадок. Стаття присвячена висвітленню процесу виконання еколого-енергетичних випробувань дизельного палива, модифікованого шляхом додавання присадки, яка згідно заявлених виробником властивостей здійснює вплив на протікання процесу сумішоутворення та згорання в циліндрах дизеля, повноту згорання палива, чим забезпечує підвищення паливної економічності дизеля та зниження кількості шкідливих викидів в атмосферу, тобто покращення екологічного рівня викидів дизелем тепловоза. На основі отриманих результатів сформульовано висновок щодо перспектив використання даного типу присадки для дизельного палива.

Ключові слова: присадка до палива, дизельне паливо, витрата палива, маневровий тепловоз, параметри роботи дизеля, випробування двигунів внутрішнього згорання, шкідливі викиди в атмосферу.

I.R. Vikhopen, O.V. Kletska, O.V. Kiritseva, A.L. Sumtsov, M.A. Baribin. Test of diesel fuel modified by an additive of DFC2020. Reducing fuel consumption by any vehicle with a propulsion plant based on an internal combustion engine (ICE) has been, and is to remain one of the urgent tasks of science; the efforts of a large number of scientists from various fields of science around the world are directed towards finding the optimum solution of the problem. The current level of ICE design, has not yet reached the maximum allowable level, but has approached right up to it. And it makes it almost impossible to solve the problem of reducing fuel consumption due to the changes in the design of the internal combustion engine. The easiest way to bring about the solution of this problem is to use different types of fuel additives that affect the operation of the internal combustion engine, directly or indirectly by adjusting the various parameters of its operation. However, the effectiveness of such additives depends on many factors. The article describes the environmental and energy tests of diesel fuel modified by additives. The additives according to the properties declared by the manufacturer have a positive effect on the process of mixing and combustion in diesel cylinders thus providing much better fuel combustion, increasing fuel efficiency and reducing the amount of harmful emissions into the atmosphere. The of tests were performed using the TGM-4 shunting locomotive, with the D211 standard diesel with the power of 552 kW (750 hp) in accordance with the requirements of the developed test methodology using standard methods for determining fuel consumption and controlling the concentration of harmful emissions into the atmosphere

¹ інженер, Львівська залізниця, м. Львів, crownwick@gmail.com

² канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, ORCID: 0000-0002-4682-860X, gurao@ukr.net

³ ст. викладач, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, ORCID: 0000-0002-2481-5883, evkiritseva@gmail.com

⁴ канд. техн. наук, доцент, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків, ORCID: 0000-0002-3121-9545, sal-hiit@i.ua

⁵ аспірант, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків, kanifoli4.92@gmail.com

with exhaust gases. Based of on the obtained test data, calculations have been performed and their results have been analyzed. Conclusions on the prospects of using this type of additive for diesel fuel for locomotives in order to increase fuel efficiency and to reduce the concentration of harmful emissions with exhaust gases have been drawn. The effectiveness of the additive on the diesel locomotive engine work has been proved.

Keywords: *additive to the fuel, diesel fuel, fuel expense, shunting locomotive, diesel work parameters, internal combustion engines tests, harmful emissions into the atmosphere.*

Постановка проблеми. Основним і незмінним паливом для тепловозних енергетичних установок було і залишається дизельне пальне. В наслідок того, що витрати на паливо складають порядку 40-70% від загальних витрат на експлуатацію тепловозів, підвищення паливної економічності тепловозних дизелів залишається однією із найважливіших задач для вирішення [1].

Покращення паливної економічності дизелів, в ідеалі, повинно супроводжуватись зниженням рівня викидів шкідливих речовин в атмосферу з випускними газами, збільшення величини ресурсу його роботи і т. п.

Одним із найбільш доступних в плані технічної реалізації способів із підвищення економічності тепловозних дизелів являється оптимізація протікання робочого процесу в двигуні шляхом покращення параметрів паливоподачі, сумішоутворення та повноти згорання.

Дослідження впливу використання дизельного палива з додаванням в нього присадки на експлуатаційні параметри роботи дизелів тепловозів являється актуальним та перспективним завданням для науковців.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для більш повного розуміння досліджуваного питання було проаналізовано роботи вітчизняних та закордонних науковців.

Аналіз випробувальних стендів та приладів в роботі [2] показав, що сьогодні для проведення випробувань з виміру шкідливих речовин у випускних газах та димності достатньо використовувати портативний газоаналізатор або димомір, а для випробувань з виміру потужності та витрати палива необхідно використовувати спеціальні випробувальні стенди.

В матеріалах статті [3] приведено порівняння підходів до розрахунків викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами тепловозних дизелів та їх аналіз, отримані результати розрахунку викидів.

Проаналізовано роботу [4] на тему випробувань модифікованого дизельного палива; автор приводить методику обробки отриманих даних. На основі результатів здійснено висновок про перспективу використання даного типу присадок до дизельного палива з метою підвищення паливної економічності двигунів внутрішнього згорання.

Як приклад оформлення та обробки результатів випробувань проаналізовано звіт [5] про результати моторних стендових випробувань дизельного палива модифікованого присадкою «PowerGuard 6528 Futura». Метою роботи було виявлення впливу присадки на технічні, економічні та екологічні показники автомобільного дизельного двигуна, а також на зміни рівня забруднення елементів паливної та випускної системи та камери згорання двигуна.

В статті [6] автор приводить встановлений масив малої кількості контрольних показників та умови їх отримання, які забезпечують визначення надійності роботи модернізованого маневрового локомотиву з необхідною точністю та достовірністю.

Використання методу Херста для аналізу технічного стану й паливної економічності тепловозу описано в роботі [7]. На основі розрахунку й оцінки показника Херста для часового ряду витрат палива тепловозами запропонована організація моніторингу технічного стану й створений метод для розрахунку залишкового ресурсу паливної апаратури.

В матеріалах статті [8] представлено результати аналізу дослідів, спрямованих на виявлення впливу частоти, навантаження, положення паливної рейки на склад випускних газів дизельних двигунів внутрішнього згорання. З проведених досліджень відзначено, що найбільш ефективний режим роботи дизеля спостерігається при середньому навантаженні (50-70%).

В статті [9] розглянуті основні фактори, які впливають на кількісний та якісний склад викидів забруднюючих речовин від тепловозних дизелів.

З метою визначення ефективності хімотологічних заходів підвищення ефективності тепловозів в експлуатації в роботі [10] пропонується здійснювати застосування сучасного вимірювального комплексу, який дозволяє при відносно невеликих витратах отримати якісний

пристрій. Застосування комплексу дає можливість підвищити якість як при випробуваннях тепловозів, так і при діагностуванні на технічному обслуговуванні та ремонті.

В роботі [11] обговорюється вплив палива, збагаченого наноматеріалами, на характеристики двигуна і його підсистеми, а також пов'язані з цим можливості, виявлені на основі результатів лабораторних випробувань, отриманих в останні роки.

У роботі [12] представлені результати спільного спалювання H2-дизеля в дизельному двигуні, що працює в двопаливному режимі з додаванням і без додавання присадки (ді-трет-бутилпероксида) в дизельне паливо.

Було відмічено, що при заміні на 14% водню і 1% присадки чисте тепловиділення і температура знизилися на 2 і 10% відповідно, в той час як NO_x збільшується на 60% в умовах високого навантаження в порівнянні з роботою на дизельному паливі.

Остаточо дійшли висновку, що мінімальний рівень утворення NO_x досягається при додаванні 1% DTBP з 14% водню в двопаливному дизельному двигуні.

Дослідження [13] присвячено експериментам з новою кисневмісною присадкою, отриманою з відходів діацетат-етиленгліколю. Ця кисневмісна паливна суміш може привести до значного зниження викидів як оксидів азоту, так і діоксиду вуглецю, але може привести до небажаного збільшення викидів незгорілих вуглеводнів в порівнянні з дизельним паливом без присадок. Таким чином, розроблена кисневмісна добавка може бути використана для риформінгу дизельного палива з метою істотного зниження викидів оксидів азоту.

Слід відзначити досить конкретну специфіку наукових робіт, виконаних закордонними науковцями, а саме, дослідження параметрів роботи дизельних двигунів з використанням різного виду альтернативних видів палива.

Не зважаючи на значний внесок вітчизняних та закордонних науковців в дослідження параметрів роботи дизельних двигунів, актуальною залишається задача з отримання достовірних даних випробувань безпосередньо в експлуатації з врахуванням всіх можливих факторів, які здійснюють вплив на них.

Мета статті – виявлення результатів впливу від використання модифікованого дизельного палива присадкою на параметри роботи дизельного двигуна тепловозу. Для досягнення поставленої мети потребують вирішення наступні задачі: збір техніко-експлуатаційних показників роботи дизеля тепловозу з присадкою до палива та без неї; оброблення та аналіз зібраних результатів; обґрунтування отриманих результатів із виділенням та поясненням причин їх зміни.

Виклад основного матеріалу. Із-за неможливості організації цілодобового контролю потрібних параметрів на протязі тривалого часу, виконання випробування організовано за принципом періодичного контролю.

Безпосередньо перед початком проведення випробувань проведено загальний огляд технічного стану тепловозу, перевірка та огляд стану паливної та масляної системи тепловозу. Проведено фіксацію параметрів умов проведення випробувань: величини атмосферного тиску, температури навколишнього середовища, відносної вологості повітря.

Основним характерним параметром роботи дизеля тепловозу являється витрата палива; для її визначення було застосовано ваговий метод.

Суть методу полягає у визначенні витрати палива дизелем тепловозу за фіксований проміжок часу. Кількість витраченого палива визначається шляхом зважування палива у резервуарі до початку відліку фіксованого відтинку часу та після його завершення. Після, шляхом віднімання першого значення маси палива та другого, отримуємо масу палива, витрачену дизелем за певний відтинок часу [14].

Для реалізації обраного методу вимірювання було проведено роботи із втручання в паливну систему тепловозу [15]. Принципову схему паливної системи тепловоза з внесеними змінами зображено на рисунку 1.

Окрім параметрів, приведених вище, також відбувався контроль параметрів, які свідчать про нормальну роботу дизеля: температури охолоджуючої рідини; частоти обертів колінчатого валу дизеля і т. п. Основною вимогою до цих параметрів було їх знаходження в допустимих межах.

Під час виконання вимірювання за ваговим методом фіксуються наступні величини: вага палива в мірному резервуарі на початку проведення вимірювань і в кінці (кг); позиція ручки контролера машиніста; частота обертів колінчатого валу дизеля (об/хв); час роботи дизеля на позиції (хв). Тривалість проведення кожного вимірювання на кожній з позицій становить рівно

4 хв. Дані заміри виконують по 3 рази на кожній із наступних позицій: 2, 4, 6, 8 та в режимі холостого ходу (XX) – на 0-ій позиції [16].

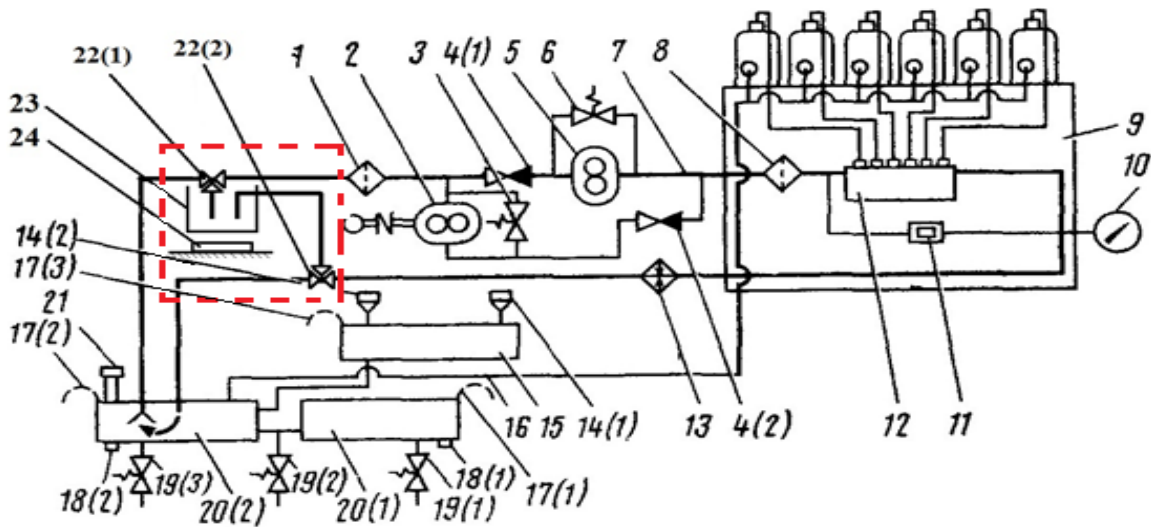


Рис. 1 – Схема підключення обладнання для визначення витрати палива ваговим методом до паливної системи дизеля маневрового тепловоза ТГМ-4А: 1 – фільтр грубої очистки; 2 – паливopідкачууючий агрегат; 3 – клапан перепускний; 4(1), 4(2) – зворотні клапана; 5 – насос паливopідкачууючий; 6 – перепускний клапан; 7 – паливopровід; 8 – фільтр тонкої очистки; 9 – дизель; 10 – манометр дистанційний; 11 – демпфер; 12 – паливний насос високого тиску; 13 – паливо підігрівач; 14(1), 14(2) – заливні горловини; 15 – паливний бак підкабінний; 16 – зливна труба; 17(1)-17(3) – вентиляційні труби; 18(1), 18(2) – зливні пробки; 19(1)-19(3) – клапани зливу палива; 20(1), 20(2) – паливні баки підвісні; 21 – труба паливоміру; 22(1), 22(2) – кран трьохходовий; 23 – резервуар для палива; 24 – ваги

Паралельно виконанню вимірювань параметрів витрати палива проводяться заміри концентрації токсичних речовин: оксиду вуглецю (CO), вуглеводнів (CH), оксиду азоту (NO), діоксиду азоту (NO₂), коефіцієнту ослаблення світлового потоку (N – димність) у випускних газах дизеля тепловозу. Для визначення концентрації даних забруднюючих речовин використовувалися газоаналізатори та димомір МЕТА-01МП 0.43Т.4 [17].

Дані, отримані в результаті проведених вимірювань під час еколого-енергетичних випробувань тепловозу ТГМ-4А, приведено в таблиці.

Таблиця

Результати вимірювань, проведених в процесі еколого-енергетичних випробувань тепловозу ТГМ-4А

№ Режиму	Позиція контролера	Витрата палива, кг	Потужність Допоміжного устаткування, кВт	Потужність, кВт	Показник N, %	C _{CO2} , ppm	C _{NO} , ppm	C _{NO2} , ppm	C _{CO} , ppm	C _{NOx} , ppm	C _{CH} , ppm
19.10.2018											
1	0	4,2	22,06	0	2,03	18,83	131,33	19,33	747,67	150,67	43,00
2	2	5,6	22,06	0	2,87	18,73	200,67	41,67	554,00	242,33	46,66
3	4	7,3	22,06	0	6,43	18,20	379,33	66,67	333,00	446,00	70,00
4	6	9,1	22,06	0	11,10	17,60	482,33	84,33	376,00	566,67	102,66
5	8	10,3	22,06	0	23,30	16,87	470,33	75,00	307,67	545,33	151,00

Продовження таблиці

14.11.2018											
1	0	6,77	22,06	0	5,33	19,13	102,67	22,00	549,00	124,67	30,66
2	2	8,85	22,06	0	5,03	18,40	172,33	35,33	681,67	207,67	61,66
3	4	14,59	22,06	0	17,00	17,63	380,00	64,33	379,67	444,33	101,00
4	6	19,24	22,06	0	14,37	17,37	485,00	73,33	283,00	558,33	117,00
5	8	26,16	22,06	0	36,30	16,17	609,00	82,00	569,00	691,00	207,66
28.11.2018											
1	0	7,11	22,06	0	7,27	18,63	213,92	40,75	587,00	254,67	51,00
2	2	8,85	22,06	0	5,53	18,23	177,24	33,76	696,67	211,00	70,00
3	4	13,57	22,06	0	9,67	17,40	366,80	69,87	444,00	436,67	116,00
4	6	18,9	22,06	0	44,77	16,40	444,92	84,75	533,00	529,67	188,67
5	8	29,85	22,06	0	20,63	15,47	554,68	105,65	583,00	660,33	271,67

Показником, який є основою для відображення всіх інших параметрів, являється середня витрата палива дизелем тепловозу. Для зручності результат розрахунку параметру витрати палива дизелем представлено у вигляді діаграми на рисунку 2.

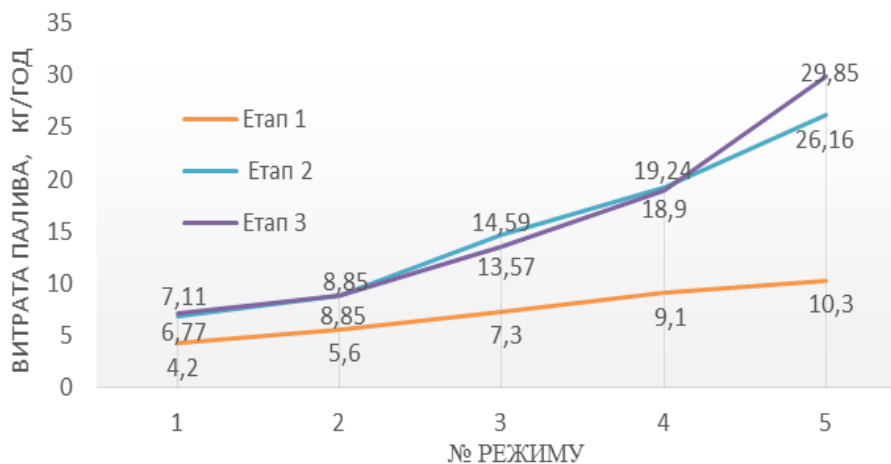


Рис. 2 – Діаграма витрати палива дизелем тепловозу ТГМ4А

Розрахунок інших параметрів проводиться у відповідності до ВНД 32.0.06.001-99 (г/м³, мг/м³, мг/л) або в об'ємних (% , ppm – частина на мільйон) одиницях. Взаємозв'язок між одиницями вимірювання концентрацій відображається наступною формулою

$$C_{об. \%} = 0,0001 \cdot C_{ppm} = 2,24 \cdot C / \mu, \quad (1)$$

де C – концентрації вимірюваної забруднюючої речовини; μ – молекулярна маса вимірюваної забруднюючої речовини.

Величину концентрації викидів твердих частинок у випускних газах $C_{тч}$ в залежності від вимірюваного коефіцієнту ослаблення світлового потоку N стандартно визначають за графіком залежності викидів твердих частинок $C_{тч}$ від коефіцієнту ослаблення світлового потоку N .

Однак, цей метод являється доволі приблизним. Тому для збільшення точності значення величини концентрації викидів твердих частинок $C_{тч}$ було проведено апроксимацію графіка залежності методом найменших квадратів та отримано поліном 4-го ступеня, який має наступний вигляд

$$C_{тч} = 0,0062937063 + 0,0035081585 \cdot N + 0,000025903263 \cdot N^2 - 0,00000013403263 \cdot N^3 + 0,0000000061188811 \cdot N^4, \text{ г/(кВт} \cdot \text{год)}, \quad (2)$$

де N – коефіцієнт ослаблення світлового потоку, %.

Результати розрахунків середньоексплуатаційних питомих викидів забруднюючих речовин дизелем тепловозу ТГМ-4А графічно відображено на рисунку 3.

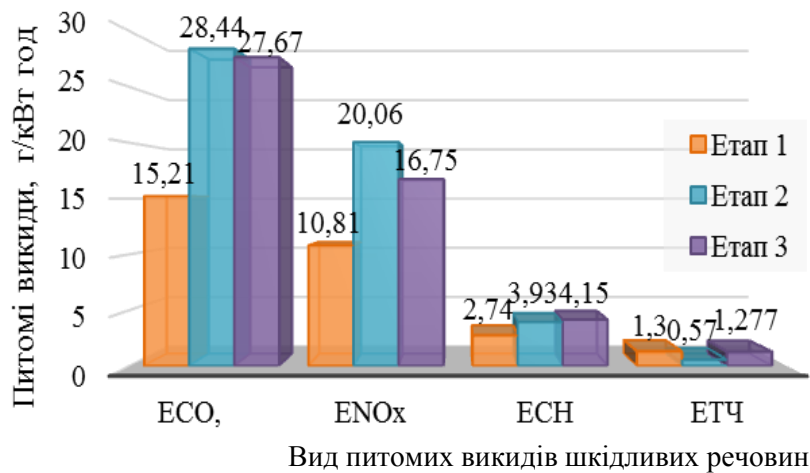


Рис. 3 – Стовпчаста діаграма середньоексплуатаційних питомих викидів забруднюючих речовин дизелем тепловозу ТГМ-4А

Висновки

Як висновок, слід зазначити негативний вплив використання палива, модифікованого присадкою DFC2020 дизелем тепловозу ТГМ4А. Спостерігається зростання витрати палива із відповідним паралельним зростанням концентрації шкідливих викидів у випускних газах.

Зниження величини параметрів концентрації вуглецю (CO) та оксидів азоту (NO_x) в період між 14 та 28 листопада можливо пояснити впливом зміни величини температури навколишнього повітря T_0 з +9°C до -3°C. Зниження температури повітря приводить до зменшення температури повітряного заряду в циліндрі двигуна, температури кінця стиснення T_c та максимальної температури горіння.

В дизельних ДВЗ коефіцієнт надлишку повітря змінюється в широкому діапазоні, що пов'язано з властивим цим двигуна принципом регулювання потужності за рахунок зміни складу (або «якості») робочої суміші. Однак середній склад робочої суміші залишається на всіх режимах «бідним». В цих умовах утворення термічного NO залежить лише від максимальної температури робочого циклу. Тому зона максимальної концентрації NO переміщається до зовнішньої швидкісної характеристики дизеля.

В загальному важко зробити остаточний висновок щодо оцінки використання присадки DFC2020 для модифікації дизельного палива, так як термін проведення випробувань малий і тому наявних статистичних даних недостатньо. Однак, слід відзначити про наявність впливу даної присадки на параметри роботи дизеля, незважаючи на такий короткий термін її використання, а, відповідно, є сенс провести подальші випробування з метою отримання більшої кількості статистичних даних, при наявності яких вже набагато точніше можна буде говорити про доцільність використання присадки та оцінку її впливу.

Перелік використаних джерел:

1. Безюков О.К. Динамика потребления энергетических ресурсов и повышение эффективности их использования / О.К. Безюков, Е.В. Ерофеева, В.А. Жуков // Справочник. Инженерный журнал с приложением. – 2015. – № 1 (214). – С. 41-48. – Mode of access: DOI: 10.14489/hb.2015.01.pp.041-048.
2. Модель вибору ственду для проведення еколого-енергетичних випробувань дизельного рухомого складу / А.П. Фалендиш, В.О. Гатченко, О.В. Клецька, Д.І. Сулежко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2018. – № 2 (243). – С. 208-215.
3. Фалендиш А.П. Аналіз підходів до розрахунку викидів забруднюючих речовин з відпрацьованими газами дизелів тепловозів / А.П. Фалендиш, В.О. Гатченко, О.В. Клецька // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2017. – № 3 (233). – С. 228-233.

4. Жуков В.А. Моторные испытания модифицированного дизельного топлива / В.А. Жуков, О.К. Безюков, М.М. Махфуд // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2016. – № 4 (38). – С. 122-131. – Mode of access: [DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-122-131](https://doi.org/10.21821/2309-5180-2016-8-4-122-131).
5. Сравнительные исследования моторных и экологических показателей дизельного топлива с присадкой «PowerGuard 6528 Futura» на базе стендовых моторных испытаний: отчет о научно-исследовательской работе. – СПб. : Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2015. – 49 с.
6. Міхєєв С.О. Обґрунтування контролю малої кількості параметрів модернізованого тепловозу при проведенні експлуатаційних випробувань на надійність / С.О. Міхєєв // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2015. – № 1 (218). – С. 244-246.
7. Дробаха В.І. Аналіз технічного стану й паливної економічності тепловоза з використанням методу Херста / В.І. Дробаха, О.Д. Трихліб // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 6/8 (72). – С. 25-28. – Mode of access: [DOI: 10.15587/1729-4061.2014.29353](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.29353).
8. Крылов В.Н. Анализ состава выхлопных газов дизельного двигателя / В.Н. Крылов // Современные техника и технологии : XIX Междунар. научн.-практ. конф. (15-19 апреля 2013 г.; Томск). – Томск, 2013. – С. 58-59.
9. Каграманян А.О. Дослідження впливу основних факторів експлуатації дизелів тепловозів на викиди забруднюючих речовин / А.О. Каграманян, П.В. Рукавішніков // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту. – 2010. – № 21. – С. 160-170.
10. Тартаковський Е.Д. Визначення ефективності хімотологічних заходів підвищення ефективності тепловозів в експлуатації / Е.Д. Тартаковський, Д.О. Аулін, Д.С. Андросов // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2011. – № 5. – С. 67-71.
11. Nanomaterial's as fuel additives in diesel engines: A review of current state, opportunities, and challenges / T. Kegl, A. Kovac Kralj, B. Kegl, M. Kegl // Progress in Energy and Combustion Science. – 2020. – Vol. 83. – Pp. 1-22. – Mode of access: [DOI: 10.1016/j.peccs.2020.100897](https://doi.org/10.1016/j.peccs.2020.100897).
12. Blushan Kumar Ch.. Effect of di-tert butyl peroxide (DTBP) on combustion parameters and NO_x in dual fuel diesel engine with hydrogen as a secondary fuel / Ch. Blushan Kumar, D.B. Lata // International Journal of Hydrogen Energy. – 2021. – Vol. 46, iss. 5. – Pp. 4507-4525. – Mode of access: [DOI: 10.1016/j.ijhydene.2020.10.235](https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.10.235).
13. Effects of waste-derived ethylene glycol diacetate as a novel oxygenated additive on performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with diesel/biodiesel blends / S. Amid, M. Aghbashlo, M. Tabatabaei, A. Hajiahmad, B. Najafi, H.S. Ghaziaskar, H. Rastegari, H. Hosseinzadeh-Bandbafha, P. Mohammadi // Energy Conversion and Management. – 2020. – Vol. 203. – Pp. 1-15. – Mode of access: [DOI: 10.1016/j.enconman.2019.112245](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112245).
14. Методичні вказівки з підготовки і проведення приймальних випробувань тягового рухомого складу та його складових / Е.Д. Тартаковський, А.П. Фалендиш, С.Г. Грищенко, М.І. Сергієнко. – Київ : ТОВ «Швидкий рух», 2005. – 80 с.
15. Тепловозы ТГМ4 и ТГМ4А : руководство по эксплуатации и обслуживанию / Людиновский тепловозостр. з-д. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1980. – 182 с.
16. Програма-методика проведення експлуатаційних випробувань тепловозу ТГМ4 при використанні присадки до дизельного палива DFC2020. – Харків : УкрДУЗТ, 2018. – 15 с.
17. Програма-методика еколого-енергетичних випробувань дизеля тепловозу ТГМ4 при використанні присадки дизельного палива DFC2020. – Харків : УкрДУЗТ, 2018. – 16 с.

References:

1. Bezjukov O.K., Erofeeva E.V., Zhukov V.A. Dinamika potrebleniia energeticheskikh resursov i povyshenie effektivnosti ikh ispol'zovaniia [Dynamics of consumption of energy resources and increasing the efficiency of their use]. *Spravochnik. Inzhenernyi zhurnal – Handbook. An Engineering journal with appendix*, 2015, no. 1 (214), pp. 41-48. doi: 10.14489/hb.2015.01.pp.041-048. (Rus.)
2. Falendish A.P., Gatchenko V.O., Kletska O.V., Sulezhko D.I. Model' viboru stendu dlia provedennia ekologo-energetichnikh viprobuvan' dizel'nogo rukhomogo skladu [Model of stand

- selection for ecological and energy tests of diesel rolling stock]. *Visnik Skhidnoukraińs'kogo natsional'nogo universitetu imeni Volodimira Dalia – Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, 2018, no. 2 (243), pp. 208-215. (Ukr.)
3. Falendish A.P., Gatchenko V.O., Kletska O.V. Analiz pidkhodiv do rozrakhunku vikidiv zabrudniuiuchikh rechovin z vidprats'ovanymi gazami dizeliv teplovoziv [Analysis of approaches to the calculation of pollutant emissions from diesel diesel locomotives]. *Visnik Skhidnoukraińs'kogo natsional'nogo universitetu imeni Volodimira Dalia – Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, 2017, no. 3 (233), pp. 228-233. (Ukr.)
 4. Zhukov V.A., Beziukov O.K., Makhfud M.M. Motornye ispytaniia modifitsirovannogo dizel'nogo topliva [Engine tests of modified diesel fuel]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*, 2016, no. 4 (38), pp. 122-131. doi: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-122-131. (Rus.)
 5. Sravnitel'nye issledovaniia motornykh i ekologicheskikh pokazatelei dizel'nogo topliva s prisadkoi «PowerGuard 6528 Futura» na baze stendovykh motornykh ispytanii: otchet o nauchno-issledovatel'skoi rabote [Comparative studies of the engine and environmental performance of diesel fuel with the 'PowerGuard 6528 Futura' additive on the basis of engine bench tests: research report]. – St. Petersburg, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University Publ., 2015. 49 p. (Rus.)
 6. Mikheev S.O. Obruntuvannia kontroliu maloi kil'kosti parametriv modernizovanogo teplovozu pri provedenni ekspluatatsiinykh viprobuvan' na nadiinist' [Substantiation of control of a small number of parameters of the modernized locomotive at carrying out operational tests on reliability]. *Visnik Skhidnoukraińs'kogo natsional'nogo universitetu imeni Volodimira Dalia – Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, 2015, no. 1 (218), pp. 244-246. (Ukr.)
 7. Drobakha V.I., Trikhlib O.D. Analiz tekhnichnogo stanu i palivnoi ekonomichnosti teplovoza z vikoristanniam metodu Khersta [Analysis of the technical condition and fuel efficiency of the locomotive using the Hearst method]. *Vostochno-Evropeiskii zhurnal peredovykh tekhnologii – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2014, no. 6/8 (72), pp. 25-28. doi: 10.15587/1729-4061.2014.29353. (Ukr.)
 8. Krylov V.N. Analiz sostava vykhlopnykh gazov dizel'nogo dvigatel'ia. *Materiali XIX Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf. «Sovremennye tekhnika i tekhnologii»* [Diesel engine exhaust gas composition analysis. Proceedings of XIX Int. sci.-pract. conf. «Modern equipment and technologies»]. Tomsk, 2013, pp. 58-59. (Rus.)
 9. Kagramanian A.O., Rukavishnikov P.V. Doslidzhennia vplivu osnovnykh faktoriv ekspluatatsii dizeliv teplovoziv na vikidi zabrudniuiuchikh rechovin [Investigation of the influence of the main factors of diesel locomotive operation on pollutant emissions]. *Zbirnik naukovykh prats' Donets'kogo institutu zaliznichnogo transportu – Collection of scientific works of the Donetsk Institute of Railway Transport*, 2010, no. 21, pp. 160-170. (Ukr.)
 10. Tartakovs'kii E.D., Aulin D.O., Androsov D.S. Vyznachennia efektyvnosti khimmotologichnykh zakhodiv pidvishchennia efektyvnosti teplovoziv v ekspluatatsii [Determining the effectiveness of chemotological measures to increase the efficiency of locomotives in operation]. *Visnik Natsional'nogo tekhnichnogo universitetu «Kharkivs'kii politekhnichnii institut» – Bulletin of NTU «KhPI»*, 2011, no. 5, pp. 67-71. (Ukr.)
 11. Kegl T., Kovac Kralj A., Kegl B., Kegl M. Nanomaterial's as fuel additives in diesel engines: A review of current state, opportunities, and challenges. *Progress in Energy and Combustion Science*, 2020, Vol. 83, pp. 1-22. doi: 10.1016/j.peccs.2020.100897.
 12. Blushan Kumar Ch., Lata D.B. Effect of di-tert butyl peroxide (DTBP) on combustion parameters and NO_x in dual fuel diesel engine with hydrogen as a secondary fuel. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2021, vol. 46, iss. 5, pp. 4507-4525. doi: 10.1016/j.ijhydene.2020.10.235.
 13. Amid S., Aghbashlo M., Tabatabaei M., Hajiahmad A., Najafi B., Ghaziaskar H.S., Rastegari H., Hosseinzadeh-Bandbafha H., Mohammadi P. Effects of waste-derived ethylene glycol diacetate as a novel oxygenated additive on performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with diesel/biodiesel blends. *Energy Conversion and Management*, 2020, vol. 203, pp. 1-15. doi: 10.1016/j.enconman.2019.112245.
 14. Tartakovsky E.D., Falendish A.P., Grishchenko S.G., Sergienko M.I. *Metodichni vkazivki z pidgotovki i provedennia priimal'nykh viprobuvan' tiagovogo rukhomogo skladu ta iogo skladov*

- vikh* [Methodical instructions on preparation and carrying out of acceptance tests of traction rolling stock and its components]. Kiev, TOV «Shvidkii rukh» Publ., 2005. 80 p. (Ukr.)
15. *Teplovozy TGM4 i TGM4A: Rukovodstvo po ekspluatatsii i obsluzhivaniiu* [Diesel locomotives TGM4 and TGM4A: Operation and maintenance manual]. Moscow, Transport Publ., 1980. 182 p. (Rus.)
 16. *Programa-metodika provedennia ekspluatatsiinih viprobuvan' teplovozu TGM4 pri vikoristanni prisadki do dizel'nogo paliva DFC2020* [Program-method of operational tests of the diesel locomotive TGM4 using additives to diesel fuel DFC2020]. Kharkiv, UkrDUZT Publ., 2018. 15 p. (Ukr.)
 17. *Programa-metodika ekologo-energetichnih viprobuvan' dizelia teplovozu TGM4 pri vikoristanni prisadki dizel'nogo paliva DFC2020* [Program-method of ecological and energy tests of diesel locomotive TGM4 using diesel fuel additive DFC2020]. Kharkiv, UkrDUZT Publ., 2018. 16 p. (Ukr.)

Рецензент: А.А. Лямзін
канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 30.09.2020