

Д-р техн. наук С. В. ВОРОНІН, кандидати техн. наук В. О. МАЗЕПА,
Г. М. АФАНАСОВ, аспіранти Ю. К. ОРЛЮК, Т. В. ТРИФОНОВ

КРИТЕРІАЛЬНИЙ ПІДХІД ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЗМІНИ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОТОРНИХ ОЛИВ У ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ВИЗНАЧЕННЯ СТРОКІВ ЇХ ЗАМІНИ



Анотація. У статті подано новий аналітичний підхід для оцінювання зміни службових властивостей моторних олив під час експлуатації двигунів внутрішнього згоряння. Запропоновано два безрозмірні критерії — π_m та π_b , які дають змогу комплексно враховувати зміну властивостей моторної оливи та вплив основних експлуатаційних факторів. Розроблено залежність $\pi_m = f(\pi_b)$ для визначення оптимальних строків заміни моторної оливи з урахуванням як якості пального, так і початкових характеристик оливи. Поданий критеріальний підхід забезпечує більш точне прогнозування моменту, коли олива втрачає свої експлуатаційні властивості та підлягає заміні. Наразі проводять експериментальні дослідження для уточнення розробленої залежності на основі даних із різних типів двигунів. Збір експериментальних даних із різних типів машин забезпечить побудову узагальненої моделі, яка враховує всі суттєві фактори зносу моторної оливи.

Ключові слова: моторна олива, критерій подібності, критеріальний підхід, двигун внутрішнього згоряння, експлуатація, строки заміни, властивості оливи.

Вступ.

Залізничне господарство України є основним і найбільшим споживачем нафтопродуктів. Постійне збільшення залізничних перевезень, а отже, і збільшення обсягів споживання нафтопродуктів ставить перед дослідниками ряд завдань: збільшення довговічності двигунів, економічності їх експлуатації, виявлення та використання резервів економії ПММ, суттєве їх зниження.

У зв'язку з цим істотну роль відіграють питання раціонального підбору та застосування моторних олив у процесі експлуатації, оскільки властивості змащувального матеріалу є одним із найважливіших факторів, що впливають на надійність, довговічність і економічність роботи двигуна внутрішнього згоряння. Правильно підбираючи моторну оливу до ДВЗ, ресурс дизельних двигунів можна збільшити в 1,5 раза і більше [1].

Надійність і довговічність роботи двигунів внутрішнього згоряння значною мірою залежать від якості мастильних матеріалів і своєчасної їх заміни.

Традиційні підходи для оцінювання строків заміни моторних олив базовані зазвичай на фіксованому пробігу або годинах роботи, що не враховує реальних умов експлуатації, конструктивних особливостей двигуна, якості пального та інтенсивності навантажень. Такий підхід може призводити як до передчасної заміни оливи, що збільшує експлуатаційні витрати, так і надмірного продовження її використання, що підвищує ризик зносу та відмови двигуна.

В оливі, яка пропрацювала деякий час у системі змащення двигуна, відбувається ряд змін (накопичуються продукти окиснення оливи, корозії та зносу двигуна, пил і волога, змінюється в'язкість, спрацьовуються присадки), що мають істотний вплив на його фізико-механічні та експлуатаційні властивості, а отже, і стан трибосполучень, агрегатів і двигуна в цілому.

Грунтуючись на припущенні про безперервне погіршення якості моторної оливи в процесі роботи двигуна, багато вітчизняних і закордонних дослідників до недавнього часу вважали недоцільним тривале застосування олив. Однак за останні роки встановлено, що зі збільшенням строку служби оливи деякі її експлуатаційні властивості не тільки не погіршуються, а навіть поліпшуються.

Пояснити можливість збільшення строків заміни оливи тільки поліпшенням їхньої якості і вдосконаленням очищення від механічних домішок у двигунах не можна, оскільки одночасно зріс ступінь форсування двигунів, що призвело до посилення роботи моторної оливи в ДВЗ [2-8].

Тому для всебічного розв'язання проблеми продовження строків служби олив необхідно багато теоретичних і експериментальних досліджень із метою встановлення загальних закономірностей процесів, що протікають у моторних оливах за їх експлуатації в ДВЗ.

Велику інформативність про процеси старіння моторних олив за їх експлуатації в ДВЗ мають методи визначення ступеня спрацьовування

© С. В. ВОРОНІН, В. О. МАЗЕПА, Г. М. АФАНАСОВ, Ю. К. ОРЛЮК, Т. В. ТРИФОНОВ, 2025

присадок: за лужністю [2-5, 7], в'язкістю і термоокиснювальною стабільністю оливи [2-4].

Основною властивістю роботи моторної оливи в ДВЗ є запобігання зносу і задиру пар тертя, що працюють у режимі граничного змащування. Змащувальну дію оливи в чинних стандартах найчастіше характеризують за в'язкістю. Однак значення в'язкості не відображає здатності оливи виконувати свої функції в умовах граничного змащення, а також не дає інформації про наявність в оливі протизносних і протизадирних присадок. Інформацію про роботу оливи за режимів пошкоджуваності поверхонь (наприклад задир), а також наявність в оливі пакета присадок дають випробування на чотирикульковій машині за ГОСТ 9490.

На сьогодні єдиним надійним є метод оцінювання встановлення тих чи інших строків заміни оливи шляхом випробування двигунів, що працюють із різними строками заміни оливи, і подальшого обміру деталей пар тертя і оцінювання кількості лаків, нагарів і осадів.

Однак такий метод є дорогим і дає інформацію тільки для конкретного двигуна.

У зв'язку з цим актуальним є розроблення критеріального підходу, який дасть змогу об'єктивно оцінювати зміну службових властивостей моторної оливи у процесі експлуатації та визначати оптимальні строки її заміни з урахуванням фактичних умов роботи двигуна. У статті запропоновано систему безрозмірних критеріїв, яка охоплює основні фізико-хімічні та експлуатаційні параметри, що впливають на працездатність мастильного матеріалу.

Визначення мети та завдання дослідження.

Критеріальний підхід має вирішувати три основні завдання:

1. Оцінити «жорсткість» умов роботи моторної оливи в ДВЗ з урахуванням ступеня форсування, характеру виконуваної роботи, ступеня зношеності та конструктивних особливостей. На основі цього вибрати групу експлуатації оливи за API: SE, SF, SG, SH, SJ, SL, SM, SN (для бензинових ДВЗ); CC, CD, CE, CF-4, CG-4, CH-4, CI-4, CJ-4, CK-4 (для дизельних ДВЗ).

2. Оцінити характер змін службових властивостей моторної оливи (погіршення групи експлуатації) у процесі її напрацювання у ДВЗ. Знання цього характеру дасть змогу за розрахунками визначити час експлуатації або пробіг, досягнувши яких службові властивості оливи мають гранично допустимі значення, за яких потрібно її замінити.

3. Оцінити вплив експлуатаційних факторів на зміну службових властивостей моторної оливи, таких як якість пального, об'єм системи мащення, об'єм доливання свіжої оливи (із її згорянням), ступінь форсування двигуна і тривалість експлуатації (пробіг).

Високі оберти колінчастого вала та малий об'єм системи змащування сприяють інтенсивному

прокачуванню одиниці об'єму оливи через вузли тертя, а отже, інтенсивному накопиченню продуктів окиснення та швидшому зношенню присадок.

Забруднення оливи в працюючому двигуні відбувається безперервно. На швидкість забруднення оливи впливає безліч факторів, насамперед вид і властивості палива [1, 9], тип, конструкція, технічний стан, режим роботи і умови експлуатації. Будь-які фактори, що знижують повноту згоряння палива і збільшують прорив газів у картер, сприяють інтенсивному забрудненню оливи, перш за все органічними домішками [2, 4].

Автори багатьох робіт [1, 3-5, 8, 10] висловлюють думку про заміну моторних оливи за фактичним станом. За такої системи будуть виключені підвищений знос двигуна і знижені додаткові витрати, пов'язані з передчасною заміною моторних оливи.

Розроблення спеціальних методик, за якими будуть визначені службові властивості моторних оливи у процесі експлуатації машин з урахуванням доливання оливи (освіження оливи), а також оцінювання бракувальних показників для ухвалення рішення на зняття оливи з експлуатації або її експлуатацію в беззмінному режимі є актуальним завданням, яке буде вирішено в цій роботі.

Основна частина дослідження. Вирішуючи перше завдання, нами було виведено критерій $\pi_{ДВЗ}$ [11], що дає змогу оцінити «жорсткість» умов роботи моторної оливи в ДВЗ з урахуванням форсованості двигуна, характеру виконуваної роботи, ступеня зношеності та конструктивних особливостей. На підставі оцінювання визначено групу експлуатації оливи за API. Проте цей критерій не дає змогу враховувати зміну службових властивостей моторної оливи у процесі експлуатації в ДВЗ.

Тому для вирішення другого завдання — оцінювання характеру змін службових властивостей моторної оливи в процесі її напрацювання у ДВЗ — отримано додатковий критерій $\pi_{\text{м}}$, який виведено за методикою, викладеною у статтях [10, 11],

$$\pi_{\text{м}} = \frac{E \cdot \eta^{2/3}}{\eta^2 \cdot c^{5/3}}, \quad (1)$$

де E — енергетичний інтегральний критерій трибологічної характеристики оливи, $\text{кг/м} \cdot \text{с}^2$. Цей критерій визначено на чотирикульковій машині тертя і враховує наявність в оливі протизносних і протизадирних присадок, а також швидкість їх спрацьовування [11];

η — луже число, мг КОН/г оливи, що характеризує здатність моторної оливи нейтралізувати сірчані сполуки, які утворюються в процесі згоряння палива, що містить сірку;

η — кінематична в'язкість оливи, $\text{мм}^2/\text{с}$, що характеризує несучу здатність масляного шару і втрати на тертя;

C – схильність оливи до окиснення, кг/м^3 , характеризує здатність оливи утворювати лаки, смоли та інші високотемпературні відкладення.

Проаналізуємо отриманий критерій π_m . Він прагне до максимального значення, коли енергетичний інтегральний критерій і лужне число оливи мають максимальне значення, тобто олива має хороші протизносні та протизадирні властивості, а також запобігає відкладенню смолисто-асфальтових речовин, карбенів і карбоїдів на деталях двигуна [12], при цьому здатна нейтралізувати сірку, яка міститься в дизельному пальному, що зменшує корозійно-механічний знос верхньої частини гільзи циліндрів і поршневих кілець.

Збільшення ж значень кінематичної в'язкості і схильності до окиснення, навпаки, призводить до зменшення значення критерію π_m . Це відбувається через те, що з підвищенням в'язкості оливи збільшується опір зсуву в масляному шарі, що призводить до збільшення втрат на тертя, особливо з пуском і роботою двигуна за низьких температур. Схильність до окиснення оливи характеризують кількістю тонкого шару оливи, який перетворюється на лакову плівку за дією температури. Тому, чим вище значення показника C , тим більше олива схильна до лакоутворення [12], а отже, погіршення температурного стану двигуна і закоксовування поршневих кілець.

Для того щоб визначити строки заміни оливи в ДВЗ, необхідно знати залежність зміни критерію π_m від його напрацювання у двигуні, тобто знати, як будуть змінюватися службові властивості моторної оливи в процесі експлуатації ДВЗ. Такі дані можна отримати тільки через експлуатаційні випробування різних типів двигунів. Результатами випробувань будуть числові значення критерію π_m , які будуть зменшуватися в процесі експлуатації двигуна, оскільки будуть зменшуватися протизносні та протизадирні властивості оливи (E), а також лужність (Π) з одночасним збільшенням в'язкості (η) і схильністю до окиснення.

В експлуатації важливо знати граничне значення критерію π_m , тобто числове значення, із досягненням якого моторну оливу необхідно замінити. Такі дані також отримують експериментальним шляхом, на основі великої вибірки ДВЗ.

Визначаючи час роботи моторної оливи у двигуні, із досягненням якого критерій π_m буде мати граничні значення, необхідно враховувати не реальний час роботи, год, або пробіг, км, а оцінювати цей фактор безрозмірним критерієм подібності. За таким підходом буде вирішено третє завдання з оцінювання впливу на зміну службових властивостей моторної оливи таких експлуатаційних факторів, як якість палива, об'єм системи змащення, об'єм доливання свіжої моторної оливи на вигорання.

Якщо вигорання моторної оливи має місце, то за рахунок доливання свіжої оливи (що має високу концентрацію присадки) вміст присадки в цілому буде знаходитися на граничному (допустимому) рівні, що забезпечує надійну експлуатацію двигуна.

Проаналізувавши механізм спрацьовування присадок у моторній оливі і фактори, які впливають на цей механізм, за методикою, викладеною вище, отримано безрозмірний критерій часу, що оцінює в комплексі процес втрати службових властивостей моторною оливою за її роботи в ДВЗ. Критерій має такий вигляд:

$$\pi_t = \frac{S^2 \cdot N_L^2 \cdot L^2}{G_M^3 \cdot G_D}, \quad (2)$$

де S – наявність сірки в паливі, м^3 , характеризує швидкість спрацьовування лужної присадки в оливі;

N_L – літрова потужність двигуна, Вт/м^3 ;

L – час роботи двигуна, год, характеризує пробіг автомобіля;

G_M – об'єм системи змащення двигуна, м^3 ;

G_D – об'єм доливання свіжої оливи, м^3 , характеризує ступінь «освіження» оливи в картері двигуна за рахунок введення присадок.

Як впливає з аналізу критерію подібності π_t (2): великий відсоток сірки в паливі, висока потужність двигуна або високий ступінь форсування, а також час роботи оливи у двигуні сприятимуть збільшенню критерію. Малий об'єм системи змащення і відсутність доливання також сприятимуть збільшенню критерію.

Аналіз показників ступенів змінних у формулі (2) дає змогу судити про ступінь впливу факторів, що входять до критерію π_i . Більшою мірою впливає час роботи оливи у двигуні L (або пробіг), меншою мірою об'єм доливання моторної оливи на вигоряння G_d .

Для практичного застосування отриманих критеріїв π_m і π_i необхідно отримати залежність

$$\pi_m = f(\pi_i). \quad (3)$$

Наведений вище аналіз отриманих критеріїв показує, що залежність (3) матиме вигляд, як показано на рисунку.

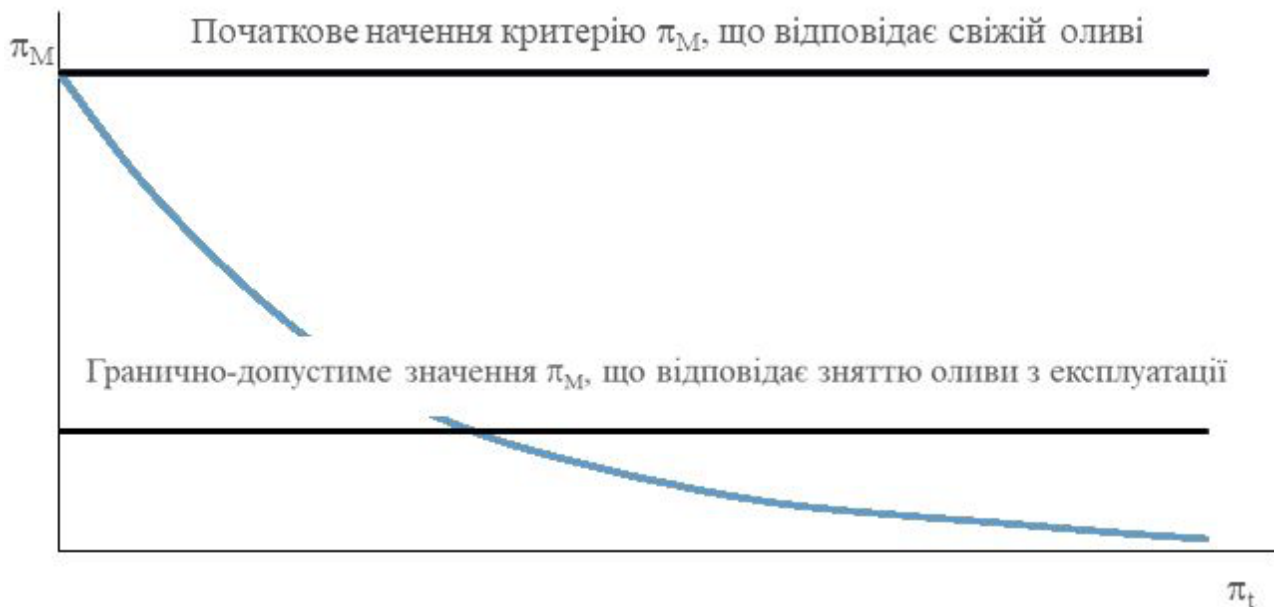


Рис. Взаємозалежність критеріїв подібності

На підставі інструкції [13] можна розрахувати граничне значення критерію $\pi_{m \text{ пред}}$ (1), досягши якого, оливу необхідно зняти з експлуатації.

Методика визначення експлуатації моторних олив за їхнім технічним станом зведена до оцінювання часу експлуатації моторних олив у мотогодинах за формулою

$$t = \frac{1}{3600} \cdot \left(\frac{G_m^{3/4} \cdot G_o^{3/4}}{N_l^{3/4} \cdot S} \cdot \left(\frac{\ln \frac{E_0 \cdot \Pi_0^{2/3}}{\eta_0^2 \cdot C_0^{5/3}} - \ln \frac{E_{\text{пред}} \cdot \Pi_{\text{пред}}^{2/3}}{\eta_{\text{пред}}^2 \cdot C_{\text{пред}}^{5/3}}}{a} \right) \right)^{4/9}, \quad (4)$$

де E_0 , Π_0 , η_0 , C_0 – початкові показники товарних моторних олив, які визначають лабораторним шляхом;

$E_{\text{пред}}$, $\Pi_{\text{пред}}$, $\eta_{\text{пред}}$, $C_{\text{пред}}$ – граничні значення показників моторних олив. Розраховують на

зниження (збільшення) від початкових показників, які визначають лабораторним шляхом за інструкцією [13].

Формулу (4) можна переписати в такому вигляді:

$$t = \frac{1}{3600} \cdot \left(\frac{G_m^{3/4} \cdot G_o^{3/4}}{N_l^{3/4} \cdot S} \cdot \left(\frac{\ln(\frac{\pi_{m0}}{\pi_{m\text{пред}}})}{a} \right) \right)^{4/9}, \quad (5)$$

де π_{m0} та $\pi_{m \text{ пред}}$ – значення критеріїв оцінювання службових властивостей моторних олив для товарної моторної оливи та оливи, яка досягла бракувальних показників, відповідно;

a – значення показника ступеня, для олив групи API CC дорівнює $1,58 \cdot 10^{-18}$.

Розрахуємо час експлуатації моторної оливи М-14Г₂ у двигуні 5Д49 тепловоза 2ТЕ116:

1. Початкове значення критерію π_{m0} , який оцінює експлуатаційні властивості товарної моторної оливи М-14Г₂ (АРІ СС), дорівнює $9,97 \cdot 10^{+21}$.

2. На підставі інструкції [13] розрахуємо граничні значення критерію $\pi_{m \text{ пред.}}$ для моторних олив групи АРІ СС, $\pi_{m \text{ пред. СС}} = 1,12 \cdot 10^{+21}$.

3. Показник ступеня a для олив групи експлуатації АРІ СС, якою заправлений двигун 5Д49 тепловоза 2ТЕ116, дорівнює $1,58 \cdot 10^{-18}$.

Підставимо отримані значення у формулу (5), додавши при цьому наявність сірки в паливі 0,5 % (що дорівнює $0,005 \text{ м}^3$), об'єм доливання оливи на вигорання для двигуна 5Д49 тепловоза 2ТЕ116 склав $G_d = 2,2 \text{ л/годину}$, отримаємо час експлуатації моторної оливи в мотогодинах:

$$t = \frac{1}{3600} \cdot \left(\frac{1^{3/4} \cdot 5^{3/4}}{101902217^{3/4} \cdot 0,005} \cdot \left(\frac{\ln(9,97 \cdot 10^{+21})}{1,12 \cdot 10^{+21}} \right) \right)^{4/9} = 2668 \text{ м. г.}$$

З урахуванням середньої швидкості руху тепловоза 2ТЕ116 $V = 40 \text{ км/год}$

$$L = 2668 \cdot 40 = 106\,732 \text{ км.}$$

Обговорення результатів. Залежність (3) необхідно будувати за вибіркою не менше 100 двигунів, які відрізняються за конструкцією, потужністю, видом виконуваної роботи. При цьому для кожного двигуна з величиною критерію $\pi_{\text{двз}}$ існує своє значення π_m граничне, із досягненням якого моторну оливу необхідно замінити. Знаючи π_m граничне і вираз залежності (3), можна розрахунковим шляхом визначити строки зміни оливи. При цьому будуть ураховані всі фактори, які входять до формул (1) і (2), тобто не тільки пробіг або час роботи двигуна, а і якість палива, доливання оливи, ступінь форсування двигуна і початкова якість моторної оливи.

Висновки.

Залежність (3) розрахунковим шляхом дає змогу визначати збільшення строків заміни моторної оливи, якщо в ДВЗ застосовують оливу більш високої групи експлуатації, ніж необхідно, а також скорочення строків заміни, якщо застосовують оливу більш низької групи експлуатації.

Виходячи з отриманого результату, можна зробити висновок, що теоретичний розрахунок показав значення 106 732 км, а паспортні дані 100 000 км, що складає похибку 6,31 %.

Отже, можна зробити висновок, що отримана математична залежність для підбирання моторних олив (1), а також залежність для визначення часу експлуатації (4) і остаточна формула для розрахунку часу експлуатації (5) є достовірними.

Зараз автори статті збирають експериментальний матеріал для уточнення залежності (3). Залежність (3) буде побудована за результатами польових випробувань різних типів машин, що дасть змогу отримати узагальнений матеріал, як цього вимагає критеріальний підхід.

Список використаних джерел

1. Караулов А. К., Худолий Н. Н. Автомобильные масла. Моторные и трансмиссионные. Ассортимент и применение: справочник. Киев: Журнал «Радуга», 2000. 436с.
2. Gołębiowski W., Krakowski R. & Zajac G. Degradation of anti-wear additives and tribological properties of engine oils at extended oil change intervals in city buses. *Sci Rep.* 15. 27238. (2025). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-12480-y>.
3. Sejkorová Marie, Hurtová Ivana, Glos Josef, Pokorný Jan. Definition of a Motor Oil Change Interval for High-Volume Diesel Engines Based on its Current Characteristics Assessment. April 2017. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis.* 65(2):481-490. DOI:10.11118/actaun201765020481, LicenseCC BY-NC-ND 4.0.
4. Smigins R., Amatnieks K., Birkavs A., Górski K., Kryštopta S. Studies on Engine Oil Degradation Characteristics in a Field Test with Passenger Cars. *Energies.* 2023. 16(24). 7955. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16247955>.
5. Onouchi H., Tanaka I., Elliott I., Ketterer N. Understanding degradation of engine oil additives and its effect on abnormal combustion in a gasoline engine (SAE Technical Paper 2023-32-0035) *SAE Technical Paper.* 2023-32-0035. DOI: <https://doi.org/10.4271/2023-32-0035>.
6. Change in Performance of Engine Oils with Degradation Inoue, Kiyoshi & Yamanaka, Yousuke. *SAE Technical Paper* 902122, 1990. DOI: <https://doi.org/10.4271/902122>.
7. Al Sheikh Omar A., Motamen Salehi F., Farooq U., Morina A., Neville A. Chemical and physical assessment of engine oils degradation and additive depletion by soot *Tribology International.* 160 (2021). 107054. DOI : <https://eprints.whiterose.ac.uk/id/eprint/176026/>.
8. Lacey P., Gunsell S., Ferner M., Pozebanchuk A. et al. Effect of Oil Drain Interval on Crankcase Lubricant Quality. *SAE Technical Paper.* 2003-01-1957, 2003. DOI: <https://doi.org/10.4271/2003-01-1957>.
9. Асташкевич Б. М. Износостойкость и прочность деталей цилиндропоршневой группы транспортных двигателей. *Вестник машиностроения.* 1997. № 10. С. 8 – 11.

10. Бажинов А. В. Прогнозирование остаточного ресурса автомобильного двигателя: монография. Харків: ХДАДТУ, 2001. 95 с.

11. Войтов В. А., Левченко А. В. Интегральный критерий оценки трибологических свойств смазочных материалов на четырехшариковой машине. *Трение и износ*. 2001. № 4. С. 441-446.

12. Hong S-H. & Jang E.K. (2023). Varnish Formation and Removal in Lubrication Systems: A Review. *Materials*. 16(10). 3737. <https://doi.org/10.3390/ma16103737>.

13. ЦТ – 0060. Інструкція з використання мастильних матеріалів на тяговому рухомому складі залізниць України. Київ: 2003. 54 с.

Dr. Sc. (Tech.) S. Voronin, PhD (Tech.) V. Mazepa, PhD (Tech.) H. Afanasov, postgraduate student Y. Orliuk, postgraduate student T. Tryfonov

CRITERIA-BASED APPROACH FOR EVALUATING CHANGES IN THE PROPERTIES OF MOTOR OILS DURING OPERATION AND DETERMINING THEIR REPLACEMENT INTERVALS

Abstract. This article presents a novel analytical method for assessing the degradation of motor oil performance during the operation of internal combustion engines (ICEs), based on a criterial approach. The research introduces two dimensionless criteria — π_m and π_i — that comprehensively reflect both the change in the oil's functional properties and the impact of key operating factors such as engine load, fuel quality, lubrication system volume, oil consumption, and additive depletion over time.

The π_m criterion integrates tribological, chemical, and rheological indicators of oil performance, including anti-wear and anti-seizure characteristics, alkalinity (neutralization capacity), viscosity, and oxidative stability. It reflects the capacity of the oil to maintain protective and lubricating properties under thermal and mechanical stress conditions. The π_i criterion, in turn, incorporates sulfur content in fuel, engine power density, oil change intervals, and the volume of oil replenishment during operation, which directly affect the rate of additive depletion and oil aging processes. These criteria allow not only for real-time assessment of oil degradation but also for forecasting the optimal oil replacement period depending on the operational conditions and oil group classification (according to API standards or national regulations). This provides a unified and scientifically grounded tool for evaluating oil condition across a broad range of ICE types, designs, and operating modes.

A key outcome of the study is the derived functional dependence $\pi_m = f(\pi_i)$, which enables the calculation of oil change intervals based on operating

similarity rather than just mileage or engine hours. This approach enhances decision-making in maintenance planning by considering real service conditions. The proposed approach takes into account both the initial oil quality and the dynamic changes occurring during engine operation, which improves reliability, durability, and economic efficiency in vehicle and machinery maintenance systems.

Currently, experimental data is being collected from field tests of various engine types to refine the proposed dependency and to develop a generalized empirical model that can be applied across different service conditions and engine configurations. The criterial methodology developed in this study addresses the need for more objective and comprehensive assessment of motor oil service life, moving beyond traditional mileage-based approaches.

Keywords: engine oil, similarity criterion, criterion approach, internal combustion engine, operation, replacement intervals, oil properties.

Воронін Сергій Володимирович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри машинобудування та технічного сервісу машин Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0001-844,3-3222.

Тел.: +38(095)500-81-59.

E-mail:

voronin.sergey@ukr.net.

Мазепа Віталій Олександрович, канд. техн. наук, докторант кафедри машинобудування та технічного сервісу машин, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: 0009-0009-8617-5015. Тел.: +38(050)703-32-36. E-mail:

mazepavitalii@gmail.com.

Афанасов Георгій Михайлович, канд. техн. наук, доцент, докторант кафедри машинобудування та технічного сервісу машин, Український державний університет залізничного транспорту.

ORCID iD: 0000-0003-1730-1785. Тел.: +38(066)452-40-39. E-mail: 0674274770@kart.edu.ua.

Орлюк Юрій Костянтинович, аспірант кафедри машинобудування та технічного сервісу машин, Український державний університет залізничного транспорту.

ORCID iD: 0009-0001-1004-490X. Тел.: +38(067)923-14-85. E-mail: orlyuk525@gmail.com.

Трифонов Тарас Вікторович, аспірант кафедри машинобудування та технічного сервісу машин, Український державний університет залізничного транспорту.

ORCID iD: 0009-0006-1415-8767. Тел.: +38(050)401-45-48. E-mail: ttrifonov81.tt@gmail.com.

Voronin Serhii, Dr. Sc. (Tech.), professor, Head of the Department of Mechanical Engineering and Technical Service of Machines, Ukrainian State University of Railway Transport.

ORCID iD: 0000-0001-8443-3222. Tel.: +38 (095)500-81-59. E-mail: voronin.sergey@ukr.net.

Mazepa Vitalii, PhD (Tech.), doctoral student, department of mechanical engineering and technical service of machines, Ukrainian State University of Railway Transport.

ORCID iD: 0009-0009-8617-5015. Tel.: +38(050)703-32-36. E-mail: mazepavitalii@gmail.com.

Afanasov Heorhii, PhD (Tech.), associate professor, doctoral student, department of mechanical engineering and technical service of machines, Ukrainian State University of Railway Transport.

ORCID iD: 0000-0003-1730-1785. Tel.: +38(066)452-40-39. E-mail: 0674274770@kart.edu.ua.

Orliuk Yurii, postgraduate student, department of mechanical engineering and technical service of machines, Ukrainian State University of Railway Transport.

ORCID iD: 0009-0001-1004-490X. Tel.: +38(067)923-14-85. E-mail: orlyuk525@gmail.com.

Tryfonov Taras, postgraduate student, department of mechanical engineering and technical service of machines, Ukrainian State University of Railway Transport.

ORCID iD: 0009-0006-1415-8767. Tel.: +38(050)401-45-48. E-mail: ttrifonov81.tt@gmail.com.