

doi: 10.32620/oikit.2026.108.15

УДК 629.08

В. М. Болдовський

Дослідження термоокислювальної стабільності як одного з ключових показників ресурсу моторних олив

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

У статті розглянуто актуальне питання оцінювання експлуатаційних властивостей моторних олив за показниками їх термоокислювальної стабільності в умовах реальної експлуатації автомобілів. Обґрунтовано, що надійність і довговічність роботи двигунів внутрішнього згоряння значною мірою залежать від якості моторної оливи, яка виконує функції змащування, охолодження, очищення поверхонь тертя від продуктів зношування та захисту деталей від корозії. Показано, що під час роботи двигуна олива зазнає впливу високих температур, кисню повітря, продуктів згоряння палива, металевих домішок і механічних навантажень, унаслідок чого відбуваються процеси окиснення, що супроводжуються утворенням органічних кислот, смолистих речовин, лаків, шламів та інших продуктів старіння. Це призводить до погіршення фізико-хімічних і експлуатаційних властивостей мастильного матеріалу, зниження ефективності присадок, утворення відкладень на деталях двигуна та прискорення їх зношування. Метою дослідження є оцінка експлуатаційних властивостей моторної оливи за показниками термоокислювальної стабільності. Для досягнення поставленої мети досліджено процеси окиснення моторної оливи під час експлуатації автомобіля, визначено коефіцієнт термоокислювальної стабільності, встановлено залежність його зміни від пробігу автомобіля та оцінено працездатність оливи в умовах реальної експлуатації. Об'єктом дослідження була синтетична моторна олива SAE 5W40 ZIC SK X9, яку застосовували в легкових автомобілях Renault Logan. Відбір проб здійснювали через кожні 3000 км пробігу. Випробування проводили на лабораторному приладі, що моделює процеси окиснення оливи в двигуні: пробу об'ємом 250 мл нагрівали до температури 180 °C із перемішуванням зі швидкістю 330 об/хв упродовж 3 годин. У роботі визначено коефіцієнт термоокислювальної стабільності та коефіцієнт випаровуваності. Встановлено, що зі збільшенням пробігу автомобіля від 0 до 12 тис. км коефіцієнт термоокислювальної стабільності зріс від 0,462 до 0,988, а коефіцієнт випаровуваності – від 0,029 до 0,157. Найбільш інтенсивні зміни зафіксовано в інтервалі 6–9 тис. км, що свідчить про поступове старіння моторної оливи та зниження ефективності антиокиснювальних присадок. Отримані результати мають практичне значення для оцінювання якості моторних олив, прогнозування строків їх ефективного використання та обґрунтування оптимальних інтервалів заміни в процесі експлуатації автомобілів.

Ключові слова: моторна олива; експлуатаційні властивості; стабільність; термоокислювальна стабільність; окиснення; двигун внутрішнього згоряння.

1. Постановка проблеми

Надійність і довговічність роботи двигунів внутрішнього згоряння значною мірою залежать від якості застосовуваних моторних олив. Моторна олива виконує ряд важливих функцій: змащування поверхонь тертя, охолодження деталей, очищення від продуктів зносу та захист від корозії.

Під час роботи двигуна моторна олива працює у складних умовах, що характеризуються високими температурами, значними механічними навантаженнями та контактом з продуктами згоряння палива. У таких умовах відбуваються складні фізико-хімічні процеси, серед яких одним із найважливіших є процес окиснення моторної оливи.

Окиснення призводить до утворення різних продуктів: органічних кислот,

лаків, смолистих речовин і шламів. Ці продукти погіршують експлуатаційні властивості оливи, сприяють утворенню відкладень на деталях двигуна та прискорюють їх зношування.

Попри наявність стандартних методів оцінки (наприклад, методів за ASTM чи ДСТУ), залишається недостатньо вивченим питання динаміки зміни окислювальної стабільності моторних олив в умовах реальної експлуатації автомобілів.

Існує необхідність в уточненні критеріїв граничного стану оливи, коли процеси окислення стають лавиноподібними, що веде до прискореного зносу деталей ДВЗ.

У зв'язку з цим важливим завданням є дослідження термоокислювальної стабільності моторних олив, що характеризує їх здатність протистояти процесам окиснення при підвищених температурах.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Окислювальна стабільність моторних олив є одним із найважливіших показників, що характеризують їх експлуатаційну надійність та довговічність.

У процесі роботи двигуна внутрішнього згоряння моторна олива зазнає дії підвищених температур, кисню повітря та продуктів згоряння палива. Це спричиняє перебіг окиснювальних процесів, у результаті яких утворюються небажані продукти – органічні кислоти, шламові та лакові відкладення, а також інші сполуки, що негативно впливають на роботу двигуна та стан його деталей.

Проблеми стабільності моторних олив активно досліджуються вітчизняними та зарубіжними науковцями.

Значна кількість робіт присвячена вивченню змін хімічного складу моторних олив у процесі експлуатації.

Дослідження показують, що під час роботи двигуна відбувається поступове зниження ефективності пакету присадок, що входить до складу моторної оливи. Це призводить до зменшення її антиокислювальних, мийних і диспергувальних властивостей.

Зокрема встановлено, що в процесі експлуатації моторних олив:

- зменшується лужне число;
- збільшується кислотне число;
- накопичуються смолисті та асфальтенові речовини;
- змінюється в'язкість.

Важливими чинниками, що впливають на швидкість окиснення моторних олив, є температура, площа контакту з повітрям, наявність каталізуючої дії металів, а також присутність води та продуктів попереднього окиснення. Однак визначальним фактором вважається температура.

За умов підвищених температур відбуваються інтенсивні процеси окиснення, полімеризації, конденсації та термічного розкладання компонентів оливи.

У результаті таких перетворень утворюються продукти окиснення, які сприяють формуванню лакових і нагарових відкладень на деталях поршневої групи двигуна [1, 2].

Сучасні методи дослідження дозволяють оцінювати стан моторних олив за рядом показників, серед яких важливе місце займає термоокислювальна стабільність.

Термоокислювальна стабільність характеризує здатність моторної оливи

протистояти утворенню лакових відкладень під дією підвищених температур. Цей показник визначається часом, протягом якого досліджувана олива за температури близько 250 °С переходить у стан, коли утворюється залишок, що складається приблизно з рівних частин робочої фракції та лакових відкладень.

Для оцінювання стійкості моторних олив до окиснення застосовують стандартизовані методики випробувань. Стандарт ДСТУ ГОСТ 11063:2021 регламентує метод визначення стабільності за індукційним періодом утворення осаду [3]. Даний показник характеризує максимальний час перебігу процесу окиснення, протягом якого вміст осаду в окисненій оливі не перевищує 0,5 %. Інший нормативний документ – ГОСТ 981-75 – описує метод оцінювання стабільності проти окиснення для нафтових олив як із присадками, так і без них. У цьому випадку стабільність характеризується величиною кислотного числа, кількістю летких низькомолекулярних кислот та масою осаду, що утворюється в процесі окиснення [4].

Результати досліджень, проведених у Національному авіаційному університеті, свідчать про поступове зниження загального лужного числа моторної оливи в процесі експлуатації автомобіля. Зокрема, для моторної оливи Castrol Magnatec 5W-30 A3/B4 встановлено, що після пробігу близько 10 тис. км значення лужного числа досягає критичного рівня. Це вказує на значне зменшення ефективності мийно-диспергувальних присадок і необхідність своєчасної заміни оливи або коригування її складу шляхом введення нового пакета присадок [5].

За результатами досліджень, проведених у Національному університеті «Львівська політехніка», встановлено, що під час експлуатації мінеральної моторної оливи в бензиновому двигуні відбуваються істотні зміни її вуглеводневого складу. Зокрема, у складі оливи поступово накопичуються асфальтосмолисті речовини, тоді як частка парафіно-нафтових вуглеводнів, які забезпечують ефективні змащувальні властивості, зменшується. Крім того, у процесі експлуатації утворюються кисневмісні органічні сполуки, такі як органічні кислоти, альдегіди, кетони та спирти. Наявність цих речовин призводить до підвищення корозійної активності оливи відносно металевих поверхонь деталей двигуна [6].

Таким чином, окислювальна стабільність моторних олив є одним із визначальних факторів забезпечення надійної та довговічної роботи двигунів автомобілів.

Сучасні наукові дослідження та стандартизовані методики дозволяють ефективно оцінювати цей показник і своєчасно виявляти зміни властивостей мастильних матеріалів під час експлуатації.

3. Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є оцінка експлуатаційних властивостей моторної оливи за показниками термоокислювальної стабільності.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- дослідити процеси окиснення моторної оливи під час експлуатації автомобіля;
- визначити коефіцієнт термоокислювальної стабільності моторної оливи;
- встановити залежність зміни стабільності від пробігу автомобіля;
- оцінити працездатність моторної оливи в умовах реальної експлуатації.

4. Викладення основного матеріалу дослідження

Процес окиснення моторних олив є складною хімічною реакцією, що відбувається за участю кисню повітря. Цей процес проходить у декілька стадій: ініціювання реакції, розвиток реакції, утворення стабільних продуктів окиснення.

Основними факторами, що впливають на інтенсивність окиснення, є:

- температура;
- концентрація кисню;
- наявність каталізаторів (металевих домішок);
- склад базової оливи;
- наявність присадок.

Під дією високих температур відбувається термічне розкладання вуглеводнів, що входять до складу моторної оливи.

У результаті утворюються активні радикали, які вступають у реакцію з киснем.

Для проведення досліджень була обрана синтетична моторна олива марки SAE 5W40 ZIC SK X9.

Дослідження проводилися на легкових автомобілях Renault Logan.

Відбір проб моторної оливи здійснювався через кожні 3000 км пробігу автомобіля.

Дослідження проводилися на спеціальному лабораторному приладі, що моделює процеси окиснення моторної оливи в умовах роботи двигуна.

Методика випробувань включала наступні етапи: у спеціальну камеру приладу заливали пробу моторної оливи об'ємом 250 мл, яку нагрівали до температури 180 °С.

Під час нагрівання здійснювалося перемішування оливи мішалкою із швидкістю 330 об/хв.

Цей режим було обрано експериментально з урахуванням вимоги уникнення турбулентного потоку, що забезпечує максимальну швидкість окиснення. Тривалість випробування становила 3 години.

Результати дослідження наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Результати дослідження термоокислювальної стабільності моторної оливи ZIC SK X9

| Інтервал між виконанням відбору проб моторної оливи, тис. км | Коефіцієнт термоокислювальної стабільності | Коефіцієнт випаровуваності |
|--|--|----------------------------|
| 0 | 0,462 | 0,029 |
| 3 | 0,616 | 0,057 |
| 6 | 0,820 | 0,114 |
| 9 | 0,963 | 0,143 |
| 12 | 0,988 | 0,157 |

На основі отриманих результатів побудовано графічну залежність зміни коефіцієнта термоокислювальної стабільності від пробігу автомобіля (рис. 1).

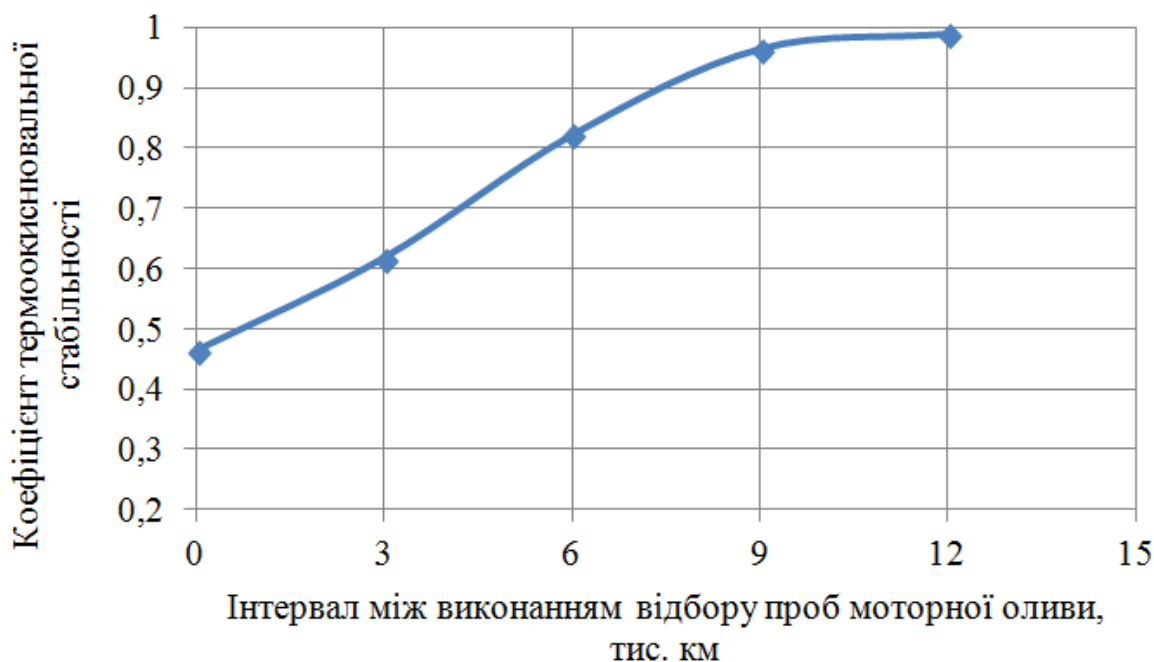


Рис. 1. Зміна коефіцієнта термоокислювальної стабільності моторної оливи марки ZIC SK X9 від пробігу автомобіля

Отримані результати досліджень показують, що зі збільшенням пробігу автомобіля відбувається поступове зростання коефіцієнта термоокислювальної стабільності. Це свідчить про накопичення продуктів окиснення, зміну хімічного складу моторної оливи, поступове старіння мастильного матеріалу. Найбільш інтенсивні зміни спостерігаються після пробігу 6–9 тис. км, що пов'язано зі зниженням ефективності антиокислювальних присадок.

Отримані результати мають важливе практичне значення для виробників мастильних матеріалів, підприємств автосервісу, експлуатаційних організацій.

Результати дослідження дозволяють визначити оптимальні інтервали заміни моторних оливи, оцінити їх експлуатаційні властивості.

Для підвищення стабільності моторних оливи доцільно використовувати синтетичні базові оливи, застосовувати сучасні антиокислювальні присадки, контролювати температурний режим роботи двигуна, своєчасно виконувати заміну оливи.

Висновки

У результаті проведених досліджень встановлено закономірності зміни термоокислювальної стабільності моторної оливи під час експлуатації автомобілів.

Отримані результати показують, що моторна олива марки SAE 5W40 ZIC SK X9 має достатньо високі експлуатаційні властивості та забезпечує надійний захист деталей двигуна протягом регламентованого періоду експлуатації.

Дослідження підтверджують доцільність використання показника термоокислювальної стабільності для оцінки технічного стану моторних оливи.

Список літератури

1. Бойченко С. Оливи. Моторні, турбінні, гідравлічні та трансмісійні:

властивості та якість. Підручник / С. Бойченко, А. Пушак, П. Топільницький, Й. Любінін, К. Лейда. К. : «Центр учбової літератури», 2019. 323 с. DOI: [10.18372/38010](https://doi.org/10.18372/38010).

2. Чабанний В. Я. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення. / В. Я. Чабанний. Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. 353 с.

3. ДСТУ 11063:2021 Оливи моторні з додатками. Метод визначення стабільності за індукційним періодом утворювання осаду. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=96747.

4. ГОСТ 981-75 Оливи нафтові. Метод визначення стабільності проти окиснення. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=97236.

5. Єфименко В. В., Калмикова Н. Г., Єфименко О. В. Оцінка якості моторних олів у процесі їх експлуатації // X Міжнародна науково-технічна конференція «Поступ у нафтопереробній та нафтогазовій промисловості», 18-23 травня 2020, Львів, "Львівська політехніка", 2020. С. 71–74.

6. Корчак Б. О., Гринишин О. Б., Червінський Т. І. Зміна складу та властивостей мінеральної моторної оливи після її експлуатації Національний університет "Львівська політехніка". Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Том 27, № 6. С. 93–97. DOI: [10.15421/40270618](https://doi.org/10.15421/40270618).

References

1. Boichenko S., Pushak A., Topilnytskyi P., Liubinin Y., Leida K. (2019) Olyvy. Motorni, turbinni, hidravlichni ta transmisiini: vlastyvosti ta yakist [Oils. Motor, turbine, hydraulic and transmission oils: properties and quality]. Kyiv: Center for Educational Literature. DOI: [10.18372/38010](https://doi.org/10.18372/38010). (in Ukrainian)

2. Chabannyi V. Ya. (2008) Palyvo-mastylni materialy, tekhnichni ridyny ta systemy yikh zabezpechennia [Fuel and lubricants, technical fluids and systems for their provision]. Kirovohrad: Central Ukrainian Publishing House. (in Ukrainian)

3. DSTU 11063:2021 Olyvy motorni z dodatkamy. Metod vyznachennia stabilnosti za induktsiinym periodom utvoriuvannia osadu [Motor oils with applications. Method for determining stability by induction period of sedimentation]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=96747.

4. HOST 981-75 Olyvy naftovi. Metod vyznachennia stabilnosti proty okysnennia [Petroleum oils. Method for determining stability against oxidation]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=97236.

5. Yefymenko V.V., Kalmykova N.H., Yefimenko O.V. (2020) Otsinka yakosti motornykh olyv u protsesi yikh ekspluatatsii [Assessment of the quality of motor oils during their operation]. X International Scientific and Technical Conference "Progress in the Oil Refining and Oil and Gas Industry", Lviv Polytechnic, May 18-23, pp. 71–74.

6. Korchak B. O., Hrynyshyn O. B., Chervinskyi T. I. (2017) Zmina skladu ta vlastyvostei mineralnoi motornoi olyvy pislia yii ekspluatatsii [Changes in the composition and properties of mineral motor oil after its operation]. National University "Lviv Polytechnic". Scientific Bulletin of Lviv Polytechnic National University, vol. 27, no. 6, pp. 93–97. DOI: [10.15421/40270618](https://doi.org/10.15421/40270618).

Надійшла до редакції 26.03.2026, розглянута на редколегії 21.04.2026

Research on thermo-oxidative stability as one of the key indicators of engine oil lifespan

This article examines the topical issue of evaluating the performance characteristics of motor oils based on their thermal-oxidative stability under real-world operating conditions. It is demonstrated that the reliability and durability of internal combustion engines depend to a significant extent on the quality of the motor oil, which performs the functions of lubrication, cooling, cleaning friction surfaces of wear products, and protecting parts from corrosion. It is shown that during engine operation, the oil is exposed to high temperatures, atmospheric oxygen, fuel combustion products, metal contaminants, and mechanical loads, resulting in oxidation processes accompanied by the formation of organic acids, resinous substances, varnishes, sludge, and other aging products. This leads to a deterioration in the physical, chemical, and operational properties of the lubricant, a reduction in the effectiveness of additives, the formation of deposits on engine components, and accelerated wear. The aim of the study is to evaluate the operational properties of motor oil based on indicators of thermal-oxidative stability. To achieve this objective, the oxidation processes of engine oil during vehicle operation were investigated, the thermal-oxidative stability coefficient was determined, its dependence on vehicle mileage was established, and the oil's performance under real-world operating conditions was evaluated. The subject of the study was SAE 5W40 ZIC SK X9 synthetic motor oil, which was used in Renault Logan passenger cars.

Samples were taken every 3,000 km of mileage. The tests were conducted using a laboratory apparatus that simulates the oxidation processes of engine oil: a 250-ml sample was heated to 180 °C while being stirred at a speed of 330 rpm for 3 hours. The study determined the thermal-oxidative stability coefficient and the evaporation coefficient. It was found that as the vehicle's mileage increased from 0 to 12,000 km, the thermal-oxidative stability coefficient rose from 0.462 to 0.988, and the evaporation coefficient from 0.029 to 0.157. The most significant changes were recorded in the 6,000–9,000 km range, indicating the gradual aging of the engine oil and a decrease in the effectiveness of antioxidant additives. The results obtained are of practical significance for assessing the quality of motor oils, predicting the duration of their effective use, and justifying optimal replacement intervals during vehicle operation.

Keywords: motor oil; performance properties; stability; thermal-oxidative stability; oxidation; internal combustion engine.

Відомості про авторів:

Болдовський Володимир Миколайович – к.т.н., доцент, кафедра технології машинобудування і ремонту машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Ел. пошта: v.boldovskyi@khai.edu; телефон: +38066-62-22-349, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5069-756X>.

About the Authors:

Volodymyr BOLDOVSKYI – candidate of technical sciences, docent, department of technology of machinery manufacturing and machine maintenance, Kharkiv national automobile and highway university, e-mail: v.boldovskyi@khai.edu; phone: +38066-62-22-349, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5069-756X>.