УДК 629.08 DOI https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.1.1.3

В. М. БОЛДОВСЬКИЙ
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри автомобілів та транспортної інфраструктури
Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»
ORCID: 0009-0008-5069-756X

ОЦІНКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОТОРНОЇ ОЛИВИ ЗА ТЕРМООКИСЛЮВАЛЬНОЮ СТАБІЛЬНІСТЮ

У статті представлено результати дослідження термоокислювальної стабільності моторної оливи як одного з ключових показників їхньої експлуатаційної надійності та довговічності.

Розглянуто фізико-хімічні властивості моторних олив, що впливають на їх стійкість до процесів окиснення під впливом високих температур та механічного навантаження, які відбуваються під час роботи двигуна автомобіля.

Проаналізовані наслідки від процесу окиснення моторної оливи, що відбуваються під час роботи двигуна, а саме утворення різних кислот, лаків, шламів та інших небажаних продуктів, які негативно впливають на роботу двигуна.

Для визначення термоокислювальної стабільності моторних олив використовувався спеціалізований прилад, що моделює процеси окиснення в робочих зонах деталей під час експлуатації олив у двигунах автомобілів.

Для проведення дослідження була обрано синтетична моторна олива класу в'язкості SAE 5W40, марка ZIC SK X9. Дослідна марка моторної оливи використовувались в бензинових двигунах легкових автомобілів моделі Renault Logan. Для моторної оливи проводились дослідження та визначалися їх термоокислювальна стабільність. Під час експериментальних досліджень визначалися коефіцієнт термоокислювальної стабільності та коефіцієнт випаровуваності моторної оливи. На підставі отриманих результатів побудована графічна залежність зміни коефіцієнта термоокислювальної стабільності моторної оливи ZIC SK X9 від пробігу автомобіля.

Результати проведених експериментальних досліджень дозволяють встановити критерії вибору моторних олив для різних умов експлуатації легкових автомобілів, а також розробити рекомендації щодо підвищення їх термостабільності, покращення експлуатаційних властивостей та відповідно продовження терміну служби.

Отримані експериментальні дані мають практичну значущість для виробників мастильних матеріалів та споживачів, зацікавлених у підвищенні надійності роботи двигунів внутрішнього згоряння та зменшенні витрат мастильних матеріалів під час експлуатації автомобілів в різних умовах.

Ключові слова: *моторна олива, окиснення, стабільність, термоокислювальна стабільність, деталі двигуна внутрішнього згоряння, експлуатаційні властивості.*

V. M. BOLDOVSKYI
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Automobiles and Transport Infrastructure
National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"
ORCID: 0009-0008-5069-756X

EVALUATION OF MOTOR OIL PERFORMANCE PROPERTIES BY THERMAL OXIDATION STABILITY

The article presents the results of a research on the thermal oxidation stability of motor oils as one of the key indicators of their operational reliability and durability.

The physical and chemical properties of motor oils that affect their resistance to oxidation processes under the influence of high temperatures and mechanical stress that occur during the operation of a car engine are considered.

The article analyzes the consequences of the engine oil oxidation process that occurs during engine operation, namely the formation of various acids, varnishes, sludges and other undesirable products that adversely affect engine performance.

To determine the thermal-oxidative stability of motor oils, a specialized device was used that simulates oxidation processes in the working areas of parts during the operation of oils in car engines.

For the research, a synthetic motor oil of viscosity class SAE 5W40, brand ZIC SK X9, was selected. The experimental brand of engine oil was used in gasoline engines of Renault Logan passenger cars. The engine oils were studied and their thermal oxidation stability was determined. During the experimental research, the coefficient of thermal oxidation stability and the coefficient of evaporation of engine oil were determined. Based on the results obtained, a graphical dependence of the change in the coefficient of thermal oxidation stability of ZIC SK X9 engine oil on the mileage of the car was constructed.

The results of the experimental studies make it possible to establish criteria for selecting engine oils for different operating conditions of passenger cars, as well as to develop recommendations for increasing their thermal stability, improving their performance properties and, accordingly, extending their service life.

The obtained experimental data are of practical importance for manufacturers of lubricants and consumers interested in improving the reliability of internal combustion engines and reducing the consumption of lubricants during the operation of cars in various conditions.

Key words: *engine oil, oxidation, stability, thermal oxidation stability, internal combustion engine parts, performance properties.*

Постановка проблеми

У сучасних умовах інтенсивної експлуатації автомобілів значна увага приділяється якості та довговічності моторних олив. Однією з ключових характеристик, що впливає на експлуатаційні властивості олив, є їх стабільність до окиснення, яка визначає термін служби оливи, ефективність захисту деталей двигуна від зношування, а також рівень викидів шкідливих речовин.

Окиснення моторної оливи в процесі роботи двигуна є багатофакторним явищем, що залежить від температури, наявності кисню, каталізаторів окиснення (металевих домішок), а також хімічного складу оливи. Продукти окиснення спричиняють утворення кислот, лаків, смолистих відкладень, що знижують мастильні властивості, збільшують корозію деталей двигуна і погіршують його роботу.

В Україні зазвичай використовуються імпортні моторні оливи, які виготовляються, як в країнах Європейського союзу, так і в інших країнах.

У зв'язку з цим виникає наукова проблема в необхідності розробки ефективних методів експлуатаційної оцінки моторних олив за їх стабільністю до окиснення з урахуванням реальних умов експлуатації автомобілів. Важливим є розробка уніфікованого підходу до оцінки стабільності до окиснення для різних типів моторних олив, із синтетичними та напівсинтетичними основами, що мають комплексні пакети присадок, що враховує їхній склад, умови експлуатації та рівень навантажень.

Розв'язання цієї наукової проблеми вимагає великого об'єму досліджень, серед яких, розробка теоретичних моделей процесів окиснення моторних олив, проведення експериментальних досліджень для вивчення впливу температури, кисню, присадок і металевих домішок на швидкість окиснення, створення методик, які дозволяють прогнозувати термін служби оливи в реальних умовах експлуатації, вивчення впливу стабільності до окиснення на зменшення зносу деталей двигуна та поліпшення екологічних показників роботи двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Окислювальна стабільність моторних олив є ключовим показником їхньої експлуатаційної надійності та довговічності. Окиснення оливи під час роботи двигуна призводить до утворення кислот, лаків, шламів та інших небажаних продуктів, що можуть негативно впливати на роботу двигуна.

Дослідження, проведене в Національному університеті «Львівська політехніка», показало, що під час роботи мінеральної моторної оливи в бензиновому двигуні внутрішнього згоряння відбуваються значні зміни її вуглеводневого складу. Зокрема, накопичуються асфальто-смолисті речовини, а вміст парафіно-нафтенових вуглеводнів, які забезпечують змащувальні властивості, зменшується. Також виявлено утворення органічних сполук кислої природи (кислоти, альдегіди, кетони, спирти), що підвищує корозійну активність оливи щодо металевих деталей двигуна [1].

Для оцінки окислювальної стабільності моторних олив використовуються стандартизовані методи. Зокрема, ДСТУ ГОСТ 11063:2021 встановлює метод визначення стабільності за індукційним періодом утворення осаду, що дозволяє оцінити максимальний час окиснення, протягом якого масова частка осаду в окисненій оливі не перевищує 0,5 % [2]. Інший стандарт, ГОСТ 981-75, описує метод визначення стабільності проти окиснення для нафтових олив з присадками та без них, що характеризується кислотним числом, кількістю летких низькомолекулярних кислот та осаду, які утворюються при окисненні [3].

Дослідження, проведене в Національному авіаційному університеті, показало, що під час експлуатації автомобіля загальне лужне число моторної оливи знижується. Зокрема, для оливи Castrol Magnatec 5W-30 A3/B4 встановлено, що після пробігу 10000 км лужне число зменшується до критичного рівня, що свідчить про вичерпання мийно-диспергуючих присадок. Це підкреслює необхідність регулярної заміни оливи та додавання пакету присадок після очищення [4].

Під час експлуатації автомобіля відбуваються зміни хімічного складу і властивостей моторних олив. Стійкість олив проти окислювання є одним з найважливіших параметрів, що визначають поведінку оливи у вузлах тертя двигуна при експлуатації, лімітують термін його служби тощо. В процесі роботи в моторній оливі утворюються розчинні і нерозчинні з'єднання. В результаті окислювання моторної оливи утворюються лакові та вуглисті відкладення, низькотемпературні відкладення, органічні кислоти й інші продукти. Усе це погіршує якість олив, а також погіршується робота двигуна. Глибокі зміни якості олив викликають необхідність їх заміни згідно встановленою періодичністю.

Інтенсивність та швидкість окислювання моторної оливи залежить від її хімічного складу, умов експлуатації, технічного стану двигуна, якості палива, охолоджувальної рідини та інших факторів. В результаті правильного вибору оливи, своєчасного контролю за технічним станом системи змащення двигуна автомобіля збільшується термін служби оливи, скорочується витрата палива.

На окислюваність моторних олив впливають температура, поверхня контакту з повітрям (поверхня окислювання), каталітична дія деяких металів, присутність кисню повітря, води, старих продуктів окислювання. Однак основним фактором є температура. Під дією високих температур моторна олива піддається інтенсивному окислюванню, полімеризації, конденсації, розкладанню, коксуванню. Продукти окислення олив сприяють утворенню лака і нагару на деталях поршневої групи [5, 6].

Термоокислювальна стабільність характеризує властивість оливи під дією високої температури утворювати на поверхні деталей двигуна лакові відкладення. Термоокислювальна стабільність моторної оливи вимірюється часом (хвилини), на протязі якого дослідна олива при температурі +250 °С перетвориться в залишок, що складається з 50 % робочої фракції і 50 % лаку.

Окислювальна стабільність моторних олив є критично важливою для забезпечення надійної роботи двигунів автомобілів. Сучасні дослідження та стандарти надають методи оцінки та контролю цього показника, що дозволяє своєчасно виявляти та запобігати негативним наслідкам окиснення оливи під час експлуатації.

Формулювання мети дослідження

Метою досліджень є визначення стану моторних олив для автомобілів за термоокислювальною стабільністю.

Для вирішення поставленої мети сформульовані наступні завдання:

Визначити закономірності зміни процесу окислення моторної оливи підчас експлуатації.

Встановити доцільність використання моторних олив на основі дослідження їх стану за термоокислювальною стабільністю.

Викладення основного матеріалу дослідження

Окислювальна стійкість моторних олив є ключовим фактором, що визначає їх антиокиснювальні властивості. Інтенсивне окиснення спостерігається на поверхнях деталей двигунів, нагрітих до високих температур (понад 90 °С).

Для оцінки термоокислювальної стабільності моторних олив було використано спеціальний прилад, який імітує процеси окиснення у робочих зонах деталей під час експлуатації олив у двигунах автомобілів.

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.

Через кожну годину дослідження проби моторної оливи зважували для визначення маси випаровуваних компонентів, а також відбирали для фотометричного аналізу. Залишок оливи після кожного етапу продовжували досліджувати за раніше визначеними параметрами. Коефіцієнт випаровуваності характеризується як частка між відповідною масою після і-го окислення (г) та масою перед і-м окисленням (г).

Для проведення дослідження була обрано синтетична моторна олива класу в'язкості SAE 5W40, марка ZIC SK X9. Дослідна марка моторної оливи використовувались в бензинових двигунах легкових автомобілів моделі Renault Logan. Під час експлуатації автомобілів забір проб моторної оливи з системи змащення двигуна здійснювався в об'ємі 200 мл, через кожні 3 тис. км пробігу автомобіля. Для відібраних проб моторної оливи проводились дослідження та визначалися їх термоокислювальна стабільність.

Результати отриманих дослідних показників моторної оливи ZIC SK X9 наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати дослідження стану моторної оливи ZIC SK X9 за термоокиснюваною стабільністю

Інтервал між виконанням відбору проб моторної оливи, тис. км	Коефіцієнт термоокиснювальної 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 підставі отриманих результатів дослідження побудована графічна залежність зміни коефіцієнта термоокислювальної стабільності моторної оливи ZIC SK X9 від пробігу автомобіля (рис. 1).

Зміна термоокислювальної стійкості моторних олив відображає зміну їх відносної в'язкості, що враховує стан спрацювання комплексу присадок та додаткових елементів. Чим інтенсивніше відбувається спрацювання присадок і функціональних добавок, тим активніше формуються об'єми відпрацьованих частинок в оливі. Ефективність оливи та контроль цих включень залежать від її стійкості до впливу температурних факторів.

Процес окиснення моторної оливи призводить до змін її властивостей, зокрема випаровуваності та в'язкості. У таких умовах доцільно оцінювати працездатність моторної оливи за змінами коефіцієнта її термоокиснювальної стабільності.

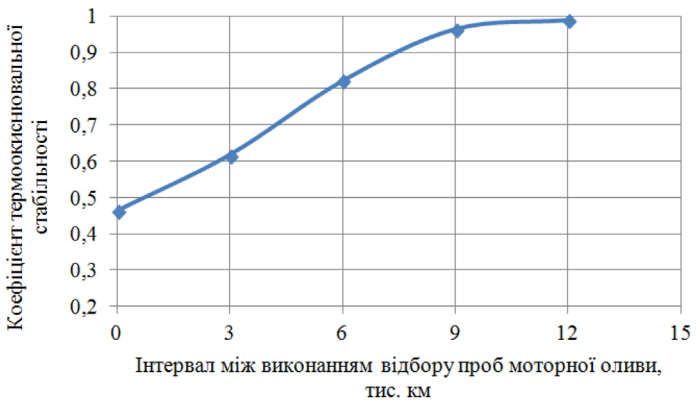

Рис. 1. Зміна коефіцієнта термоокислювальної стабільності моторної оливи ZIC SK X9 від пробігу автомобіля

Висновки

В результаті проведених експериментальних досліджень моторної оливи SAE 5W40, марка ZIC SK X9 на автомобілях Renault Logan виявлено, що вона відповідає високій якості та забезпечує збереження властивостей під час всього регламентованого періоду її використання.

Отримані результати зміни термоокислювальної стабільності моторної оливи дозволили оцінити її властивості за стабільністю до окиснення та підтвердили доцільність використання для автомобілів даного класу.

Список використаної літератури

1. 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.

2. 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.

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

4. Єфименко В. В., Калмикова Н. Г., Єфіменко О. В. Оцінка якості моторних олив 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.

5. 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.

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

References

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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. (in Ukrainian)

6. 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)