

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

Вовк Юлія Олександрівна

УДК 665.71.004.12:54.06 (045)

ДИСЕРТАЦІЯ

**ЗМІНА ЯКОСТІ СВІТЛИХ НАФТОПРОДУКТІВ В УМОВАХ
ТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ**

161 «Хімічні технології та інженерія»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань
16 «Хімічна інженерія та біоінженерія»

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Ю.О. Вовк

Науковий консультант: Матвєєва Олена Львівна, кандидат технічних наук,
доцент

Київ 2025

АНОТАЦІЯ

Вовк Юлія Олександрівна «Зміна якості світлих нафтопродуктів в умовах тривалого зберігання». – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 16 «Хімічна інженерія та біоінженерія» за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія». – «Державний університет «Київський авіаційний інститут» Міністерства освіти і науки України, м. Київ, 2025.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню фізико-хімічних та експлуатаційних процесів, що призводять до зміни якості світлих нафтопродуктів при їх зберіганні.

У *вступі* наведено мету та завдання дисертаційного дослідження, а також обґрунтовано актуальність даної теми. Також визначено наукову новизну, сформульовано практичне значення отриманих результатів. Продемонстровано зв'язок дослідження з науковими темами.

У *першому розділі* здійснено аналіз проблеми зберігання світлих нафтопродуктів і показано, що воно супроводжується змінами фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей палив. Чинниками, які суттєво впливають на якість палив під час їх зберігання є процеси випаровування, окиснення, обводнення, забруднення твердою дисперсною фазою. На основі проведеного аналізу, були сформовані основні завдання дисертаційної роботи, які необхідно виконати для реалізації мети роботи.

Основним завданням роботи є підтримання якості світлих нафтопродуктів в умовах довготривалого зберігання на підприємствах нафтопродуктозабезпечення. Для цього були поставлені завдання: провести аналіз зміни якості вуглеводневих палив при довготривалому зберіганні, встановити закономірності змін якості світлих нафтопродуктів при тривалому зберіганні, дослідити мікробіологічне ураження моторних палив при їх тривалому зберіганні, розробити рекомендації щодо удосконалення технології тривалого зберігання світлих нафтопродуктів.

У другому розділі зазначено стандартизовані методи, передбачені актуальними нормативними документами, які регламентують якість вуглеводневих палив та визначають їх фізико-хімічні властивості. Аналіз усіх зразків проводився згідно з встановленими процедурами, що забезпечувало отримання надійних результатів, необхідних для всебічної оцінки якості та експлуатаційних характеристик палив в умовах реального використання.

Обґрунтовано методики дослідження мікробіологічного ураження палив, що дозволяють виявити та ідентифікувати присутні мікроорганізми. Визначено та обґрунтовано методику оцінки впливу мікробного ураження на конструкційні матеріали, що перебувають у контакті з паливом, з використанням фотофіксації змін зовнішнього вигляду поверхонь, а також за допомогою растрової електронної мікроскопії.

У третьому розділі було досліджено динаміку змін якості світлих нафтопродуктів: паливо дизельне, бензин автомобільний, паливо для реактивних двигунів.

При аналізі дизельного палива марки ДП-Арк-Євро5-B0, що має гарантійний термін зберігання п'ять років, виявлено накопичення твердих дисперсних частинок у процесі зберігання в умовах підприємства паливозабезпечення. Встановлено зростання вмісту механічних домішок — від 3,2 до 13 мг/кг протягом зазначеного періоду.

Доведено як теоретично, так і експериментально, що в процесі тривалого зберігання дизельне паливо зазнає змін окиснювальної стабільності. Зафіксовано збільшення цього показника з 3 до 10 г/м³, що свідчить про постійно діючі процеси окиснення, які впливають на структуру та якість палива.

Встановлено, що зі збільшенням терміну зберігання дизельного палива спостерігається погіршення його протизношувальних характеристик. Зокрема, зменшення плями зносу на 18 % (від 436 мкм до 359 мкм) пояснюється накопиченням окиснених сполук, серед яких — високомолекулярні продукти, такі як смоли, що сприяють зниженню зношування.

Дослідження бензину А-92-Євро5-Е5 показало зміни таких показників як: ароматичних і олефінових вуглеводнів, бензолу, кисню та естерів. Ці процеси свідчать про наявність фізико-хімічних перетворень під час зберігання.

Встановлено, що у результаті п'ятирічного зберігання реактивного палива типу РТ, найбільші зміни спостерігаються у значеннях йодного числа (зменшення з 0,3 % до 0,1 %) та концентрації фактичних смол (збільшення з 1,8 % до 2,1 %). Такі зміни пояснюються зниженням концентрації олефінів, що окиснюються та полімеризуються в умовах тривалого зберігання.

Встановлено закономірності змін якості світлих нафтопродуктів при тривалому зберіганні.

У четвертому розділі досліджено вплив мікробіологічного ураження на паливо та конструкційні матеріали.

Встановлено, що кислотність досліджуваних палив, уражених мікроорганізмами, підвищилася. Потенціометричне визначення показників рН і Ен довело більш високе значення кислотності у біокомпоненті в порівнянні з Jet А-1, що свідчить про присутність кислотоутворюючих мікроорганізмів та високий позитивний окисно-відновний потенціал, який визначає інтенсивну окисну здатність зразків.

Підтверджено негативний вплив мікробіологічного забруднення вуглеводневих палив на конструкційні матеріали. При моделюванні зараження водно-вуглеводневої фази із застосуванням палива Jet А-1 та біокомпонента було виявлено утворення біоплівки на поверхнях дослідних зразків. Досліджена динаміка прояву ознак мікробіологічно індукованої корозії на зразках із вуглецевої сталі Ст3 та нержавіючої сталі, визначені відмінності та особливості перебігу мікробіологічного ушкодження конструкційних матеріалів за період до 143 діб.

Растрова електронна мікроскопія з використанням приладу РЕМ-106-И підтвердила наявність суттєвих пошкоджень на поверхні дослідних шайб, що перебували у середовищі з мікробіологічним зараженням (Jet А-1, 143-й день). Зокрема, на зразках зі Ст3 виявлено щільні біоплівки та численні осередки

пінтингової корозії. Поверхня нержавіючої сталі характеризується типовими проявами міжкристалічної корозії.

У *п'ятому розділі* сформульовано рекомендації щодо вдосконалення технологічних підходів до тривалого зберігання світлих нафтопродуктів на підприємствах паливозабезпечення. Установлено, що досягнення ефективного зберігання вуглеводневих палив вимагає забезпечення належного контролю за умовами зберігання, впровадження відповідних технічних рішень, а також організації регулярного навчання персоналу з метою оперативного виявлення та усунення потенційних ризиків. Дотримання наведених рекомендацій дозволить зберегти якість нафтопродуктів, знизити економічні втрати підприємств нафтопродуктозабезпечення та екологічні ризики.

Наукова новизна дослідження базується на таких основних положеннях: *уперше:*

- науково-обґрунтовано закономірності змін та особливості динаміки змін якості моторних палив (палива дизельного, бензину автомобільного та палива для реактивних двигунів) в умовах тривалого зберігання, що дозволило здійснити прогностичну оцінку втрат якості світлих нафтопродуктів при їх тривалому зберіганні на підприємствах нафтопродуктозабезпечення;

- експериментально встановлено особливості перебігу руйнувань металевої поверхні конструкційних матеріалів Ст3 і нержавіючої сталі в умовах мікробіологічного забруднення вуглеводневих палив. Доведено, що мікробіологічне ураження палив і продукти їх деструкції призводить до активного прояву пінтингової корозії на Ст3 та міжкристалічної корозії нержавіючої сталі.

- *дістало подальшого розвитку:*

- дослідження щодо мікробіологічної стійкості біодобавок із відновлюваної сировини, які дозволили встановити, що їх недостатня стійкість може призводити до зниження якості продукції та негативно впливати на можливість тривалого зберігання;

- знання про перебіг корозійних процесів у вуглеводневому паливному середовищі. Визначено, що в експлуатаційних умовах тривалого зберігання палив

присутній біокорозійний чинник, який впливає не тільки на погіршення якості вуглеводневих палив продуктами біодеструкції вуглеводнів, а й сприяє інтенсифікації корозійного ушкодження технологічного обладнання. Встановлено підвищення кислотності мікробіологічно-уражених палив, що свідчить про присутність кислотоутворюючих мікроорганізмів, які сприяють підвищенню корозійного ураження технологічного обладнання при зберіганні.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне використання результатів дисертаційної роботи дає можливість виявити фактори, які суттєво впливають на процеси зміни фізико-хімічних і експлуатаційних показників палив при довгостроковому зберіганні, це:

- *покращення технологій зберігання та транспортування вуглеводневих палив.* Дослідження змін якості світлих нафтопродуктів допомагає виявити ключові фактори, що впливають на їх стабільність під час зберігання. Це може призвести до розробки нових, ефективніших методів зберігання моторних палив, що мінімізує втрати їх якості.

- *покращення ефективності використання світлих нафтопродуктів.* Визначення та мінімізація факторів, що призводять до погіршення якості нафтопродуктів, допомагає підвищити експлуатаційну надійність обладнання та термін їх служби.

Таким чином у представленій роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання підтримання якості світлих нафтопродуктів в умовах довготривалого зберігання на підприємствах нафтопродуктозабезпечення.

Основні теоретичні положення, сформульовані висновки та практичні рекомендації дисертаційного дослідження використано:

Національним авіаційним університетом у навчальному процесі при підготовці та проведенні лекційних і лабораторних робіт із навчальних дисциплін «Технології модифікації та оптимізації складу й експлуатаційних властивостей альтернативних моторних палив», «Альтернативні паливно-мастильні матеріали», «Технологічне обладнання паливо-заправних комплексів»,

«Мікробіологічне ураження альтернативних моторних палив та паливних систем»
(*акти про впровадження від 08.12.202, 22.10.2024*).

Ключові слова: палива бензинові, дизельні, реактивні; властивості; тертя та знос; змащувальна здатність; екологічність; кислотне число; мікроорганізми; мікробіологічне забруднення та корозійне ураження; окиснення та окисна стабільність; смоли; октанове число; сульфурвмісні сполуки; нафтопродукти; присадки; експлуатаційна надійність.

ABSTRACT

Yuliia Oleksandrivna Vovk «Changing the quality of light petroleum products during long-term storage» – Qualification Scientific Work (Manuscript).

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the field of knowledge 16 "Chemical Engineering and Bioengineering," specialty 161 "Chemical Technologies and Engineering." – State University "Kyiv Aviation Institute" of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2025.

The dissertation is devoted to the study of the physicochemical and operational processes that lead to changes in the quality of light petroleum products during storage.

The introduction outlines the aim and objectives of the dissertation research and substantiates the relevance of the topic. The scientific novelty is defined, and the practical significance of the obtained results is formulated. The connection of the research with scientific topics is also demonstrated.

The first chapter presents an analysis of the issue of storing light petroleum products and demonstrates that this process is accompanied by changes in the physicochemical and operational properties of fuels. Factors that significantly affect fuel quality during storage include evaporation, oxidation, water contamination, and pollution by solid dispersed phases. Based on the conducted analysis, the main tasks of the dissertation were formulated, which are necessary to achieve the research goal.

The primary objective of this work is to maintain the quality of light petroleum products under long-term storage conditions at petroleum supply enterprises. To achieve this, the following tasks were set: to analyze the changes in the quality of hydrocarbon fuels during prolonged storage, to establish the patterns of quality changes in light petroleum products over time, to investigate microbiological contamination of motor fuels during extended storage, and to develop recommendations for improving the technology of long-term storage of light petroleum products.

The second chapter outlines the standardized methods defined by current regulatory documents governing the quality of hydrocarbon fuels and determining their

physicochemical properties. All sample analyses were conducted in accordance with established procedures, ensuring the reliability of the results necessary for a comprehensive assessment of fuel quality and performance characteristics under real-world conditions.

The research methodologies for microbiological contamination of fuels are substantiated, allowing for the detection and identification of present microorganisms. The methodology for assessing the impact of microbial contamination on structural materials in contact with fuel is defined and justified. This includes the use of photographic documentation of surface appearance changes as well as scanning electron microscopy for detailed surface analysis.

The third chapter examines the dynamics of quality changes in light petroleum products, including diesel fuel, automotive gasoline, and jet fuel.

The analysis of diesel fuel of the DP-Ark-Euro5-B0 grade, which has a guaranteed shelf life of five years, revealed the accumulation of solid dispersed particles during storage at a fuel supply enterprise. An increase in the content of mechanical impurities was observed—from 3.2 to 13 mg/kg over the specified period.

It was proven both theoretically and experimentally that during long-term storage, diesel fuel undergoes changes in oxidative stability. An increase in this indicator from 3 to 10 g/m³ was recorded, indicating ongoing oxidation processes that affect the structure and quality of the fuel.

It was also found that with an increase in storage duration, the anti-wear properties of diesel fuel improved. In particular, a reduction in the wear scar by 18% (from 436 μm to 359 μm) is explained by the accumulation of oxidized compounds, including high-molecular-weight substances such as resins, which contribute to reduced wear.

The study of A-92-Euro5-E5 gasoline revealed changes in parameters such as aromatic and olefinic hydrocarbons, benzene, oxygen, and ethers. These processes indicate the occurrence of physicochemical transformations during storage.

It was established that as a result of five years of storage of RT-type jet fuel, the most significant changes were observed in the iodine number (a decrease from 0.3% to 0.1%) and the concentration of actual gums (an increase from 1.8% to 2.1%). These

changes are attributed to the reduction in the concentration of olefins, which undergo oxidation and polymerization under long-term storage conditions.

The study identified patterns in the quality changes of light petroleum products during extended storage.

The fourth chapter investigates the impact of microbiological contamination on fuels and structural materials.

It was found that the acidity of the fuels affected by microorganisms increased. Potentiometric determination of pH and Eh values confirmed higher acidity levels in the biocomponent compared to Jet A-1 fuel, indicating the presence of acid-producing microorganisms and a high positive redox potential, which reflects the strong oxidative capacity of the samples.

The negative effect of microbiological contamination of hydrocarbon fuels on structural materials was confirmed. During the simulation of contamination in the aqueous-hydrocarbon phase using Jet A-1 fuel and the biocomponent, the formation of biofilms was observed on the surfaces of test samples. The dynamics of microbiologically induced corrosion (MIC) on carbon steel (St3) and stainless steel samples were studied, and differences in the manifestation and progression of microbial damage to structural materials were identified over a period of up to 143 days.

Scanning electron microscopy, using the REM-106-I device, confirmed significant surface damage on the test washers exposed to microbiologically contaminated environments (Jet A-1, 143rd day). Specifically, dense biofilms and numerous pitting corrosion sites were found on St3 samples. The surface of the stainless steel exhibited typical signs of intergranular corrosion.

The fifth chapter outlines recommendations for improving technological approaches to the long-term storage of light petroleum products at fuel supply enterprises. It was established that effective storage of hydrocarbon fuels requires proper control of storage conditions, the implementation of appropriate technical solutions, and the organization of regular personnel training to promptly identify and mitigate potential risks.

Adherence to these recommendations will help preserve the quality of petroleum products, reduce economic losses for fuel supply enterprises, and minimize environmental risks.

Scientific Novelty of the Research is Based on the Following Key Provisions:

For the first time:

- the regularities of changes and the peculiarities of the dynamics of changes in the quality of motor fuels (diesel fuel, automobile gasoline and jet fuel) under long-term storage conditions were scientifically substantiated, which allowed for a predictive assessment of the quality losses of light petroleum products during their long-term storage at oil product supply enterprises;

- the peculiarities of the course of destruction of the metal surface of structural materials St3 and stainless steel under conditions of microbiological contamination of hydrocarbon fuels were experimentally established. It was proven that microbiological damage to fuels and their destruction products leads to the active manifestation of pitting corrosion on St3 and intergranular corrosion of stainless steel.

received further development:

- research on the microbiological stability of bioadditives from renewable raw materials, which allowed us to establish that their insufficient stability can lead to a decrease in product quality and negatively affect the possibility of long-term storage;

- knowledge about the course of corrosion processes in the hydrocarbon fuel environment. It was determined that in the operating conditions of long-term storage of fuels there is a biocorrosive factor, which affects not only the deterioration of the quality of hydrocarbon fuels by products of hydrocarbon biodegradation, but also contributes to the intensification of corrosion damage to technological equipment. An increase in the acidity of microbiologically affected fuels was established, which indicates the presence of acid-forming microorganisms, which contribute to an increase in corrosion damage to technological equipment during storage.

Practical significance of the results obtained.

The practical application of the dissertation results enables the identification of key factors that significantly influence the changes in the physicochemical and operational properties of fuels during long-term storage, specifically:

- **Improvement of storage and transportation technologies for hydrocarbon fuels.** The study of quality changes in light petroleum products helps to identify the key factors that affect their stability during storage. This may lead to the development of new, more efficient methods for storing motor fuels, thereby minimizing quality degradation.

- **Enhancement of the efficiency of light petroleum product utilization.** Identifying and minimizing the factors contributing to the deterioration of fuel quality aids in increasing the operational reliability and service life of related equipment.

Thus, the presented work solves the current scientific and practical problem of maintaining the quality of light petroleum products under long-term storage conditions at petroleum product supply enterprises.

The main theoretical provisions, formulated conclusions and practical recommendations of the dissertation research were used:

by the National Aviation University in the educational process when preparing and conducting lecture and laboratory work on the academic disciplines "Technologies for modification and optimization of the composition and operational properties of alternative motor fuels", "Alternative fuel and lubricants", "Technological equipment of fuel and refueling complexes", "Microbiological damage to alternative motor fuels and fuel systems" (acts on implementation dated 08.12.202, 22.10.2024).

Keywords: gasoline, diesel, jet fuels; properties; friction and wear; lubricity; environmental friendliness; acid number; microorganisms; microbiological contamination and corrosion damage; oxidation and oxidative stability; resins; octane number; sulfur-containing compounds; petroleum products; additives; operational reliability.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. **Vovk Y., Matvyeyeva O., Nilow O.** Microbiological contamination of motor fuels: analysis and identification in fuelling companies. *Proceedings of the National Aviation University*. 2021. 86(1), 49-56. <https://doi.org/10.18372/2306-1472.86.15444> (Google Scholar, Index Copernicus, Ulrichsweb Global Serials Directory, WorldCat, Directory of Open Access Journals (DOAJ), CrossRef, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), Simple Search Metadata (SSM), Chemical Abstracts Service (CAS))

Особистий внесок здобувача – аналіз літературних джерел за проблематикою дослідження, участь у плануванні та практичне виконання досліджень, обробка отриманих даних, оформлення статті.

Матвєєва О.Л. – аналіз літературних джерел за тематикою дослідження та обробка отриманих даних.

Нілов О.Є. – аналіз літературних джерел за тематикою дослідження.

2. **Вовк Ю.О., Матвєєва О.Л.** Біоушкодження палив та об'єктів підприємств паливозабезпечення. *Наукоємні технології*. 2023. № 1. С. 86-92. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.57.17448> (ISSN (Print): 2075-0781; ISSN (Online): 2310-5461.

(Simple Search Metadata (SSM), Research Bible, Sjournals Index, The Vernadsky National Library of Ukraine, Universal Impact Factor, Directory of Research Journal Indexing (DRJI))

Особистий внесок здобувача – аналіз літературних джерел за проблематикою дослідження, участь у плануванні, оформлення статті.

Матвєєва О.Л. – аналіз літературних джерел за проблематикою дослідження, участь у плануванні, аналіз отриманих даних.

3. **Вовк Ю.О., Матвєєва О.Л.** Зміна якості дизельного палива в умовах довготривалого зберігання. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2024. 337(3(2), 40-45. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-337-3-5>. Режим доступу до журналу: <https://heraldts.khmnpu.edu.ua/>

index.php/heraldts/article/view/263 (ISSN 2307-573)

(Google Scholar, Index Copernicus, Polska Bibliografia Naukowa (PBN), CrossRef, Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського).

Особистий внесок здобувача – аналіз літературних джерел за проблематикою дослідження, участь у плануванні та практичне виконання досліджень, обробка отриманих даних, оформлення статті.

Матвеєва О.Л. – аналіз літературних джерел за тематикою дослідження та обробка отриманих даних.

4. **Вовк Ю.О.** Петрук Д. А. Стійкість біодизельного палива до мікробіологічного ураження. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2024. 24-30. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.3.3>

[\(ISSN: 2078-4481\(print\)\) \(Google Scholar, Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського\)](#)

Особистий внесок здобувача – аналіз літературних джерел за проблематикою дослідження, формулювання висновків, оформлення статті.

Петрук Д.А. – аналіз літературних джерел за тематикою дослідження участь у плануванні та практичне виконання досліджень, обробка отриманих даних.

5. **Вовк Ю.О.,** Матвеєва О.Л., Тітова О.С. Моніторинг змін якості бензину автомобільного в умовах довготривалого зберігання. *Journal of Chemistry and Technologies*. 2022. №30(3). С. 410-418. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v30i3.261958>. Q4 ISSN 26632934.

Особистий внесок здобувача - аналіз літературних джерел за проблематикою дослідження, участь в обговоренні плануванні та оброблення отриманих даних, оформлення статті.

Матвеєва О. Л. – аналіз літературних джерел за тематикою дослідження, оброблення отриманих даних.

Тітова О.С. – аналіз літературних даних та оброблення отриманих даних.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

6. **Vovk Y.O.** Problems of microbiological contamination of fuels. *Polit. Challenges of science today. Environmental safety, engineering and technologies*. Abstracts of XX International conference of higher education students and young scientists. Kyiv, 1-3 April 2020. K.: NAU. 2020. P. 67-68 p. URL:https://drive.google.com/file/d/1e7zMfVBx5sQWaLCcKf_NZ2WxUuwGAAUW/view
7. **Вовк Ю.О.,** Матвєєва О.Л. Проблеми мікробіологічного забруднення палив. *Новітні досягнення біотехнології: Матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф. присвяченої 15-річчю кафедри біотехнології Національного авіаційного університету, м. Київ, 23 вересня 2020р. м. Київ, 2020. С. 27-28.* URL:https://febit.nau.edu.ua/wp-content/uploads/2020/12/materialy_konferentsii.pdf
8. Matvyeyeva O.L., **Vovk Y.O.** Microbiological Contamination of Hydrocarbon Jet Fuels at Transport Enterprises. *Safety in Aviation and Space Technologies*. Abstracts of Eighth World Congress «AVIATION IN THE XXI-st CENTURY» Kyiv, September 22-24, 2020. Kyiv, 2020.
9. Matvyeyeva O.L., **Vovk Y.O.** Microbiological contamination of alternative and hydrocarbon fuels. *Safety in Aviation and Space Technologies. Екологічна безпека та авіаційна хімотологія*. Abstracts of Eighth World Congress «AVIATION IN THE XXI-st CENTURY» Kyiv, September 22-24, 2020., Kyiv, 2020. URL: <http://conference.nau.edu.ua/index.php/Congress/Congress2020/schedConf/presentations>
10. **Вовк Ю.О.** Матвєєва О.Л. Порівняльна оцінка схильності до біодеградації традиційного та альтернативного авіаційного палив. *Новітні досягнення біотехнології: Тези доповідей V Міжн. наук.-практ. конф., м. Київ, 22-23 вересня 2021 р. НАУ Київ, 2021.* URL: <https://jml.nau.edu.ua/index.php/ecobiotech/issue/view/854>
11. **Вовк Ю.О.** Матвєєва О.Л., Нілов О.Є. Дослідження динаміки змін якості світлих нафтопродуктів в умовах довготривалого зберігання. *Хімія та сучасні технології: Тези доповідей X Ювілейної Міжн. наук.-практ. інтернет-конф., м.*

Дніпро, 23-24 листопада 2021 р. м. Дніпро, 2021. С. 111-115. URL:<https://udhtu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/12/tom-2-maket.pdf>

12. Matvyeyeva O.L., **Vovk Y.O.** Changes quality of motor gasolines in process long-term storage. *Modern scientific research: achievements, innovations and development prospects. MDPC Publishing. Proceedings of the 14th International scientific and practical conference. Berlin, 2022. Berlin, Germany. 2022. Pp 21-27.* URL:<https://sci-conf.com.ua/xiv-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-modern-scientific-research-achievements-innovations-and-development-prospects-17-19-07-2022-berlin-nimechchina-arhiv/>

13. **Вовк Ю.О.**, Матвєєва О.Л. Проблеми довготривалого зберігання альтернативних палив. *Safety in Aviation and Space Technologies. Proceeding of The Tenth World Congress «AVIATION IN THE XXI-st CENTURY».* Kyiv, September 28-30, 2022, Kyiv, 2022 URL:<https://conference.nau.edu.ua/index.php/Congress/Congress2022/schedConf/presentations>

14. Петрук Д. А., **Вовк Ю. О.**, Матвєєва О. Л. Мікробіологічне забруднення авіаційних палив для реактивних двигунів. *Інноваційні хімічні технології та інженерія: Матеріали всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів, м. Київ, 15-16 листопада 2023 р. НАУ. м. Київ, 2023. С. 14-15.* URL:https://drive.google.com/file/d/1sr_ohg8-qiTtiX1DAx0pIJ0bapKWkfFS/view

15. **Вовк Ю.О.**, Матвєєва О.Л. Дослідження якості дизельного палива тривалого зберігання. *ПОЛІТ. Сучасні проблеми науки: тези доповідей XXIV Міжн. наук.-практ. конф., м. Київ, 2-5 квітня 2024р., НАУ. м. Київ, 2024. С. 46-47.* URL:<https://drive.google.com/file/d/1kFzwFVVH7ThwHqml1q3lWyujvriTQmuJ/view>

16. Петрук Д.А., **Вовк Ю.О.**, Матвєєва О.Л. Стабільність біодизельного палива до мікробіологічного ураження. *ПОЛІТ. Сучасні проблеми науки: тези доповідей XXIV Міжн. наук.-практ. конф., м. Київ, 2-5 квітня 2024 р. НАУ. м. Київ, 2024. С. 115-117.* URL:<https://drive.google.com/file/d/1kFzwFVVH7ThwHqml1q3lWyujvriTQmuJ/view>

17. **Вовк Ю. О.** Проблеми деструкції дизельних палив в умовах зберігання. *Інноваційні хімічні технології та інженерія: зб. тез доповідей II Всеукраїнської*

науково-практичної конференції молодих учених і студентів, м. Київ, 19-20 листопада 2024 р., м. Київ: Державне некомерційне підприємство «Державний університет «Київський авіаційний інститут», 2024. С. 6. URL: <https://febit.nau.edu.ua/kafedry/kafedra-khimii-i-khimichnoi-tekhnologii/konferentsiia/>

18. Матвєєва О. Л., **Вовк Ю. О.** Зміна якості моторних палив в умовах довготривалого зберігання. *Потенційні шляхи розвитку науки з питань довготривалого зберігання матеріально-технічних ресурсів: збірник тез науково-практичної конференції*, м. Київ, 27 листопада 2024 р., УкрНДІ «Ресурс». м. Київ., Львів – Торунь: Liha-Pres 2024. С.134. URL: <http://doi.org/10.36059/978-966-397-460-6>

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
ABSTRACT	8
СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ.....	13
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	20
ВСТУП.....	21
РОЗДІЛ 1. ПРОБЛЕМИ ДОВГОТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ СВІТЛИХ НАФТОПРОДУКТІВ	27
1.1. Палива, призначені для створення мінімальних запасів нафти та нафтопродуктів та вимоги до них.....	27
1.2. Вимоги до якості вуглеводневих палив, що призначенні для довготривалого зберігання	30
1.3. Зміна якості світлих нафтопродуктів в експлуатаційних умовах	35
1.4. Мікробіологічне ураження вуглеводневих палив	48
1.5. Обґрунтування мети роботи і завдання дослідження	57
Висновки до розділу.....	57
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ	59
2.1. Характеристика предмету дослідження	59
2.2. Методи оцінки фізико-хімічних властивостей світлих нафтопродуктів ..	60
2.3. Методики дослідження мікробіологічного ураження палив	74
Висновки до розділу.....	84
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН ЯКОСТІ СВІТЛИХ НАФТОПРОДУКТІВ ПРИ ТРИВАЛОМУ ЗБЕРІГАННІ	85
3.1. Динаміка змін якості дизельного палива при тривалому зберіганні	85
3.2. Динаміка змін якості бензину автомобільного при тривалому зберіганні	91
3.3. Динаміка змін якості палива для реактивних двигунів при тривалому зберіганні.....	102
Висновки до розділу.....	104

РОЗДІЛ 4. МІКРОБІОЛОГІЧНЕ УРАЖЕННЯ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ПАЛИВ ПРИ ТРИВАЛОМУ ЗБЕРІГАННІ	106
4.1. Порівняльний аналіз біоураження авіаційного палива для реактивних двигунів	106
4.2. Механізм корозійного ураження світлих нафтопродуктів при довготривалому зберіганні палив.....	112
4.3. Вплив мікробіологічного ураження вуглеводневих палив на конструкційні матеріали	116
4.4. Особливості перебігу мікробіологічного ураження дизельного палива	127
Висновки до розділу.....	132
РОЗДІЛ 5. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ТЕХНОЛОГІЇ ТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ СВІТЛИХ НАФТОПРОДУКТІВ	134
5.1. Контроль якості світлих нафтопродуктів при їх довготривалому зберіганні.....	134
5.2. Експлуатація технологічного обладнання підприємств нафтопродуктозабезпечення при довготривалому зберіганні вуглеводневих палив.....	135
5.3. Мікробіологічне забруднення світлих нафтопродуктів при довготривалому зберіганні.....	138
5.4. Політика підприємства та організаційні заходи для ефективного зберігання нафтопродуктів.....	139
Висновки до розділу.....	141
ВИСНОВКИ.....	143
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ЛІТЕРАТУРИ	147
ДОДАТКИ.....	162

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

МЗНН – мінімальні запаси нафти та нафтопродуктів;

ЄС – Європейський Союз;

ДСТУ – державні стандарти України;

МЕЖК – метилові естери жирних кислот;

ЕЕЖК – етилові естери жирних кислот;

СВБ – сульфатвідновлюючі бактерії;

КУБ – кислотоутворюючі бактерії;

ТДФ – тверда дисперсна фаза;

РВС – резервуар сталевий вертикальний;

РТС – резервуар траншейний вертикальний;

ДП – дизельне паливо;

АБ – автомобільний бензин;

НДР – науково-дослідна робота;

ISO – International Organization for Standardization (Міжнародна організація зі стандартизації);

ICAO – International Civil Aviation Organization (Міжнародна організація цивільної авіації);

IATA – International Air Transport Association (Міжнародна асоціація повітряного транспорту);

JIG – Joint Inspection Group (Спільна інспекційна група);

SAF – Sustainable Aviation Fuel;

ПВЗР – пристрій високочастотного зворотно-поступального руху;

КАІ – Київський авіаційний інститут.

ВСТУП

Актуальність. Сучасна енергетична інфраструктура базується на широкому використанні нафтопродуктів, серед яких світлі нафтопродукти займають важливе місце. Вони використовуються як паливо для автотранспорту, авіації, а також у хімічній і нафтохімічній промисловості. Якість цих продуктів безпосередньо впливає на ефективність роботи техніки та обладнання, а також на рівень забруднення навколишнього середовища. Оскільки попит на світлі нафтопродукти є стабільним, питання їх зберігання на довгий період набуває великого значення.

Довготривале зберігання світлих нафтопродуктів супроводжується рядом проблем, пов'язаних із змінами їх фізико-хімічних властивостей. Під впливом факторів, таких як температура, вологість, доступ кисню, а також наявність різноманітних домішок, нафтопродукти можуть зазнавати окиснення, що призводить до погіршення їх якості. Зміни в кольорі, в'язкості, появи осадів значно знижують експлуатаційні характеристики продуктів, що, в свою чергу, може вплинути на безпеку транспортування та використання цих продуктів.

Дослідження мікробіологічного ураження світлих нафтопродуктів зумовлена зростанням світового попиту на якісні паливно-мастильні матеріали, а також необхідністю забезпечення їх тривалого зберігання та стабільності в експлуатації. Вивчення проблеми мікробного забруднення нафтопродуктів є важливим оскільки останнє може призвести до значних економічних втрат і технічних проблем пов'язаних з погіршення якості палива, утворенням осаду та біоплівки, які можуть засмічувати фільтри, трубопроводи та системи впорскування палива, спричиняючи збої двигунів та неефективність роботи; корозією резервуарів для зберігання та іншого технологічного обладнання, збільшуючи в цілому витрати на обслуговування та ризики для безпеки.

Незважаючи на актуальність даної проблеми, наукові дослідження в галузі довготривалого зберігання світлих нафтопродуктів залишаються фрагментарними, що обумовлює необхідність системного підходу до вивчення

цього питання. Зокрема, важливо детально вивчити вплив зовнішніх факторів на стабільність нафтопродуктів і розробити рекомендації щодо підвищення ефективності зберігання світлих нафтопродуктів, що сприятиме зниженню витрат на їх транспортування та обробку, а також мінімізації екологічних ризиків, пов'язаних з використанням нафтопродуктів.

Враховуючи зростаючий акцент на контролі якості палива, стійких енергетичних рішеннях та обслуговуванні інфраструктури, це дослідження має вирішальне значення для нафтової промисловості, транспортного сектору та зусиль із захисту навколишнього середовища.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами

Тема дисертації відповідає освітньо-науковій програмі «Хімічні технології та інженерія» за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія» галузі знань «Хімічна інженерія та біоінженерія» в КАІ (зокрема, ОК 1.3.2 «Новітні інноваційні технології раціонального використання паливно-мастильних матеріалів», ОК 1.3.3 «Фундаментальні основи забезпечення хімотологічної надійності авіатехніки», ОК 1.3.5 «Методологія ідентифікації хімічних змін в паливномастильних матеріалах»).

Дисертаційна робота підготовлена в рамках виконання науково-дослідних робіт (НДР):

- «Зміна якості світлих нафтопродуктів в умовах тривалого зберігання» № 126-2021/10.02.022 ДР 0122U002007, де автором, як відповідальним виконавцем, проведено аналіз наукових досліджень за даною темою, експериментальні дослідження, проаналізовано зміни якості світлих нафтопродуктів в умовах тривалого зберігання та встановлено закономірності таких змін;

- «Дослідження динаміки змін якості бензину автомобільного в умовах зберігання в системі Держрезерву України» ДР 0120U000430, де автором, як відповідальним виконавцем, проаналізовано і систематизовано експериментальні дані змін фізико-хімічних показників якості палива в умовах тривалого зберігання;

- «Дослідження динаміки змін якості палива дизельного в умовах зберігання в системі Держрезерву України» ДР 0120U00036, де автором, як відповідальним

виконавцем проведено аналіз та систематизацію експериментальних даних щодо динаміки змін фізико-хімічних характеристик палива дизельного в умовах тривалого зберігання.

Мета роботи полягає у визначенні науково-теоретичних основ та проведенні практичних досліджень, спрямованих на забезпечення стабільної якості світлих нафтопродуктів під час тривалого зберігання на підприємствах, що займаються їх постачанням.

Зважаючи на поставлену мету дисертаційного дослідження, визначено такі науково-теоретичні та практико-орієнтовані завдання:

- проаналізувати зміни якості вуглеводневих палив при довготривалому зберіганні;
- встановити закономірності змін якості світлих нафтопродуктів при тривалому зберіганні;
- дослідити мікробіологічне ураження моторних палив при тривалому зберіганні;
- розробити рекомендації щодо удосконалення технології тривалого зберігання світлих нафтопродуктів.

Об’єкт дослідження – фізико-хімічні та експлуатаційні процеси, що призводять до зміни якості світлих нафтопродуктів при їх зберіганні.

Предмет дослідження – закономірності змін якості світлих нафтопродуктів при тривалому зберіганні.

Методи дослідження: При виконанні досліджень були використанні експериментальні та розрахункові методи досліджень. Експериментальні методи дослідження включали: визначення кислотного числа, посів мікроорганізмів, мікроскопіювання зразків, потенціометричне визначення показників рН і Eh, моделювання типового обводнення палива, вплив мікробіологічного ураження на конструкційні матеріали проводили, досліджуючи стан поверхні металевих шайб з різних конструкційних матеріалів, з використанням мікроскопічного дослідження та візуального методу з застосуванням фотофіксації. Розрахунки та

обробка експериментальних даних проводилась з використанням пакетів комп'ютерних програм.

Наукова новизна дослідження базується на таких основних положеннях:

уперше:

- науково-обґрунтовано закономірності змін та особливості динаміки змін якості моторних палив (палива дизельного, бензину автомобільного та палива для реактивних двигунів) в умовах тривалого зберігання, що дозволило здійснити прогнозну оцінку втрат якості світлих нафтопродуктів при їх тривалому зберіганні на підприємствах нафтопродуктозабезпечення;

- експериментально встановлено особливості перебігу руйнувань металевої поверхні конструкційних матеріалів Ст3 і нержавіючої сталі в умовах мікробіологічного забруднення вуглеводневих палив. Доведено, що мікробіологічне ураження палив і продукти їх деструкції призводить до активного прояву піттингової корозії на Ст3 та міжкристалічної корозії нержавіючої сталі.

- *дістало подальшого розвитку:*

- дослідження щодо мікробіологічної стійкості біодобавок із відновлюваної сировини, які дозволили встановити, що їх недостатня стійкість може призводити до зниження якості продукції та негативно впливати на можливість тривалого зберігання;

- знання про перебіг корозійних процесів у вуглеводневому паливному середовищі. Визначено, що в експлуатаційних умовах тривалого зберігання палив присутній біокорозійний чинник, який впливає не тільки на погіршення якості вуглеводневих палив продуктами біодеструкції вуглеводнів, а й сприяє інтенсифікації корозійного ушкодження технологічного обладнання. Встановлено підвищення кислотності мікробіологічно-уражених палив, що свідчить про присутність кислотоутворюючих мікроорганізмів, які сприяють підвищенню корозійного ураження технологічного обладнання при зберіганні.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне використання результатів дисертаційної роботи дає можливість виявити фактори, які суттєво

впливають на процеси зміни фізико-хімічних і експлуатаційних показників палив при довгостроковому зберіганні, це:

- *покращення технологій зберігання та транспортування вуглеводневих палив.* Дослідження змін якості світлих нафтопродуктів допомагає виявити ключові фактори, що впливають на їх стабільність під час зберігання. Це може призвести до розробки нових, ефективніших методів зберігання моторних палив, що мінімізує втрати їх якості.

- *покращення ефективності використання світлих нафтопродуктів.* Визначення та мінімізація факторів, що призводять до погіршення якості нафтопродуктів, допомагає підвищити експлуатаційну надійність обладнання та термін їх служби.

Таким чином у представленій роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання підтримання якості світлих нафтопродуктів в умовах довготривалого зберігання на підприємствах нафтопродуктозабезпечення.

Основні теоретичні положення, сформульовані висновки та практичні рекомендації дисертаційного дослідження використано:

Національним авіаційним університетом у навчальному процесі при підготовці та проведенні лекційних і лабораторних робіт із навчальних дисциплін «Технології модифікації та оптимізації складу й експлуатаційних властивостей альтернативних моторних палив», «Альтернативні паливно-мастильні матеріали», «Технологічне обладнання паливо-заправних комплексів», «Мікробіологічне ураження альтернативних моторних палив та паливних систем» (акти про впровадження від 08.12.202, 22.10.2024).

Особистий внесок здобувача. Автор дисертаційної роботи самостійно: проаналізувала результати досліджень якості палива дизельного, бензину автомобільного та палива для реактивних двигунів; виконала та проаналізувала експериментальні дослідження та приймала безпосередню участь в постановці завдань, формулюванні і обґрунтуванні мети та завдань, опрацюванні та узагальненні одержаних результатів, формулюванні основних теоретичних положень і висновків.

Апробація результатів роботи. Основні теоретичні положення та висновки дисертації були апробовані на конференціях за міжнародною участю і всеукраїнських науково-практичних та наукових конференціях: «Polit. Challenges of science today» (Kyiv, 2020); «Новітні досягнення біотехнології (Київ, 2020); «AVIATION IN THE XXI-st CENTURY» – «Safety in Aviation and Space Technologies» (Kyiv, 2020); «AVIATION IN THE XXI-st CENTURY» – «Safety in Aviation and Space Technologies» (Kyiv, 2020); «Новітні досягнення біотехнології» (Київ, 2021); «Хімія та сучасні технології» (Дніпро, 2021); MDPC Publishing (Germany, 2022); “AVIATION IN THE XXI-st CENTURY” – “Safety in Aviation and Space Technologies” (Kyiv, 2022); «Інноваційні хімічні технології та інженерія» (Київ, 2023); «ПОЛІТ. Сучасні проблеми науки» (Київ, 2024); «Інноваційні хімічні технології та інженерія» (Київ, 2024); «Потенційні шляхи розвитку науки з питань довготривалого зберігання матеріально-технічних ресурсів» (Київ, 2024).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковано у 18 наукових працях, із них 5 статей у наукових фахових виданнях України; 1 публікацію, включено до міжнародної наукометричної бази Scopus, а також 13 тез доповідей на наукових конференціях різного рівня.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації становить 164 сторінки, із них – 125 основного тексту. Робота містить 72 рисунки, 16 таблиць, 2 додатків. Список використаних джерел налічує 126 найменувань.

РОЗДІЛ 1. ПРОБЛЕМИ ДОВГОТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ СВІТЛИХ НАФТОПРОДУКТІВ

1.1. Палива, призначені для створення мінімальних запасів нафти та нафтопродуктів та вимоги до них

Україна взяла на себе зобов'язання по створенню мінімальних запасів нафти і нафтопродуктів (далі МЗНН) ще у 2014. До цього її зобов'язують договір про заснування Енергетичного Співтовариства, який є частиною політики Євросоюзу (ЄС) стосовно експортного законодавства і директива 2009/119/ЄС. У відповідність з цими документами, всі країни ЄС, і Україна в тому числі, повинні сформувати МЗНН у встановлений період [1].

Варто зазначити, що дане Зобов'язання держав-членів створювати та підтримувати мінімальний запас нафти та нафтопродуктів дозволить забезпечити безпеку постачання нафтових ресурсів до ЄС та України. Через важливість нафти в енергетичному балансі ЄС, сильну зовнішню залежність країн у постачанні нафтопродуктів і геополітичну невизначеність у багатьох регіонах-виробниках життєво важливо гарантувати споживачам постійний доступ до нафтопродуктів [1 - 3].

Наша держава ще з 2005 року намагається сформувати мінімальні запаси нафти та нафтопродуктів, приймаючи різні рішення, а 21 листопада 2023 Верховною Радою прийнято Закон «Про мінімальні запаси нафти та нафтопродуктів», він вводиться в дію через 12 місяців - 24 грудня 2024. Метою Закону є підвищення рівня енергетичної безпеки України та безперебійного постачання нафти та нафтопродуктів у разі виникнення кризової ситуації на ринку. Дана ініціатива передбачає формування мінімальних запасів нафти та нафтопродуктів в обсязі до 90 днів середньодобового чистого імпорту або 61 дня середньодобового внутрішнього споживання на випадок виникнення кризових ситуацій на ринку пального. Структура МЗНН складається з 30% нафти та 70%

нафтопродуктів, з яких 30% це бензин та скраплений газ і 70% дизельні палива [4].

Як відомо, бензин автомобільний та паливо дизельне, що знаходяться у вільному обігу, мають задовольняти вимогам «Технічного регламенту щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, суднових та котельних палив» ДСТУ 7687:2015 «Бензини автомобільні Євро. Технічні умови», ДСТУ 7688:2015 «Паливо дизельне Євро. Технічні умови. Зміна № 1» [5 - 7]. Згідно цих нормативних документів термін зберігання бензину автомобільного 6 місяців, а дизпалива – 1 рік.

Однак, тривале зберігання цих палив зумовлює необхідність відповідності також вимогам ДСТУ 8704:2017 «Бензини автомобільні довготривалого зберігання. Технічні умови» та відповідно ДСТУ 8705:2017 «Паливо дизельне довготривалого зберігання» [8, 9]. Ці стандарти поширюються на палива, які виробляють та/або постачають для зберігання на підприємства державного матеріального резерву, а також для потреб оборони держави та на експорт. Гарантійний термін зберігання зазначений у цих документах три роки з моменту виробництва.

Окрім того, є важливим питання зберігання в належній якості також і палив для повітряного транспорту. В Україні використовують паливо Джет А-1, що має відповідати вимогам ДСТУ 4796:2007 «Паливо авіаційне для газотурбінних двигунів Джет А-1. Технічні умови» згідно якого гарантійний термін зберігання палива 5 років з моменту виготовлення а також Технічному регламенту щодо вимог до авіаційного бензину та палив для реактивних двигунів [10, 11].

Так 4 червня 2024 року Верховна Рада прийняла у другому читанні законопроект №3356-д «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо обов'язковості використання рідкого біопалива (біокомпонентів) у галузі транспорту». Відповідно до цього закону 1 травня 2025 року має бути обов'язковим біопаливний компонент в обсязі не менше 5%. Це не стосується бензинів з октановим числом 98 і вище та бензинів, що поставляються для потреб Міністерства оборони, Державного резерву.

Окрім того, в світі існує тенденція застосування сумішевих палив для газотурбінних двигунів. Згідно ASTM D1655 реактивне паливо з нетрадиційних джерел сировини поділяється на декілька видів [12]:

SASOL. Напівсинтетичне паливо SASOL, суміш традиційного гасу та синтетичного ізопарафінового гасу, як самостійно, так і в поєднанні з важкою нафтою SASOL №1. Також повністю синтетичне паливо SASOL.

Сумісна переробка. Для виробництва реактивного палива дозволено сумісну переробку моно-, ди- та тригліцеридів, вільних жирних кислот і естерів жирних кислот з отриманням сумісно гідропереробленого синтетичного гасу, об'ємна частка яких повинна становити не більше ніж 5 %, а решту повинні складати вуглеводні традиційного (нафтового) походження.

Для виробництва реактивного палива дозволено сумісну переробку вуглеводнів, отриманих з гідроперероблених моно-, ди- та тригліцеридів, вільних жирних кислот і естерів жирних кислот, з отриманням сумісно переробленого синтетичного гасу. Готовий продукт повинен містити не більше ніж 10 % за об'ємом синтетичних вуглеводнів у будь-якій партії реактивного палива.

Також дозволено сумісну переробку вуглеводнів, отриманих із синтез-газу у процесі Фішера-Тропша із залізним або кобальтовим каталізатором, з вуглеводнями традиційного походження, з отриманням синтетичного гасу, визнано прийнятною для виробництва реактивного палива. Об'ємна частка вуглеводнів Фішера-Тропша повинна становити не більше ніж 5 %, а решту повинні складати вуглеводні традиційного (нафтового) походження.

Оскільки безперебійне функціонування паливо-енергетичного сектору потребує забезпечення збереження якості як традиційних так і біопалив та екологічної безпеки під час їх транспортування, зберігання та видачі, дослідження зміни якості палива при більш тривалому зберіганні є досить актуальною науково-прикладною задачею.

1.2. Вимоги до якості вуглеводневих палив, що призначенні для довготривалого зберігання

Основним завданням довготривалого зберігання нафтопродуктів, зокрема дизельного палива та автомобільного бензину, є збереження їхніх якісних характеристик та забезпечення придатності для використання після тривалого зберігання, тобто збереження їхньої кондиційності. Це стосується не лише дизельного палива, а й бензину автомобільного. Зважаючи на різні вимоги до фізико-хімічних показників цих видів палива, слід зосередити увагу на актуальних проблемах, які виникають при зміні якості палива під час його експлуатації.

Як уже відомо, бензин автомобільний, паливо дизельне та палива, що мають в складі біокомпоненти, які знаходяться у вільному обігу та використовуються для потреб Міноборони та Держрезерву нашої країни мають задовольняти вимогам «Технічного регламенту щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, суднових та котельних палив», та нормативних документів таких як: ДСТУ 7687, ДСТУ 7688, ДСТУ 8704, ДСТУ 8705 [6 - 9].

Паливо Джет А-1 відповідно ДСТУ 4796:2007 «Паливо авіаційне для газотурбінних двигунів Джет А-1. Технічні умови» має гарантійний термін зберігання палива 5 років з моменту виготовлення, тому його зберігання також потребує додаткового вивчення [10].

Слід зауважити що у національних стандартах ДСТУ 7687:2015 та ДСТУ 7688:2015 не враховано вимоги до бензинів та дизельного палива щодо їх тривалого зберігання і вони мають певні відмінності від чинних ДСТУ 8705:2017 та ДСТУ 8704:2017. Тому в даній роботі було проаналізовано та систематизовано основні відмінності між вимогами до бензинів звичайного і тривалого зберігання (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Відмінності між вимогами до бензинів згідно ДСТУ 8704:2017 та ДСТУ 7687:2015

№	ДСТУ 8704:2017 «Бензини автомобільні довготривалого зберігання. Технічні умови»	ДСТУ 7687:2015 «Бензини автомобільні Євро. Технічні умови»
1.	Заборонено додавання до бензинів (біо)етанолу або інших кисневмісних добавок, а також октанопідвищуючих, антикорозійних, мийних тощо присадок або пакетів присадок (крім антиокиснювальних). Інформація про відсутність в бензині присадок або пакетів присадок (та про наявність антиокиснювальної присадки) обов'язково вказується у документі про якість (паспорті якості).	Для покращення експлуатаційних показників дозволено введення добавок (присадок), які не впливають негативно на екологічні, енергетичні та економічні показники двигунів, що підтверджено результатами випробувань, та допущені до застосування в установленому порядку.
2.	Залежно від октанового числа за дослідним методом встановлено такі марки бензинів: А-80-ДЗ, А-92-ДЗ.	Залежно від октанового числа за дослідним методом встановлено такі марки бензинів: А-80, А-92, А-95.
3.	Бензини за фракційним складом більш важкі, кінець кипіння не перевищує 205 °С.	Кінець кипіння не перевищує 210 °С.
4.	Тиск насиченої пари не перевищує 66,7 кПа.	Тиск насиченої пари в межах 45 - 80 кПа.
5.	Стабільність до окиснення (індукційний період) не менше ніж 1200 хв.	Стабільність до окиснення (індукційний період) не менше ніж 360 хв.
6.	Концентрація фактичних смол не перевищує 3,0 мг на 100 см ³ бензину.	Концентрація фактичних смол не перевищує 5,0 мг на 100 см ³ бензину
7.	Об'ємна частка олефінових вуглеводнів не перевищує 13 %.	Об'ємна частка олефінових вуглеводнів не перевищує 18 %.
8.	Встановлена норма «Відсутність» для показників «Масова частка кисню» та «Масова частка органічних кисневмісних сполук».	Масова частка кисню 2,7 %, Масова частка органічних кисневмісних сполук не перевищує 10%
9.	Гарантійний термін зберігання бензинів – 3 роки від дати виготовлення.	Гарантійний термін зберігання бензинів – 6 місяців від дати виготовлення.

Примітка. Складено автором за даними ДСТУ 8704:2017 та ДСТУ 7687:2015.

Аналіз вимог відповідно до нормативних документів показує, що для бензину автомобільного довготривалого зберігання вимоги більш жорсткіші ніж для бензину автомобільного, що постачається на ринок. Так за ДСТУ 8704: 2017

індукційний період не менше ніж 1200 хв, тоді як за ДСТУ 7687:2015 не менше ніж 360 хв. Концентрація фактичних смол не перевищує 3,0 мг на 100 см³ бензину за ДСТУ 8704: 2017, тоді як за ДСТУ 7687:2015 - 5,0 мг на 100 см³ бензину. Об'ємна частка олефінових вуглеводнів не перевищує 13 % для бензину довготривалого зберігання і 18% за ДСТУ 7687:2015. Відповідно ДСТУ 7687:2015 масова частка органічних кисневмісних сполук не перевищує 10%, а масова частка кисню 2,7 %, а згідно ДСТУ 8704: 2017 нормою є відсутність для цих показників (рис.1.1).

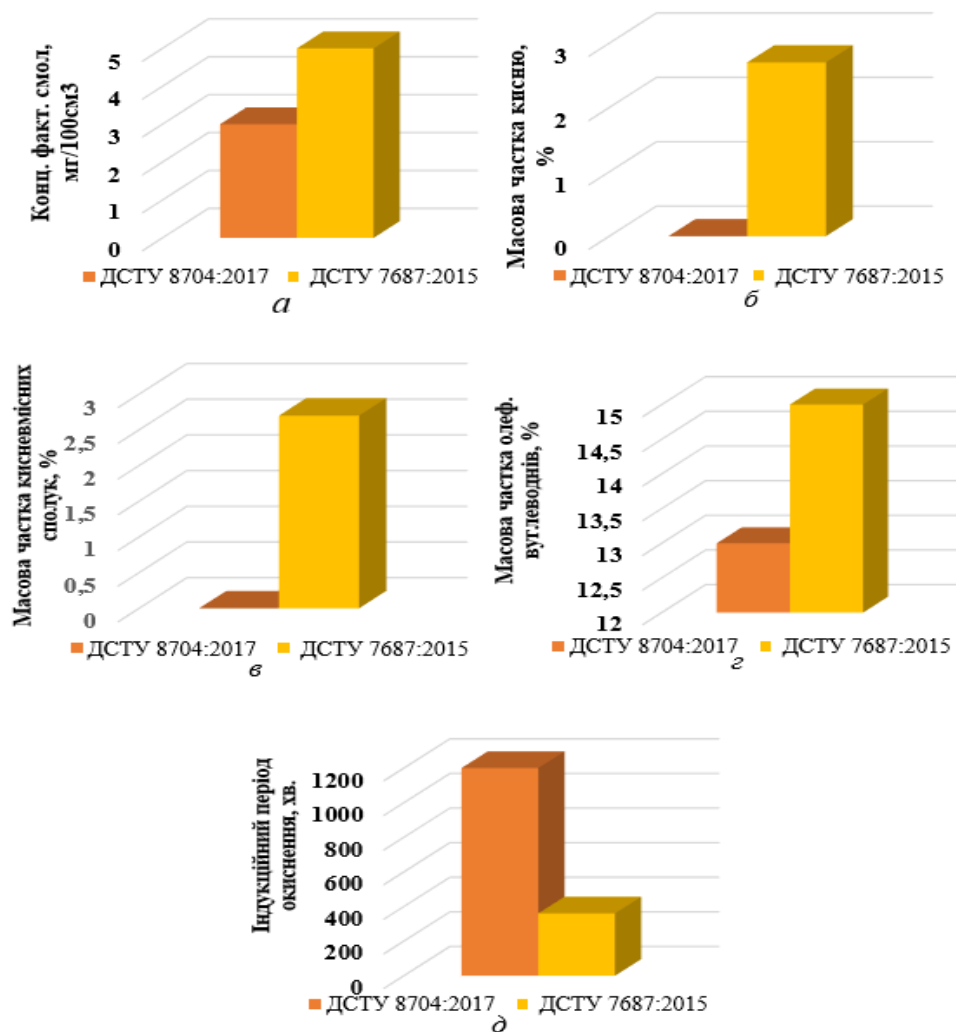


Рис. 1. 1. Відмінності між вимогами до бензинів згідно ДСТУ 8704:2017 та ДСТУ 7687:2015:

а - концентрація фактичних смол; *б* - масова частка кисню; *в*- масова частка органічних кисневмісних сполук; *г* - об'ємна частка олефінових вуглеводнів; *д*- індукційний період.

Примітка. Побудовано автором за даними ДСТУ 8704:2017 та ДСТУ 7687:2015.

До бензинів довготривалого зберігання заборонено додавання присадок, тоді як до бензинів за ДСТУ 7687:2015 дозволено. Також значним є те, що гарантійний термін зберігання за ДСТУ 8704:2017 3 роки з моменту виготовлення, а за ДСТУ 7687:2015 тільки 6 місяців.

Що стосується відмінностей між дизельними паливами слід зазначити, що роботі було проаналізовано та систематизовано основні відмінності між вимогами до бензинів звичайного і тривалого зберігання (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Відмінності між вимогами до палив дизельних згідно ДСТУ 8705:2017 та ДСТУ 7688:2015

№ п/п	ДСТУ 8705:2017 «Паливо дизельне довготривалого зберігання. Технічні умови»	ДСТУ 7688:2015 «Паливо дизельне Євро. Технічні умови»
1.	Дизельне паливо не повинне містити біокомпоненти: метилові/етилові естери жирних кислот, а також цетанопідвищуючі, протизносні, депресорно-диспергуючі, мийні та інші присадки або пакети присадок.	Дозволено додавання до дизельного палива біокомпонентів: метилових/етилових естерів жирних кислот.
2.	Залежно від вмісту сірки встановлено дві марки палива дизельного: ДП-ДЗ виду I, ДП-ДЗ виду II.	Залежно від кліматичних умов встановлено такі марки палива дизельного: літнє, зимове, арктичне.
3.	За вмістом сірки: вид I – вміст сірки не більше ніж 10 мг/кг; вид II – вміст сірки від 500 мг/кг до 2000 мг/кг.	Вміст сірки, мг, не більше ніж 10 мг/кг
4.	Цетанове число не менше ніж 45.	Цетанове число палива дизельного арктичного не менше ніж 48
5.	Гранична температура фільтрованості не вище ніж мінус 30 °С.	Гранична температура фільтрованості палива дизельного арктичного не вище ніж мінус 30 °С
6.	Встановлена норма «Відсутність» для показника «Об'ємна частка метилових/етилових естерів жирних кислот».	Об'ємна частка метилових/етилових естерів жирних кислот не більше ніж 7%
7.	Відсутній показник «Змашувальна здатність»	Змашувальна здатність не більше 460 мкм
8.	Гарантійний термін зберігання дизельного палива – 3 роки від дати виготовлення.	Гарантійний термін зберігання дизельного палива – 1 рік від дати виготовлення.

Примітка. Складено автором за даними ДСТУ 8705:2017 та ДСТУ 7688:2015.

Порівняльний аналіз вимог до палив дизельних за ДСТУ 8705:2017 та ДСТУ 7688:2015 (зокрема, арктичне) показав відмінності у наступних деяких показниках, зокрема цетанове число за ДСТУ 8705:2017 не менше ніж 45, тоді як за ДСТУ 7688:2015 не менше ніж 48; за ДСТУ 8705:2017 для показника «Об'ємна частка метилових/етилових естерів жирних кислот» (МЕЖК, ЕЕЖК) встановлена норма «Відсутність», а за ДСТУ 7688:2015 їх вміст не більше 7 % (рис.1.2). Дизельне паливо довготривалого зберігання з низьким вмістом сірки (вид І) без вмісту присадок не буде витримувати норму для показника змащувальної здатності, тому він відсутній у ДСТУ 8705:2017, а високий вміст сірки у дизельному паливі виду ІІ гарантує задовільні мастильні властивості палива і без вмісту протизносних присадок, які не дозволено додавати до палива тривалого зберігання. Відповідно до ДСТУ 7688:2015 змащувальна здатність має бути не більше 460 мкм. Гарантійний термін зберігання за ДСТУ 8705:2017 3 роки з моменту виготовлення, а за ДСТУ 7688:2015 тільки 1 рік.

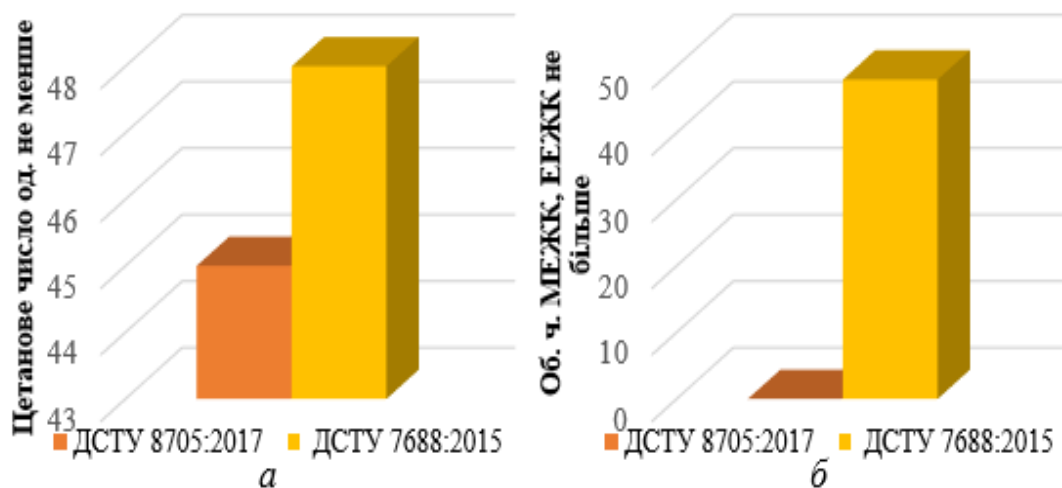


Рис. 1.2. Відмінності між вимогами до палив дизельних згідно ДСТУ 8705:2017 та ДСТУ 7688:2015: *а* – цетанове число; *б* - об'ємна частка метилових/етилових естерів жирних кислот.

Примітка. Побудовано автором за даними ДСТУ 8705:2017 та ДСТУ 7688:2015.

Ефективність зберігання та використання нафтопродуктів значною мірою пов'язана з глибиною вивчення та можливостями регулювання фізико-хімічних

процесів, що відбуваються в системах подачі палива, в камерах згоряння, а також при їх взаємодії з конструкційними матеріалами і зовнішнім середовищем в період їх зберігання та транспортування. Особливо важливим є те, що термін зберігання палива для споживачів на ринку є значно меншим (1 рік) ніж для палива, яке необхідно зберігати протягом трьох років.

Саме тому, враховуючи вищезазначене, є актуальним подальші дослідження динаміки змін якості палив, що знаходяться на довготривалому зберіганні, для унеможливлення виходу останніх за межі кондиції.

1.3. Зміна якості світлих нафтопродуктів в експлуатаційних умовах

Дослідження змін якості палива під час експлуатації тривають вже понад 20 років, але ця проблема залишається актуальною і досі. Вітчизняна наука також представлена авторами які займаються цим питанням: Матвєєва О.Л., Бойченко С.В., Столінеи С. Л Черняк Л.М., Іванов С. В., Федорович Л. А., Ларін О. М., Липовий В. О., Удянський М. М., та інші. Вагомий внесок зробили зарубіжні науковці такі як: Jeon, Cheol-Hwan, Cheon-Kyu Park, Byung-Ki Na, Jae-Kon Kim, Cai G., Liu Z., Zhang L., Shi Q., Zhao S., Xu C., Kumar, T., Mohsin, R., Abdul Ghafir, M. F., Kumar, I., & Wash, A. M., Owczuk M., Kołodziejczyk K., Borecki M., Gęca M., Korwin-Pawłowski M.L., Pru. та інші.

Згідно з результатами досліджень [13 - 17], зміни якості палива під час зберігання зумовлені фізико-хімічними та біологічними процесами, такими як випаровування, забруднення механічними домішками, обводнення, біодеградація вуглеводнів, корозія з утворенням нерозчинних продуктів, а також окиснення, що призводить до утворення смол та осадів. Ці процеси відбуваються з різною швидкістю і залежать від вуглеводневого складу палива, рівня заповнення резервуарів, запиленості та вологості повітря, наявності присадок, а також від технології зберігання.

Дослідження авторів [18] свідчать, що сировинна база для виробництва палив, зокрема бензинів, характеризується збільшеним вмістом продуктів

каталітичних процесів переробки нафти. Це призводить до підвищення вмісту легко киплячих компонентів та зниження початкової температури кипіння. Випаровування впливає, у свою чергу, на октанове число, призводить до зниження тиску насичених парів, збільшення густини та в'язкості, обтяження фракційного складу.

Аналіз наукових джерел [19 - 21] показує, що хімічна стабільність нафтопродуктів визначається швидкістю окиснювальних реакцій і залежить від умов процесу та структури вуглеводнів. Оскільки під час зберігання в паливах відбуваються процеси високомолекулярного окиснення, це може призвести до порушення їх хімічної стабільності.

Також, за даними авторів [22 - 25], процеси окиснення вуглеводневого палива призводять до погіршення його властивостей, зокрема збільшення концентрації смол, зниження вмісту олефінів і випаровування легших фракцій, що в цілому впливає на зміну якості продукту. Варто зазначити, що окиснення веде до зниження октанового числа та підвищення схильності палива до нагароутворення.

Окиснювальні процеси і смолоутворення під час зберігання характеризуються такими показниками, як індукційний період та вміст фактичних смол [23 - 25]. Також відомо, що при зберіганні найбільш нестабільними є показники, які визначають чистоту палива, зокрема вміст механічних домішок і води.

Палива, призначені для формування довгострокового запасу, повинні мати спеціальні характеристики такі як:

- *зменшення втрат від випаровування*: в таких паливах значення верхньої межі тиску насиченої пари має бути нижчим, а за фракційним складом вони мають бути більш важкими.
- *зменшення процесів окиснення та осмолення*: вміст ненасичених вуглеводнів має бути меншим, а вміст оксигенатних сполук (етилового, ізопропілового, ізобутилового, третбутилового спиртів, етерів тощо), які спричиняють швидке окиснення, взагалі повинен бути відсутнім. Крім того,

бензини довготривалого зберігання повинні характеризуватися значно вищим значенням індукційного періоду окиснення.

Дослідження авторів [13, 15, 16] свідчить про те що зміна якості палива під час його зберігання спричинена фізико-хімічними та біологічними процесами, такими як випаровування, забруднення механічними домішками і обводнення, біодеградація вуглеводнів, корозія з утворенням нерозчинних продуктів, а також окиснення, що призводить до виникнення смол і осадів. Ці процеси відбуваються з різною інтенсивністю і залежать від складу вуглеводнів, рівня заповнення резервуарів, запиленості та вологості повітря, вмісту додатків, а також технології зберігання. Розглянемо ці процеси більш детально.

Випаровування. Варто зауважити, що найбільша частка втрат палив під час їх транспортування, зберігання та заправлення пов'язана з випаровуванням. Ці втрати особливо характерні для бензинів, які мають високу випаровуваність, що характеризуються тиском насиченої пари (наприклад для бензину А92 ДЗ тиск насиченої пари становить 45-80 одиниць, а для бензину А92 тиск насиченої пари не має перевищувати 66,7 кПа). Питомі втрати вуглеводнів через випаровування на нафтопереробних заводах у різних країнах коливаються в межах 1,1–1,5 кг на 1 тону нафтопродукту [26].

Світлі нафтопродукти при зберіганні у вертикальних резервуарах можуть втрачати цінні легкі фракції при вентиляції газового простору, «малих» та «великих диханнях». Випаровування внаслідок вентиляції газового простору пов'язане з порушенням герметизації резервуарів, «великі дихання» відбуваються внаслідок високої оборотності резервуарів а «малі» внаслідок добових температурних коливань.

Об'єм втрат нафтопродуктів під час зберігання в резервуарних парках наведено у на рис.1.3 [14].

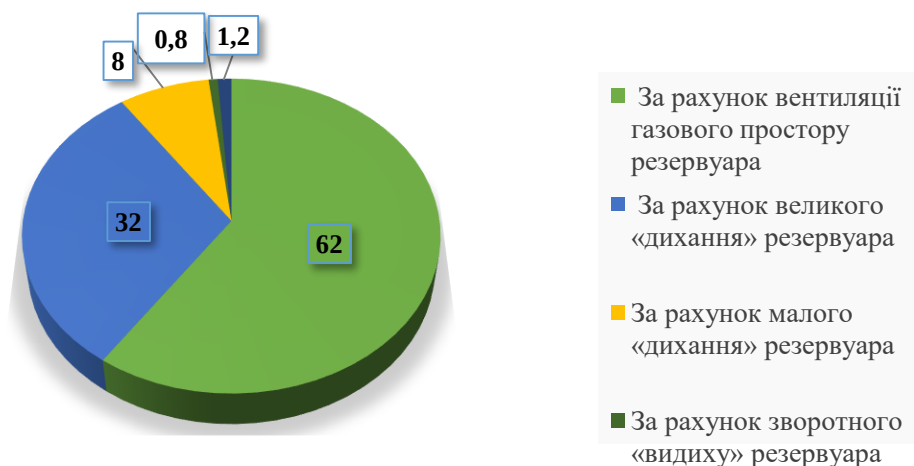


Рис. 1.3. Втрати нафтопродуктів при зберіганні

Примітка: Побудовано автором за матеріалами Транспортна екологія: навчальний посібник. Запорожець О.І., С.В. Бойченко, О.Л. Матвєєва, С.Й. Шаманський, Т.І. Дмитруха, С.М. Маджд. – К.:НАУ, 2017. - 507 с.

При тривалому зберіганні за умов коли технологія зберігання не порушена та паливо знаходиться тривалий час в одному резервуарі основною проблемою стає випаровування внаслідок «малих дихань». Інтенсивність останніх залежить від рівня наповнення нафтопродуктом, кольору та місця розташування відносно сонця (табл. 1.3-1.4 та рис.1.3) [27].

Таблиця 1.3

Втрати нафтопродуктів в наземних резервуарах із стаціонарним покриттям
(т/год)

Ємність Резервуарів, м³	Північна зона			Південна зона		
	Оборотність резервуарів, м³/рік					
	12	48	96	12	48	96
400	2,9	9,4	15,9	4,8	12,4	22,6
1000	6,7	19,4	36,4	11,5	29,4	58,4
2000	12,6	35,5	66,0	22,2	55,6	100,3
3000	20,5	57,9	107,0	34,8	88,3	159,7
5000	28,4	80,8	150,6	60,4	126,2	227,4

Джерело: Транспортна екологія: навчальний посібник. Запорожець О.І., С.В. Бойченко, О.Л. Матвєєва, С.Й. Шаманський, Т.І. Дмитруха, С.М. Маджд. – К.:НАУ, 2017. - 507 с.

Таблиця 1.4

Відбиваюча здатність поверхні резервуарів залежно від кольору покриттів резервуарів

Колір покриття резервуара	Відбиття сонячних променів, %	Колір покриття резервуара	Відбиття сонячних променів, %
Дзеркальний	100	Алюмінієвий	35-67,0
Білий	90	Світло-сірий	57,0
Світло-кремовий	88,5	Сірий	47,0
Світло-рожевий	86,5	Некрашений	10,0
Блакитний	85,0	Чорний	0
Світло-зелений	78,5		

Джерело: Транспортна екологія: навчальний посібник / Запорожець О.І., С.В. Бойченко, О.Л. Матвєєва, С.Й. Шаманський, Т.І. Дмитруха, С.М. Маджд. – К.:НАУ, 2017. - 507 с.

Найкращим для покриттів є дзеркальне з відбиваючою здатністю сонячних променів 100%, а найменш оптимальним є чорний колір покриття, відбиваюча здатність якого 0%.

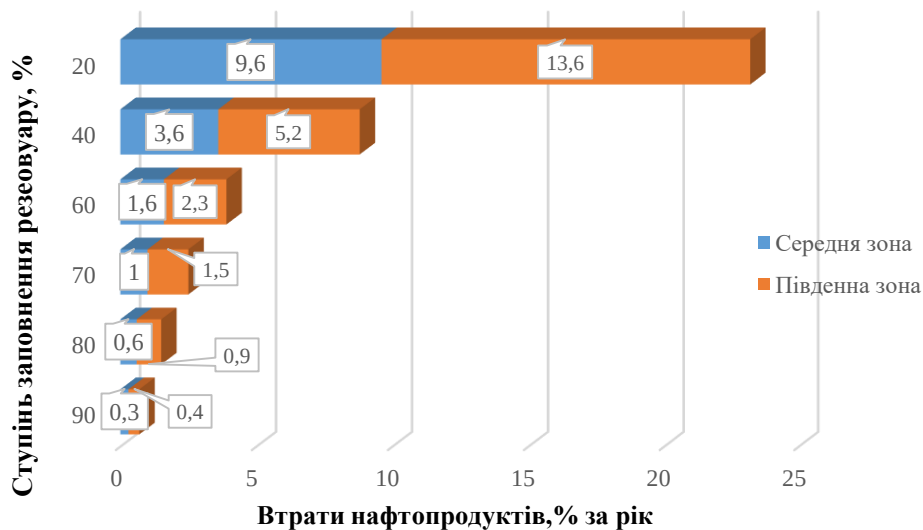


Рис.1. 4. Втрати нафтопродуктів за кліматичними зонами в залежності від ступеня заповнення резервуару (у % за рік)

Джерело: Петряшин Л.Ф., Лисяний Г.М., Тарасов Б.Г. Охорона природи у нафтовій та газовій промисловості. Львів, Вища шк., 1984. – 187 с.

Стосовно втрат нафтопродуктів залежно від ступеню заповнення, то дані свідчать про те, що і для середньої і для південної зон втрати найменші при ступеню заповнення %. І відповідно втрати збільшують для обох зон при зменшенні заповненості.

Варто зауважити, що випаровування стосується не лише бензинів, а також дизельних палив та реактивних. Є норми природніх втрат під час зберігання внаслідок процесів випаровування залежно від періоду року [28].

При вирішенні питання зберігання палив необхідно враховувати також і те, що випаровуваність є однією з ключових характеристик палива та впливає на його горіння, повноту згоряння, утворення нагару в камері згоряння двигуна, безперебійну роботу паливних насосів, та якість в цілому.

Авторами Бойченко С. В., Іванов С. В., Федорович Л. А., Черняк Л. М. [26] були проведені дослідження взаємозв'язку втрат від випаровування (рис.1.5) та проаналізовано вплив на показники якості палива (табл.1.5).

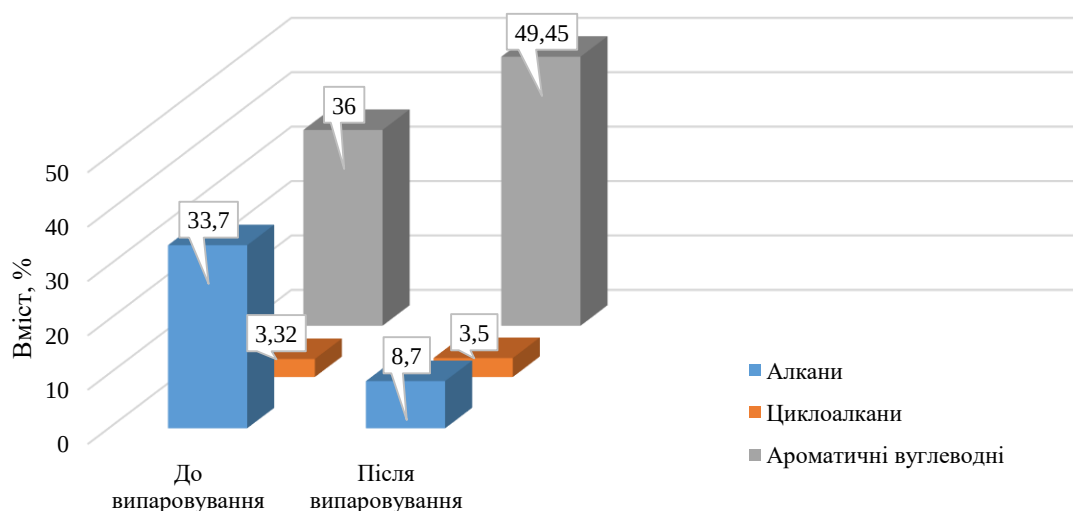


Рис. 1.5. Зміна групового складу бензину від випаровування

Примітка: Побудовано автором за даними: Бойченко С. В., Іванов С. В., Федорович Л. А., Черняк Л. М. Взаємозв'язок втрат від випаровування та кондиційності бензину. Вісник НАУ. №4. 2004. С. 151–154.

Отримані результати свідчать про активний перебіг процесу випаровування та зміну групового складу бензину при його зберіганні. Вміст алканів зменшився

на 25 %; вміст циклоalkanів збільшився на 0,18 % а ароматичних вуглеводнів на 13,45 %.

Отже, під час зберігання вуглеводневих палив, в першу чергу відбувається випаровування алканових вуглеводнів, деякі з яких, втрачаючи частину атомів, частково перетворюються на циклоалкани та ароматичні вуглеводні, тим самим підвищуючи їх вміст.

Таблиця 1.5

Зміна якісної характеристики автомобільного бензину під час дослідження втрат від випаровування

Показник	Фактичне значення бензину	
	До випаровування	Після випаровування
Фракційний склад:		
температура початку кипіння, °C;	38	43
10 % переганяється при температурі, °C;	60	71
50 % переганяється при температурі, °C;	112	117
90 % переганяється при температурі, °C;	166	168
температура кінця кипіння, °C	192	202
Температура спалаху, °C	-29	-22
Тиск насиченої пари, кПа	49	57,9
Октанове число за моторним методом	85	79
Сумарний вміст ароматичних вуглеводнів, %	36,0	49,45
Масова частка бензолу, %	2,9806	1,588
Густина, кг/м ³	750	760

Примітка: Складено автором за даними: Бойченко С. В., Іванов С. В., Федорович Л. А., Черняк Л. М. Взаємозв'язок втрат від випаровування та кондиційності бензину. Вісник НАУ. №4. 2004. С. 151–154.

Забруднення механічними домішками. Внаслідок постійних процесів утворення твердої фази, які включають надходження механічних домішок з атмосфери через дренажні системи, формування продуктів корозії технологічного обладнання та високомолекулярне окиснення вуглеводнів, при зберіганні пального в ємностях утворюються осади.

Так автори, Матвєєва О. Л., Столінець С. Л., у роботах [17, 29] показали дослідження впливу кількості твердої дисперсної фази (ТДФ) забруднень палив на процеси їх окиснення, зокрема на кількість осаду та вміст фактичних смол (рис. 1.6).

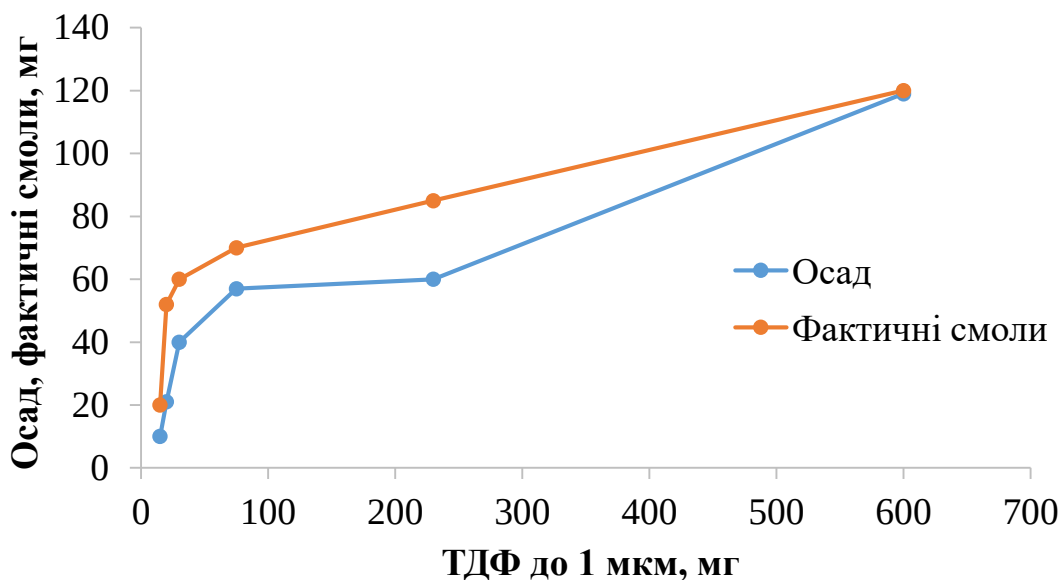


Рис. 1.6. Зміна маси осаду та фактичних смол від вмісту ТДФ

Примітка: Побудовано автором за даними: Матвєєва О. Л., Столінець С. Л. Проблеми чистоти вуглеводневих палив в процесі експлуатації // Проблеми техніки - 2004. - № 4. - С.71-76.

Проведений аналіз отриманих даних показує, що зі збільшенням маси твердої дисперсної фази маса осаду та масова частка фактичних смол під час визначення стабільності до окиснення збільшується з ± 15 мг при практично відсутності ТДФ до ± 120 мг при масі ТДФ ± 600 мг.

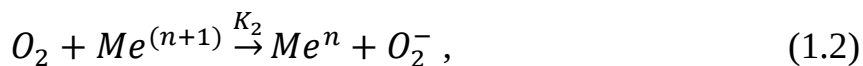
Таким чином, наведені результати вказують на те, що збільшення механічних домішок у паливах безсумнівно сприяє прискоренню процесів окиснення та збільшенню кількості нерозчинних осадів і фактичних смол, що може вивести паливо за межі кондиції.

Обводнення. Як свідчать дослідження [30, 31] паливо має гігроскопічні властивості і під час зберігання насичується водою, джерелом якої є повітря.

Фазові переходи залежать від швидкості розчинення води в паливі, що також пов'язано із зміною температури навколишнього середовища. Також

швидкість насичення нафтопродуктів вологою в резервуарах залежить від площі контакту палива з атмосферою. Проте з часом, під час тривалого зберігання, паливо досягає максимального рівня насичення водою, що призводить до виникнення вільної води, яка опускається на дно резервуара та осадів унаслідок фазових переходів молекулярної води. Відстійна вода зазвичай періодично зливається як частина донних відкладень. Вона є небажаним забрудненням, оскільки в її присутності значно посилюються корозійні та смолоутворюючі процеси в паливі. Таким чином, вода є шкідливим забрудненням, оскільки в її присутності різко зростає інтенсивність корозійних та смолоутворюючих процесів у паливі. Пришвидшений вплив води на смолоутворення пояснюється очищувальною її здатністю: смоли адсорбуються на межі розділу «вода-паливо», що призводить до зниження їх концентрації в об'ємі і паливо стає осмоленим. Такі нафтопродукти окиснюються з більшою швидкістю через відсутність інгібіторів.

Окиснення та смолоутворення. Надійність зберігання палива визначається також його здатністю до окиснення та смолоутворення. Рідкофазне окиснення палива є результатом взаємодії розчиненого кисню і найменш стабільних вуглеводнів і гетероорганічних сполук. Пришвидшуючими факторами в процесах смолоутворення при зберіганні є площа дотику палива з металом, співвідношення об'ємів палива і повітря, температура і наявність підтоварної (емульгованої) води. Пришвидшена дія металу на смолоутворення пояснюється його каталітичним впливом. Його вплив може проявлятися на стадіях ініціювання окиснення рідких вуглеводнів і розгалуження ланцюгів. Можливими реакціями ініціювання окиснення є реакції іонізації як молекул вуглеводнів, так і молекул кисню:



де K_1, K_2 – порядок реакцій;

Me – метал.

При цьому, в результаті адсорбції вуглеводнів метал є акцептором електронів, а у випадку адсорбції кисню той же метал – донором. Після реакції

іони десорбують в об'єм палива. Енергію E , необхідну для передачі електрона від молекули адсорбованого вуглеводню металу, можна визначити за формулою:

$$E = J - (\varphi_p \Delta\varphi_p) - e^2/4r - B_{\text{ін}}, \quad (1.3)$$

де J – потенціал іонізації молекули;

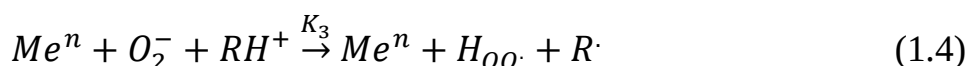
φ_p – робота електрона з поверхні металу;

$\Delta\varphi_p$ – зміна роботи виходу при адсорбції на металі кисню;

$e^2/4r$ – член, що враховує кулонівську взаємодію позитивних і негативних зарядів;

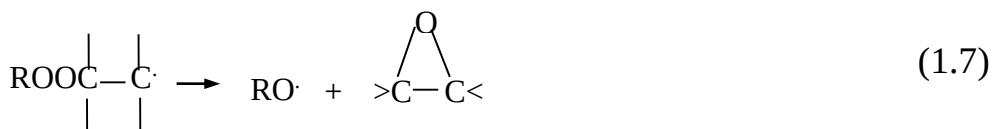
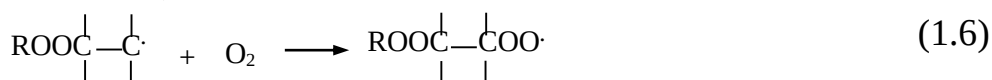
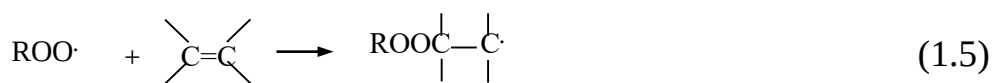
$B_{\text{ін}}$ – коефіцієнт, що враховує інші види взаємодій.

Подальше ініціювання взаємодії кисню з вуглеводнем призводить до виникнення активних центрів:

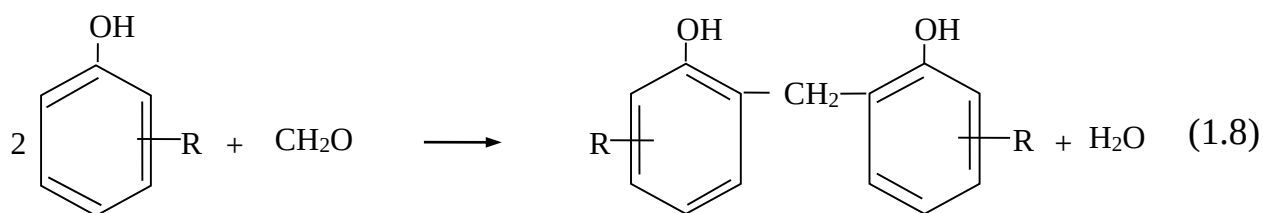


Утворенні вільні радикали ($H_{OO\cdot}$, $R\cdot$) дають початок ланцюговій реакції окиснення палива, що знаходиться на тривалому зберіганні.

Як свідчать результати досліджень [32], зміни в компонентному складі бензинів в таких значних межах вказують на варіації в кількості нестабільних вуглеводнів (циклодієнів, аліфатичних дієнів, моноолефінів, циклоолефінів, діолефінів), які схильні до реакцій утворення поліпероксидів, епоксидів:

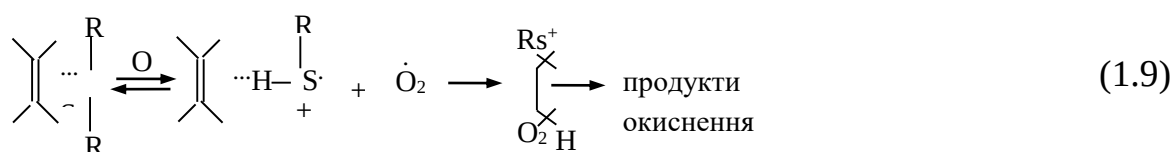


Вищезгадані реакції ненасичених вуглеводнів призводять до швидкого утворення осаду в бензинах, що містять вторинні компоненти. Поряд з реакціями радикально-ланцюгової природи, після утворення продуктів окиснення, у сумішах біциклічних вуглеводнів з алканами та цикланами протікають також реакції поліконденсації:

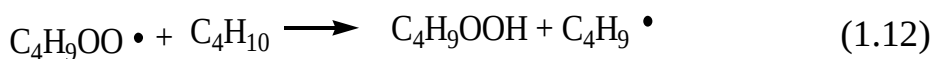
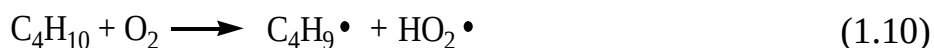


Під час окиснення циклічних вуглеводнів з довгими боковими ланцюгами в осаді переважають речовини кислого характеру, тоді як при окисненні циклічних вуглеводнів з короткими боковими ланцюгами збільшується кількість продуктів конденсації та ущільнення.

Під час окиснення алканових, цикланових вуглеводнів та їх сумішей з добавками сірчистих сполук утворюється нерозчинний осад. А накопичення продуктів, що містять кисень (гідропероксидів, спиртів, кислот, ефірів та інших), порівняно з вихідними вуглеводнями, зменшується:



Слід також зазначити що алканові та циклоалканові вуглеводні є основою вуглеводневих палив, тому їх властивості є визначальними. Окиснення бутану згідно [29] відбувається таким чином:



Подальше можливе окиснення представлено на рис.1.7.

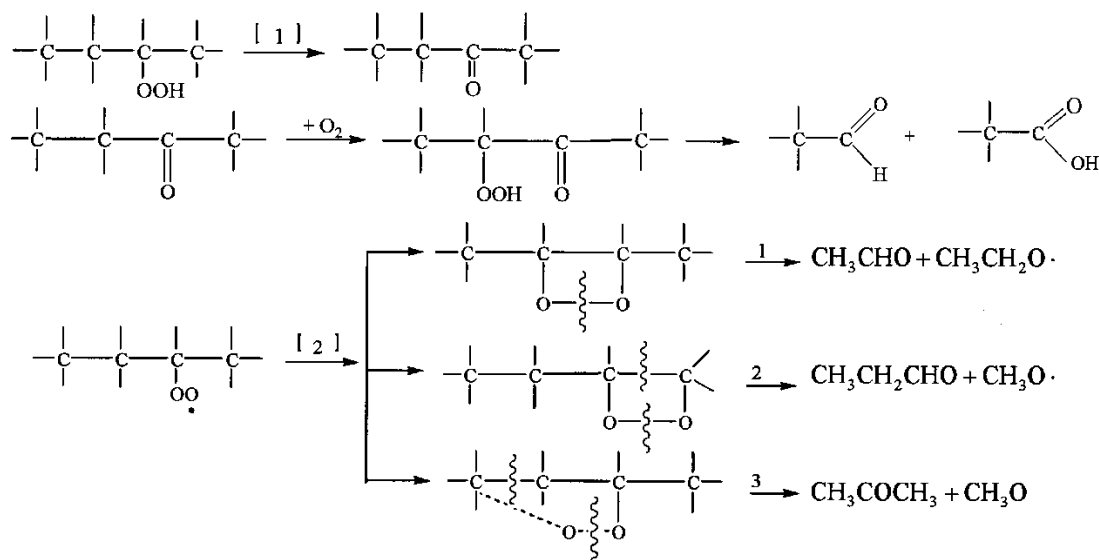


Рис. 1.7. Окиснення бутану

Джерело: Матвеева О.Л. Хіміко-термодинамічна характеристика окиснення вуглеводневих палив / О.Л. Матвеева, О.С. Тітова, Л.М. Курок // Вісник НАУ. 2004. С. 175–182.

Схильність циклоалканових вуглеводнів до окиснення збільшується зі зростанням їх молекулярної маси та довжини бокових ланцюгів. Наприклад, окиснення циклогексану, який є найбільш стійким серед представників цієї групи вуглеводнів, показує багатоваріантність можливих шляхів розвитку окиснювального процесу (рис. 1.8).

Незважаючи на те, що вміст ненасичених вуглеводнів у реактивних паливах є невеликим, саме він є основним показником хімічної стабільності палива. На відміну від парафінових та нафтинових вуглеводнів, ароматичні вуглеводні мають вищу реакційну здатність, а їх окиснення також має теж кілька можливих шляхів.

Таким чином, загальною характеристикою процесів окиснення для всіх груп вуглеводнів, що входять до складу палива, є їх багатоваріантність, що значно ускладнює визначення конкретних продуктів окиснювальних реакцій для досліджуваного вуглеводневого палива, та способи боротьби з ними.

життєвого циклу поступово погіршується. Таким чином, питання довготривалого зберігання палив є актуальним і потребує ґрунтовних наукових досліджень та вирішень.

1.4. Мікробіологічне ураження вуглеводневих палив

Вагомою і невирішеною сучасною проблемою при тривалому зберіганні палив є його мікробіологічне ураження та корозія, яка спричинена діяльністю мікробів. Дослідженню та вирішенню проблем мікробіологічного ураження палив присвячено роботи вчених багатьох країн світу [14 -30]: Шевченко О.Б. (методи визначення мікробіологічного забруднення метилових ефірів жирних кислот та сумішевих дизельних палив), Бойченко С. В.(біоураження палив та механізм деструкції вуглеводнів, систематизація і класифікація методів оцінки біологічного враження нафтопродуктів); Матвєєва О.Л. (мікробіологічне забруднення моторних палив та біодеградація), Шкільнюк І.О. (мікробіологічне ураження, біодеструкція та зміна властивостей палив), Думанська Т.У. (біологічні властивості бактерій - деструкторів вуглеводнів нафт), Полутренко М. С. (мікробіологічна корозія підземних металокопструкцій), Hill Edward та Hill Graham (мікробне забруднення та пов'язана з ним корозія в паливі під час зберігання, розповсюдження та використання), Aruliah Rajasekar та Yen-Peng Ting (інгібування біокорозії алюмінієвого аеронавігаційного сплаву 2024 провідним драбиновим полімерним полі(о-фенілендіаміном) тощо.

Найбільше уваги до проблем мікробіологічного ураження палив приділяють комерційні авіакомпанії, підприємства авіапаливозабезпечення, нафтобази та постачальники палива оскільки це може призвести до зниження безпеки польотів а в окремих випадках до відбракування палива. Саме галузеві асоціації, такі як ICAO (Міжнародна організація цивільної авіації (International Civil Aviation Organization)), IATA (Міжнародна асоціація повітряного транспорту (International Air Transport Association)) та JIG ((Спільна інспекційна група (Joint

Inspection Group), активно шукають рішення для того щоб мінімізувати наслідки діяльності мікроорганізмів.

Було розроблено наступні галузеві настанови [71 - 76]:

- Керівний матеріал щодо мікробіологічного забруднення паливних баків літаків (Guidance Material on Microbiological Contamination in Aircraft Fuel Tanks).
- ASTM D6469-20 Standard Guide for Microbial Contamination in Fuels and Fuel Systems.
- SAE AS 6401 Storage, Handling and Distribution of Jet Fuels at Airports.
- JIG 1 Standard. Aviation Fuel Quality Controls and Operating Standards for Into-Plane Fuelling Services.
- JIG 2 Standard. Aviation Fuel Quality Controls and Operating Standards for Airport Depots and Hydrants.
- API RP 1595:2012(R2019) Current Design, Construction, Operation, Maintenance, and Inspection of Aviation Pre-Airfield Storage Terminals, 2nd Edition.

Варто зазначити, що особливої актуальності ця проблема набула останні 10 років і спричинила неабиякий інтерес у багатьох дослідників світу. Основними проблемами, пов'язаними з мікробіологічним забрудненням вуглеводнів, є мікробіологічна корозія та порушення працездатності паливної системи транспортних засобів (рис.1.9).



Рис. 1.9. Корозійне ураження паливних баків літаків

Джерело: IATA. Episode 2: Adapting to New Circumstances TCPC; Aircraft Disinfecting; Fuel Testing & Biocide. *MCC 2020 Webinar Series*.

Дані корозійні процеси сприяють утворенню біоплівки на поверхнях обладнання, що обмежує рух рідини через труби малого діаметра та призводить до передчасного відключення фільтрів (рис. 1.10.).



Рис. 1.10. Забруднення паливних фільтрів продуктами життєдіяльності мікроорганізмів

Примітка: Фото взято з: Fuel System Contamination & Starvation. August 2021. Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.duncanaviation.aero/intelligence/fuel-system-contamination-starvation>.

Розвиток та розмноження мікробів відбувається, коли паливо піддається впливу вологи, створюючи середовище для розмноження мікроорганізмів, таких як бактерії та грибки. Ці мікроорганізми призводять до утворення слизу та осаду (рис. 1.11). А продукти їх життєдіяльності можуть утворювати органічні кислоти, що сприяють корозії конструкційних матеріалів та погіршення якості палива.



Рис.1.11. Продукти життєдіяльності мікроорганізмів

Примітка: Фото: What is Microbial fuel contamination? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://conidia.com/what-is-microbial-fuel-contamination/>

В цілому, проблеми мікробіологічного ураження палива можна систематизувати наступним чином (рис.1.12):

Деструкція вуглеводнів. Мікроорганізми призводять до руйнування молекул вуглеводнів, що призводить до фізико-хімічних змін в паливі.

Зниження якості палива, підвищення його кислотності. Зміна вуглеводневого складу палива негативно впливає на його якість та стабільність.

Підвищене корозійне ураження технологічного обладнання. Мікроорганізми, біоплівки та продукти життєдіяльності мікроорганізмів спричинюють корозію металевих поверхонь, що призводить до пошкоджень обладнання.

Проблеми забивання продуктами метаболізму елементів технологічного обладнання. Продукти життєдіяльності палив можуть забивати фільтри та інші елементи технологічного обладнання.

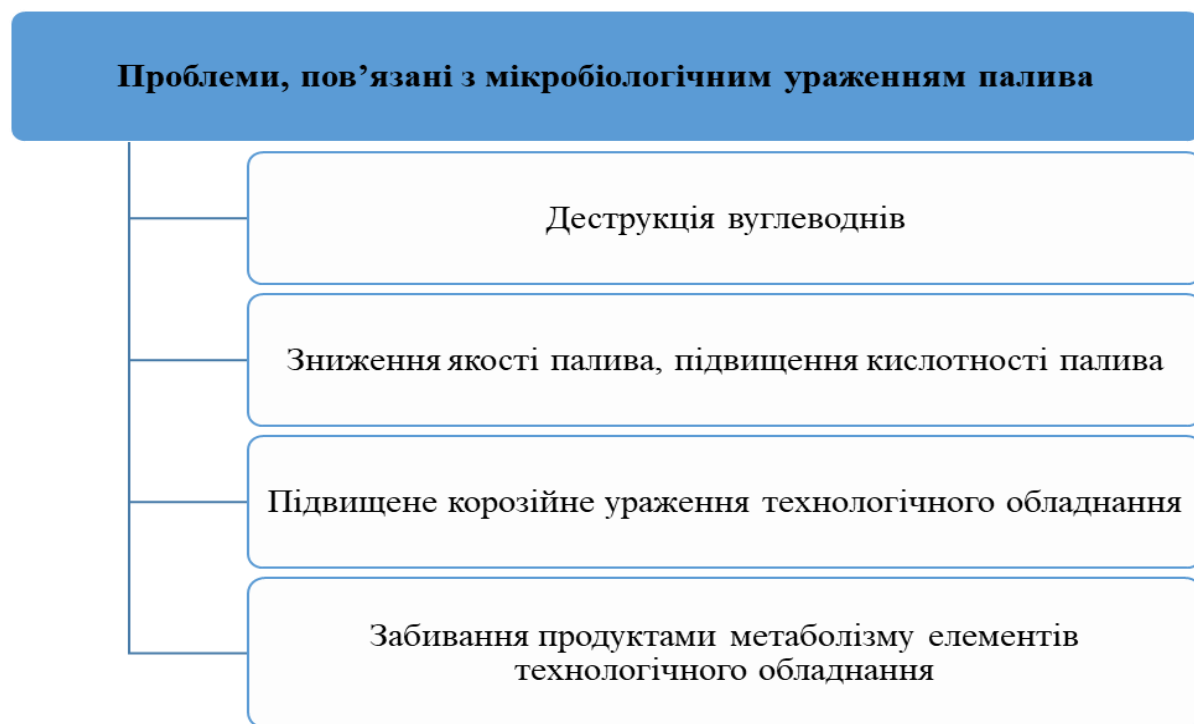


Рис. 1.12. Проблеми, пов'язані з мікробіологічним ураженням палива

Примітка: Сформовано автором на основі аналізу літературних даних.

У роботі Шкільнюк І.О. [49] наведена порівняльна оцінка мікробіологічної стабільності моторних палив традиційного та альтернативного походження. Відповідно до отриманих даних автором показано, що авіаційний бензин та автомобільний є більш стабільним до мікробіологічного ураження на відмінну від

реактивного палива та палива дизельного. Це можна пояснити тим, що бензини містять оксигенати, що перешкоджають мікробіологічному ураженню світлих нафтопродуктів.

Відповідно до даних, наведених у роботах [50, 51], нафтопродукти, які в основному складаються з вуглеводнів C_8 - C_{16} мають високу гігроскопічність, про що зазначалося у попередньому підрозділі. Ємність для зберігання палив забезпечує ідеальні умови для розвитку мікроорганізмів, оскільки для їх існування потрібна вода, яка завжди присутня у вільному чи емульгованому стані та вуглеводні палива. Оскільки вода може надходити в паливо через вентиляційне повітря в результаті конденсаційних процесів при зміні температури навколишнього середовища, то зараження мікроорганізмами зростає в місцях із спекотною та вологою погодою.

У паливі можуть бути присутні бактерії, дріжджі та гриби. Варто зазначити, що різні автори описують консорціуми різних мікробів, оскільки кожна зона, де відбувається мікробний ріст, демонструватиме різні характеристики забруднень. Це може бути пов'язано з тим, що паливо міститиме різні типи та співвідношення вуглеводневих компонентів і, можливо, міститиме присадки з різним хімічним складом, враховуючи, що в резервуарі найчастіше міститься сумішеве паливо різних виробників.

Зазвичай у нафтопродуктах зустрічаються декілька типів мікроорганізмів, кожен з яких має свої особливості та вплив:

Сульфатвідновлювальні бактерії (СВБ) — це анаеробні бактерії, які продукують сірководень, як побічний продукт свого метаболізму, що призводить до деструкції палива та корозії металевих поверхонь.

Кислотоутворюючі бактерії (КУБ) - продукують органічні кислоти, які можуть знизити рН палива, що призводить до підвищення кислотності палива та корозії технологічного обладнання.

Грибки та дріжджі можуть розвиватися у водній фазі палива, утворюючи біоплівки та спричиняючи утворення осаду та засмічення фільтрів.

Серед ідентифікованих організмів *Hormoconis resinae* (див. рис.1.13) або «керосиновий гриб» особливо поширений у паливних баках для реактивних двигунів, який використовувати вуглеводні реактивного палива, для своєї життєдіяльності, що призводить до утворення органічних кислот, які є корозійними по відношенню до металів [59, 60, 80]. Також раніше були виділені з авіаційного палива дріжджі *Yarrowia lipolytica* (*Y. lipolytica*) і бактерія *Bacillus subtilis* (*B. subtilis*) [55].

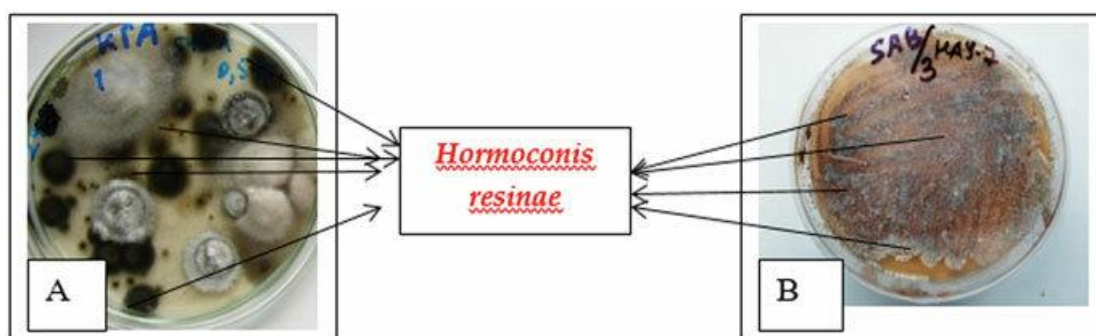


Рис.1.13. *Hormoconis resinae* («керосиновий гриб»)

Примітка: Фото взято з роботи: Shkilniuk Iryna, Boichenko Sergii, Kondratiuk Tetyana, Lejda Kazimierz. System for Monitoring Microbiological Contamination of Jet Fuels and Fuel Systems. 2022. 10.1007/978-3-031-06577-4_12.

Y. Lipolytica добре відомі своєю здатністю розкласти вуглеводневе паливо за допомогою специфічного шляху за участю алканових монооксигеназ, оксидаз жирних спиртів, а також дегідрогеназ жирних ацил-КоА-синтетаз. Отже, безсумнівно, *Y. Lipolytica* є біодеструктором реактивного палива [61]. Ці мікроорганізми живуть у обводнених зонах обладнання для зберігання та транспортування палива [62]. Крім того, вони можуть прикріплюватися до поверхонь, утворюючи вологий слиз, і забруднювати технологічні поверхні, тим самим викликати утворення біоплівки [63].

Відповідно до досліджень [54, 55] ріст мікробів і забруднення в резервуарах для зберігання палива можуть спричинити мікробіологічну корозію металу, блоків паливних фільтрів та збільшення витрат на технічне обслуговування, пов'язане з цими проблемами. Крім того, як тільки паливо буде забруднене мікроорганізмами, якість його буде також погіршуватися [53]. Слід врахувати що

очищення резервуарів для зберігання є громіздкою і кропіткою роботою, яка потребуватиме величезних витрат, а також становить загрозу для працівників [64].

Варто зазначити, що відносно небагато видів мікробів, які присутні у паливах, здатні розкласти вуглеводні, багато інших видів ростуть разом з ними, за рахунок живлення продуктами життєдіяльності попередніх, утворюючи осади і кислоти. Можна сказати, що існують великі відмінності між деякими мікробними консорціумами, і вони будуть відрізнятися хімічними та фізичними характеристиками.

Наприклад дослідження проведене в США [65] показало, що мікроби, пов'язані з авіаційним паливом та інгібітором обледеніння паливної системи (Avtur та FSII), помітно відрізняються від мікробів, без FSII. Також, згідно з даними дослідженнями дріжджові гриби зустрічаються набагато частіше, ніж кілька років тому, а частота *Cladosporium resinae* (тепер *Hormoconis resinae*) значно зменшилася.

Враховуючи це можна припустити, що мікробні консорціуми можуть бути різноманітними. Самі мікроби також змінюють хімічний склад свого середовища, виділяючи продукти метаболізму що містять зокрема кислоти, виділяючи кисень і призводять до змін вуглецевих сполук. За даними [65] типовий аналіз сухої мікробної біомаси наступний: Вуглець 50%; Кисень 20%; Азот 14%; Водень 8%; Фосфор 3%; Сірка 1%; Калій 1%; Натрій 1%; Кальцій 0,5%; Магній 0,5%; Хлор 0,5%; Залізо 0,2%; Мікроелементи 0,3%.

Проблеми з працездатністю паливного технологічного обладнання через ріст мікробів згадувалися в багатьох публікаціях [66 - 69]. Аналіз даних свідчить, що різні типи мікробів можуть сприяти виникненню широкого спектру проблем забруднення та зниження експлуатаційної надійності обладнання, але це рідко враховується під час розслідування інцидентів, за винятком випадків корозії. Таким чином мікроби можуть призводити до різноманітних проблем пов'язаних із паливом та технологічним обладнанням (рис.1.14).

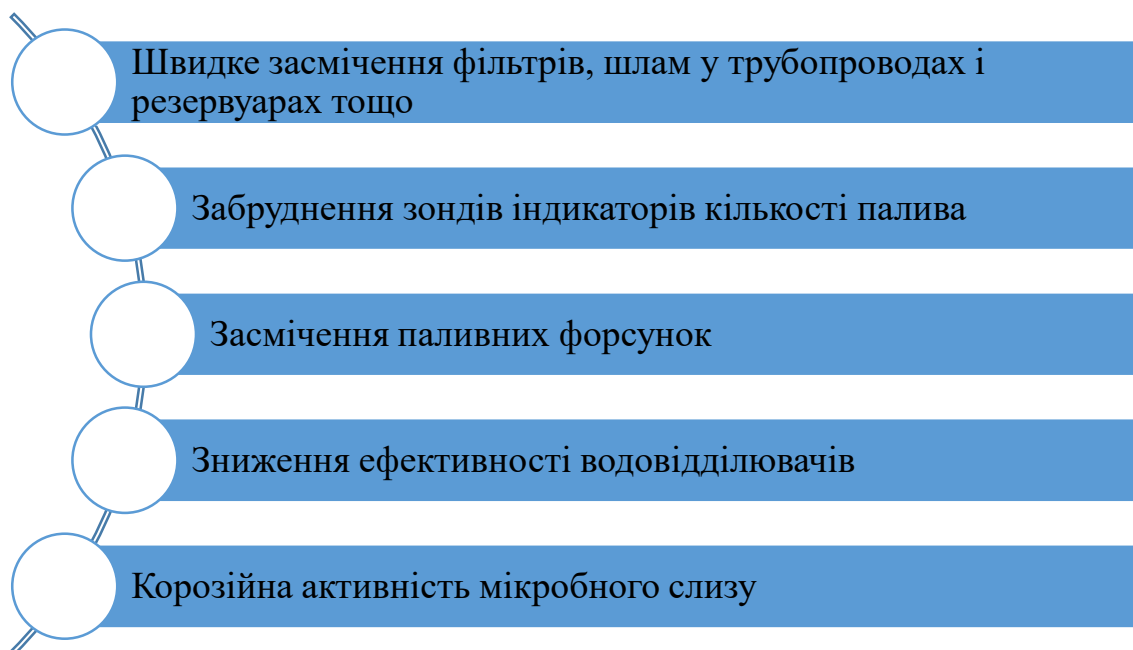
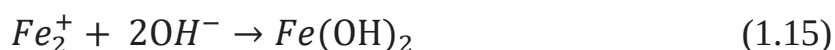
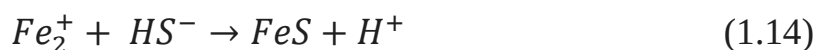
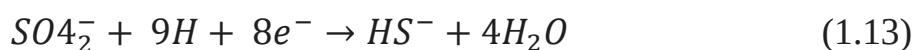


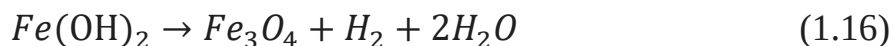
Рис.1.14. Проблеми внаслідок мікробіологічного ураження палив

Примітка: Сформовано автором на основі аналізу літературних даних.

До металів, на які впливає мікробіологічна корозія, відносяться залізо та сталь, нержавіючу сталь, алюміній мідь та їх сплави. Деякі мікроби також вражають камінь і бетон. Існує багато механізмів, за допомогою яких мікробний ріст і мікробна активність можуть прискорювати нормальні механізми електрохімічної корозії та інші механізми, про які згадувалося в роботах [67 - 70].

Механізм сульфідної корозії може бути представлений наступним чином [70]: СВБ використовує залізо як джерело енергії або як донор електронів (анодна реакція). Крім того, щоб виробляти енергію та підтримувати електронейтральність, СВБ використовує сульфат як кінцевий акцептор електронів у реакції на катоді. Продукти корозії, які утворюються в результаті подальших реакцій, наведені у реакціях 1.13 - 1.16:





Плівка сульфиду заліза, що розвивається на поверхні сталі, і спочатку є захисною. Згодом ця плівка перетворюється в смітін або пірротин. Плівка сульфиду заліза руйнується, і сульфід тепер є катодом сталі, оголеної в результаті руйнування. Навколо тріщин і ямок утворюються активні корозійні комірки [70].

Існують інші механізми, що сприяють корозії СВБ, наприклад, деполяризація сталі ферментами дегідрогенази, можливо, корозія під напругою та проникнення водню і розтріскування. Відомо, що сульфід, розчинений у паливі, утворений СВБ, може спричиняти корозію. СВБ є анаеробними, тому корозія поширена там, де є дефіцит кисню, наприклад, у нижній частині резервуарів. На думку [70], більшість СВБ не можуть самі атакувати вуглеводні або роблять це повільно, і тому вони найкраще розвиваються в консорціумах біоплівок інших мікробів, до яких входять аеробні окиснювачі вуглеводнів. Ці асоційовані мікроби не тільки виробляють органічні кислоти, які є важливими поживними речовинами для СВБ, а також видаляють кисень. Таким чином поглинання кисню з біоплівки стимулює СВБ.

Відомо, що очевидними ознаками зростання та активності СВБ є: запах тухлих яєць; почорніння води та шламу; наявність сірководню. Зміни в шарі металу, як правило, проявляються у вигляді ямкових нерівностей. Такі ушкодження на сталевих сплавах мають графітово-сірий колір, а мідь і сплави, срібло і алюміній — почорніння [70].

Зазначимо, що окрім небезпеки перебігу процесів корозії технологічного обладнання від діяльності СВБ, існує небезпека для здоров'я технічного персоналу. Сірководень, вироблений СВБ, більш токсичний, ніж ціаністий водень, що становить безсумнівну небезпеку в закритих приміщеннях [70].

Отже виникнення і розвиток біоценозу в паливах призводить до погіршення їх фізико-хімічних і експлуатаційних властивостей внаслідок зміни їх вуглеводневого складу, накопичення мікробного слизу і відкладень, утворення стійких емульсій. Мікробіологічне забруднення паливних систем є реальною та

серйозною проблемою, яка може безпосередньо впливати на безпеку транспортних засобів.

1.5. Обґрунтування мети роботи і завдання дослідження

Запаси нафти та нафтопродуктів в Україні є незначними у порівнянні з обсягами, необхідними для стабільного функціонування всіх секторів економіки. Тому значна частина нафтопродуктів імпортується, щоб забезпечити безперебійну роботу господарства. Порушення поставок нафтопродуктів може спричинити серйозну дестабілізацію в країні та призвести до кризи в усіх сферах життєдіяльності. Тому важливим залишається питання збереження якості палив та забезпечення екологічної безпеки на всіх етапах — від транспортування і зберігання до його використання.

Основним завданням роботи є розробка рекомендацій щодо удосконалення технології тривалого зберігання світлих нафтопродуктів. Для необхідно насамперед провести аналіз зміни якості вуглеводневих палив при довготривалому зберіганні, встановити закономірності змін якості світлих нафтопродуктів при тривалому зберіганні, а також дослідити мікробіологічне ураження моторних палив при тривалому зберіганні.

Висновки до розділу

1. Функціонування паливо-енергетичного сектору потребує забезпечення збереження якості як традиційних так і біопалив та екологічної безпеки під час їх транспортування, зберігання та видачі. Зважаючи на це, дослідження зміни якості палива при тривалому зберіганні є актуальною науково-прикладною задачею.

2. Основним завданням довготривалого зберігання нафтопродуктів, зокрема дизельного палива, авіаційного палива для газотурбінних двигунів та автомобільного бензину, є збереження їхніх якісних характеристик та забезпечення придатності для використання після тривалого зберігання, тобто збереження їхньої кондиційності.

3. У національних стандартах ДСТУ 7687:2015 та ДСТУ 7688:2015 не враховано вимоги до бензинів та дизельного палива щодо їх тривалого зберігання і вони мають певні відмінності від чинних ДСТУ 8705:2017 та ДСТУ 8704:2017.

4. Враховуючи існуючу практику закладання палив на довготривале зберігання з меншими гарантійними термінами ніж ті, що необхідні для створення та підтримання мінімальних запасів нафтопродуктів, стає необхідним дослідження їх якості для унеможливлення виходу останніх за межі кондиції.

5. Якість палив протягом всього періоду «життєвого циклу» поступово погіршується. Основними чинниками, які впливають на зміну якості вуглеводневих палив, є процеси випаровування, окиснення, обводнення, забруднення ТДФ та мікробіологічне ураження.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Характеристика предмету дослідження

Для дослідження динаміки змін якості світлих нафтопродуктів в даній роботі використовувалися наступні палива: паливо дизельне ДП-Арк-Євро5-В0 згідно ДСТУ 7688:2015, яке також відповідає ДСТУ 8705:2017 «Паливо дизельне довготривалого зберігання».

Також для дослідження використовувався бензин автомобільний А-92-Євро5-Е5 однієї партії згідно ДСТУ 7687:2015 «Бензини автомобільні Євро. Технічні умови». Даний бензин також відповідав ДСТУ 8704:2017 «Бензини автомобільні довготривалого зберігання. Технічні умови». Гарантійний термін його зберігання 3 роки від дати виготовлення. В роботі також було проаналізовано динаміку змін якості авіаційного палива для газотурбінних двигунів згідно 320.001149943.007-97, що знаходилося на довготривалому зберіганні на профільному підприємстві паливозабезпечення.

Палива, які були досліджені, зберігалися у резервуарах сталевих вертикальних РВС-5000 та резервуарах траншейних вертикальних РТС-5000 (заглиблене зберігання). Організація зберігання нафтопродуктів здійснювалася у державних організаціях згідно з «Інструкцією про порядок приймання, транспортування, зберігання, відпуску та обліку нафти і нафтопродуктів на підприємствах і організаціях України» [81].

Дослідження зміни якості вуглеводневих палив при їх тривалому зберіганні проводилося на базі УкрНДІ «Ресурс» в межах науково-дослідної роботи (далі НДР), де автор був відповідальним виконавцем: «Дослідження динаміки змін якості бензину автомобільного в умовах зберігання в системі Держрезерву України» (державний номер реєстрації: №0120U000430, термін роботи: 12.2020 – 12.2022 р.р.) та «Дослідження динаміки змін якості палива дизельного в умовах зберігання в системі Держрезерву України» (державний номер реєстрації: №0120U000360, термін роботи: 03.2020 – 12.2022 р.р.).

Оцінка стійкості палив до мікробіологічного ураження реактивного палива та біокомпоненту була проведена з використанням експериментально-модельного дослідження зразків палив із зараженням мікроорганізмами, отриманими на підприємстві авіаційного паливозабезпечення. Окрім того, було проведено дослідження впливу дизельного палива, ураженого мікроорганізмами в умовах експлуатації підприємства паливозабезпечення, на конструкційні матеріали.

2.2. Методи оцінки фізико-хімічних властивостей світлих нафтопродуктів

Дослідження динаміки змін якості палив під час довготривалого зберігання проводилися за показниками, що характеризують їх здатність до збереження та експлуатаційні властивості, які визначені ДСТУ 4345:2004 «Нафтопродукти. Палива рідкі. Номенклатура показників якості» [83].

Дослідження зміни якості вуглеводневих палив являє собою цілий комплекс випробувань і досліджень, що забезпечує контроль якості та проводилися акредитованим лабораторіями з повіреними приладами із застосуванням відповідних методик контролювання фізико-хімічних показників, які визначені нормативними документами. Враховуючи той часовий період, за який проводилися дані дослідження, були використані чинні галузеві, державні та міждержавні стандарти.

Випробування фізико-хімічних показників якості палива дизельного, що знаходилося на довготривалому зберіганні, проводилися відповідно ДСТУ 8705:2017 «Паливо дизельне довготривалого зберігання». Випробування фізико-хімічних показників якості бензину автомобільного - відповідно ДСТУ 8704:2017 «Бензини автомобільні довготривалого зберігання. Технічні умови». Паливо для реактивних двигунів досліджувалося згідно ДСТУ 4796:2007 «Паливо авіаційне для газотурбінних двигунів Джет А-1. Технічні умови» [8 - 10].

Проведений аналіз показників якості вуглеводневих палив, що знаходилися в експлуатаційних умовах тривалого зберігання, показав їх зміну з плином часу

зберігання. Так, було визначено, що найбільшою мірою змінювалися такі показники, як:

- «Масова частка води», «Масова частка механічних домішок», «Окиснювальна стабільність палива» та «Змашувальна здатність» – для дизельного палива;
- «Фракційний склад», «Тиск насиченої пари», «Об’ємна частка ароматичних вуглеводнів», «Об’ємна частка олефінових вуглеводнів», «Об’ємна частка бензолу», «Об’ємна частка кисню», «Об’ємна частка кисневмісних сполук (вміст етерів)» – для бензину автомобільного;
- «Йодне число», «Концентрація фактичних смол» – палива для газотурбінних двигунів.

Розглянемо більш детально методики експериментальних досліджень, що використовувалися у даній роботі.

Методика визначення масової частки води. Масова частка води визначалася відповідно до діючого міждержавного стандарту ГОСТ 2477 «Нафта та нафтопродукти. Метод визначення вмісту води». Цей стандарт встановлює метод визначення вмісту води в нафтопродуктах та нафті [84]. Суть методу полягає у нагріванні нафтопродукту з відповідним розчинником, що не розчиняється у воді. Причому, конденсована вода та розчинник конденсуються у ловушці. Вода залишається у ловушці, а розчинник потрапляє назад у колбу для дистиляції.

Масову частку води визначають за формулою:

$$X = \frac{V_0}{m} \cdot 100, \quad (2.1)$$

де V_0 – об’єм води в приймачі-ловушці, см³;

m – маса зразка, г.

За результат випробування приймають середньоарифметичні результати двох визначень. Результат округляють із точністю до 0,1 %. Об’єм води у ловушці 0,03 см³ і менше вважається слідами, а відсутність встановлюється тоді, коли в нижній частині приймача-ловушки не видно її крапель.

Збіжність. Результати визнаються достовірними, якщо розбіжність між ними не перевищує: 0,1 см³ при об'ємі води, меншому або рівному 1,0 см³; 0,1 см або 2 % середнього значення об'єму при об'ємі води більше 1,0 см.

Відтворюваність. Результати випробувань визнаються достовірними, якщо розбіжність між ними не перевищує: 0,2 см³ при об'ємі води, меншому або рівному 1,0 см³; 0,2 см³ або 10 % середнього значення обсягу при обсязі води понад 1,0 см³ до 10 см³; 5 % величини середнього результату при об'ємі води понад 10 см³.

Варто зазначити, що актуальними на сьогодні стандартизованими методиками для визначення вмісту води є ДСТУ ГОСТ 2477:2021 «Нафта та нафтопродукти. Метод визначення вмісту води» (ГОСТ 2477-2014, IDT) та ДСТУ ISO 12937:2012 «Нафтопродукти. Визначення води методом кулонометричного титрування за Карлом Фішером», що є аналогом міжнародного стандарту ISO 12937:2000 Petroleum products — Determination of water — Coulometric Karl Fischer titration method [85 - 87].

Методика визначення масової частки механічних домішок. Вміст механічних домішок проводився згідно діючого міждержавного стандарту ГОСТ 6370-83 «Нафта, нафтопродукти та присадки. Метод визначення механічних домішок» [88]. Сутність методу полягає у фільтруванні випробуваних продуктів із попереднім розчиненням продуктів, що повільно фільтруються в бензині або толуолі, промиванні осаду на фільтрі розчинником з подальшим висушуванням і зважуванням.

Вміст масової частки механічних домішок визначається за формулою:

$$X = \frac{m_1 - m_2}{m_3} \cdot 100, \quad (2.2)$$

де m_1 – маса стаканчика з фільтром і механічними домішками, г;

m_2 – маса стаканчика з чистим фільтром, г;

m_3 – маса досліджуваної проби, г.

За результат беруть середнє арифметичне двох паралельних досліджень. Збіжність та відтворюваність методу наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Збіжність та відтворюваність методу

Вміст механічних домішок, %	Збіжність, %	Відтворюваність, %
До 0,01	0,0025	0,005
0,01-0,1	0,005	0,01
0,1-1,0	0,01	0,02
Більше 1,0	0,1	0,2

Примітка: Сформовано автором на основі ГОСТ 6370 «Нафта, нафтопродукти та присадки. Метод визначення механічних домішок».

З 15 грудня 2021 року набув чинності ДСТУ ГОСТ 6370:2021 «Нафта, нафтопродукти та добавки. Метод визначення механічних домішок» (ГОСТ 6370-2018, IDT). Також вміст механічних домішок можуть визначати за ДСТУ EN ISO 12662:2012 «Нафтопродукти рідкі. Метод визначення домішок у середніх дистилатах» (EN ISO 12662:2008, IDT). Аналогом ДСТУ є міжнародний стандарт EN 12662:2008 Liquid Petroleum products - Determination of contamination in middle distillates [89 - 91].

Методика визначення вмісту кисню та кисневмісних сполук у паливі. Визначення вмісту кисню та кисневмісних сполук у паливі визначається відповідно до ДСТУ EN 13132:2012 «Нафтопродукти рідкі. Бензин не етилований. Визначення органічних кисневмісних сполук та загального вмісту органічно зв'язаного кисню газохроматографічним методом з перемиканням колонок (EN 13132:2000, IDT)». Даний метод є аналогом EN 13132:2000 D Flüssige Mineralölerzeugnisse - Unverbleite Ottokraftstoffe - Bestimmung sauerstoffhaltiger organischer Verbindungen und des Gesamtgehaltes an organisch gebundenem Sauerstoff mittels Gaschromatographie mit Säulenschaltung [92, 93].

Суть методу полягає в тому, що органічні кисневмісні сполуки виділяються із зразка з використанням першої капілярної колонки. У другій капілярній колонці органічні кисневмісні сполуки поділяються і індивідуально визначаються з використанням полум'яно-іонізаційного детектора.

Розрахунок маси кожного компонента в зразку для випробувань проводиться наступним чином:

1. Обчислюють масу кожного i -го компонента, m_i г, у випробуваному зразку за формулою:

$$m_i = \frac{A_i \cdot f_i \cdot m_{st}}{A_{st}}, \quad (2.3)$$

де A_i - площа піку i -го компонента, мкВ/с або мм²;

f_i - калібрувальний коефіцієнт для i -го компонента;

m_{st} - маса внутрішнього стандарту, доданого у випробувану пробу, г;

A_{st} - площа піку внутрішнього стандарту, мкВ/с або мм².

2. Обчислюють калібрувальний коефіцієнт f_i для всіх оцінюваних компонентів за формулою:

$$f_i = \frac{m_i \cdot A_{st}}{A_i \cdot m_{st}}, \quad (2.4)$$

де m_i - маса i -го компонента в калібрувальному зразку, г;

A_{st} - площа піку внутрішнього стандарту, мкВ/с або мм²;

A_i - площа піку i -го компонента, мкВ/с або мм²;

m_{st} - маса внутрішнього стандарту в калібрувальному зразку, г.

3. Записують калібрувальний коефіцієнт для кожного компонента.

Розрахунок вмісту кожного компонента в пробі у відсотках за масою:

1. Обчислюють вміст кожного компонента в пробі, ω_i % мас., по формулі:

$$\omega_i = \frac{m_i}{m_s} \cdot 100, \quad (2.5)$$

де m_i - обсяг i -го компонента, см³;

m_s - обсяг відібраного для випробування зразка, см³.

Розрахунок вмісту кожного компонента в пробі у відсотках за обсягом.

1. Обчислюють вміст кожного компонента в пробі, φ_i % об., по формулі:

$$\varphi_i = \frac{V_i}{V_s} \cdot 100, \quad (2.6)$$

де V_i - об'єм i -го компонента, см^3 ;

V_s – об'єм відібраного для випробування зразка, см^3

2. Об'єм i -го компонента V_i обраховують за значення маси кожного компонента, значенням густини, наданим у додатку ДСТУ, і густини зразка за формулою:

$$V = \frac{m}{\rho}, \quad (2.7)$$

де m - маса кожного компоненти, г;

ρ – густина зразка, кг/м^3 .

Для i -го компонента рівняння матиме наступний вигляд:

$$V_i = \frac{m_i \cdot 1000}{\rho_i}, \quad (2.8)$$

де ρ_i – густина i -го компонента при температурі 15°C , кг/м^3 .

3. Об'єм відібраної проби V_i вираховують за формулою:

$$V_s = \frac{m_s \cdot 1000}{\rho_s} \quad (2.9)$$

Загальний вміст органічно зв'язаного кисню.

Обчислюють загальний вміст органічно зв'язаного кисню, Ω % мас., із значень вмісту індивідуальних компонентів, % мас., після визначення за формулою:

$$\Omega = \sum \frac{w_i \cdot 16.00}{W_i}, \quad (2.10)$$

де W_i - молекулярна маса i -го компонента.

Записують вміст кожного компонента з точністю 0,1 % мас. або 0,1 % об.

Записують загальний вміст органічно зв'язаного кисню з точністю до 0,01 мас.

Збіжність та відтворюваність зазначені в табл. 2.2 і табл. 2.3.

Таблиця 2.2

Збіжність і відтворюваність визначення органічних кисневмісних сполук

Органічні кисневмісні сполуки, %	Збіжність, %	Відтворюваність, %
0,1-1,0	0,05	0,1
1,0-3,0	0,1	0,3
3,0-5,0	0,1	0,4
5,0-7,0	0,2	0,5
7,0-9,0	0,2	0,6
9,0-11,0	0,2	0,8
11,0-13,0	0,3	0,9
13,0-15,0	0,3	1,0

Примітка: Сформовано автором на основі: ДСТУ EN 13132:2012 «Нафтопродукти рідкі. Бензин не етилований. Визначення органічних кисневмісних сполук та загального вмісту органічно зв'язаного кисню газохроматографічним методом з перемикуванням колонок (EN 13132:2000, IDT)».

Таблиця 2.3

Збіжність і відтворюваність визначення загального вмісту органічно зв'язаного кисню

Загальний вміст органічно зв'язаного кисню, %	Збіжність, %	Відтворюваність, %
1,5-3,0	0,08	0,3

Примітка: Сформовано автором на основі: ДСТУ EN 13132:2012 «Нафтопродукти рідкі. Бензин не етилований. Визначення органічних кисневмісних сполук та загального вмісту органічно зв'язаного кисню газохроматографічним методом з перемикуванням колонок (EN 13132:2000, IDT)»

Також для визначення можуть використовуватися наступні стандарти:

1. ДСТУ EN 1601:2003 «Нафтопродукти рідкі. Бензини неетильовані. Визначення органічних кисневмісних сполук та загального вмісту органічно зв'язаного кисню методом газової хроматографії (О-ПІД)», аналог EN 1601:1997 Liquid petroleum products – Unleaded petrol – Determination of organic oxygenate

compounds and total organically bound oxygen content by gas chromatography (O-PID) [94, 95].

2. ДСТУ EN 14517:2009 «Нафтопродукти рідкі. Визначення типів вуглеводнів і кисневмісних сполук у бензині методом багатовимірної газової хроматографії» (EN 14517:2004 Liquid petroleum products - Determination of hydrocarbon types and oxygenates in petrol - Multidimensional gas chromatography method) [96, 97].

3. ДСТУ 7683:2015 «Нафтопродукти. Бензин. Визначення естерів та спиртів методом газової хроматографії» [98].

4. ДСТУ 7686:2015 «Бензин. Визначення індивідуальних компонентів методом газової хроматографії високої розділеності на 100-метровій капілярній колонці» [99].

5. ISO 22854:2014 Liquid petroleum products — Determination of hydrocarbon types and oxygenates in automotive-motor gasoline and in ethanol (E85) automotive fuel — Multidimensional gas chromatography method (Нафтопродукти рідкі. Визначення типів вуглеводнів та кисневмісних складників у бензині для двигунів внутрішнього згоряння та в етанольному (E85) автомобільному паливі. Метод багатовимірної газової хроматографії) [100].

6. ASTM D4815-13 Standard test method for determination of MTBE, ETBE, TAME, DIPE, tertiary- amyl alcohol and C1 to C4 alcohols in gasoline by gas chromatography (Стандартний метод визначення вмісту в бензині МТБЕ, ЕТБЕ, ТАМЕ, ДІПЕ, трет-амілового спирту та спиртів від С1 до С4 за допомогою газової хроматографії) [101].

7. ASTM D5845-01 (2011) Standard test method for determination of MTBE, ETBE, TAME, DIPE, methanol, ethanol and fert-butanol in gasoline by infrared spectroscopy (Стандартний метод визначення МТБЕ, ЕТБЕ, ТАМЕ, ДІПЕ, метанолу, етанолу, третичного бутилового ефіру в бензині за допомогою інфрачервоної спектроскопії) [102].

8. ASTM D6729-04 (2009) Standard test method for determination of individual components in spark ignition engine fuels by 100 meter capillary high

resolution gas chromatography (Стандартний метод визначення індивідуальних компонентів палива для двигунів внутрішнього згоряння за допомогою ефективною газової хроматографії на 100-метровій капілярній колонці) [103].

9. ASTM D6730-01 (2011) Standard test method for determination of individual components in spark ignition engine fuels by 100-metre capillary (with precolumn) high-resolution gas chromatography (Стандартний метод визначення індивідуальних компонентів палива для двигунів внутрішнього згоряння за допомогою ефективною газової хроматографії на 100-метровій капілярній колонці (з передколонкою)) [104].

Окиснювальна стабільність визначалася відповідно до ДСТУ 7684:2015 «Нафтопродукти. Метод визначення стійкості до окиснення дистилатного рідкого палива (прискорений метод)», що є аналогом ASTM D2274-03a Standard Test Method for Oxidation Stability of Distillate Fuel Oil (Accelerated Method) [105, 106].

Суть методу полягає у визначенні стійкості до окиснення середніх дистилатних нафтових палив за точно обумовлених умов окиснення за температури 95 °C.

Розрахунок окиснювальної стабільності полягає в наступному:

1. Обчислюємо масу відфільтрованих нерозчинних речовин (A) у міліграмах на 100 мл:

$$A = \frac{m_2 - m_1}{3.5}, \quad (2.11)$$

де m_1 – маса порожнього (нижнього) фільтра, мг;

m_2 – маса зразка (верхнього) фільтра, мг.

2. Обчислюємо масу прилиплих нерозчинних речовин (B) у міліграмах на 100 мл:

$$B = \frac{(m_6 - m_4) - (m_5 - m_3)}{3.5}, \quad (2.12)$$

де m_3 – маса тари порожнього стакана, мг;

m_4 – маса тари склянки для зразка, мг;

m_5 – кінцева маса порожнього стакана, мг;

m_6 – кінцева маса склянки для зразка, мг.

3. Обчислюємо загальну масу нерозчинних речовин (С) у міліграмах на 100 мл:

$$C = A + B, \quad (2.13)$$

де С – загальна кількість нерозчинних речовин, мг/100 мл;

А – фільтровані нерозчинні речовини, мг/100 мл;

В – адгезивні нерозчинні речовини, мг/100 мл.

Загальну кількість нерозчинних речовин (С) у мг/100 мл записують з точністю до 0,1 мг/100 мл. Збіжність та відтворюваність розраховується наступним чином:

$$\text{Збіжність} = 0,54\sqrt[4]{C}; \quad (2.14)$$

$$\text{Відтворюваність} = 1,06\sqrt[4]{C}. \quad (2.15)$$

Окиснювальну стабільність також можливо визначати за наступними стандартизованими методиками: ДСТУ ISO 12205:2014 «Нафтопродукти. Метод визначення стабільності щодо окиснення середніх нафтових дистилатів» (ISO 12205:1995 Petroleum products — Determination of the oxidation stability of middle — distillate fuels) [107, 108].

Змащувальна здатність: діаметр плями зносу за температури 60 °C визначали згідно з ДСТУ ISO 12156-1:2009 «Паливо дизельне. Оцінювання змащувальної здатності з використанням пристрою високочастотного зворотно-поступального руху (ПВЗР). Частина 1». Метод випробування що є аналогом ISO 12156-1:2006 Diesel fuel — Assessment of lubricity using the high-frequency reciprocating rig (HFRR) — Part 1: Test method [109, 110].

Метод застосовується для оцінювання змащувальних властивостей дизельних палив, зокрема тих палив, що можуть містити присадки, в якому використовують пристрій високочастотного зворотно-поступального руху (ПВЗР).

Некорельований середній діаметр плями зношування $MWSD$, мкм, розраховують за формулою:

$$MWSD = \frac{x+y}{2}, \quad (2.16)$$

де x - розмір плями зносу, перпендикулярний до напрямку зворотно-поступального руху, мкм;

y - розмір плями зносу, паралельний напрямку зворотно-поступального руху, мкм.

Скореговане значення діаметру плями зношування розраховується за наступною формулою:

$$WS1.4 = MWSD + HCF(1.4 - AVP), \quad (2.17)$$

де HCF – поправочний коефіцієнт вологості;

AVP – середнє значення абсолютного тиску, кПа. Розраховується згідно з ДСТУ ISO 12156-1.

Збіжність результатів становить $r=63$ мкм, а відтворюваність $R=102$ мкм.

«Об'ємна частка ароматичних вуглеводнів», «Об'ємна частка олефінових вуглеводнів», «Об'ємна частка бензолу», визначалися за ДСТУ 7686:2015 «Бензин. Визначення індивідуальних складників методом газової хроматографії високого ступеня розділеності на 100-метровій капілярній колонці» [29].

Аналогічним до вітчизняного ДСТУ Є ASTM D 6729-04 «Standard Test Method for Determination of Individual Components in Spark Ignition Engine Fuels by 100 Meter Capillary High Resolution Gas Chromatography» [30]. Суть методу полягає в тому що пробу рідкого нафтопродукту вводять у газовий хроматограф, що має капілярну колонку, внутрішня поверхня якої покрита певною рідкою (нерухомою) фазою. Газ-носії гелій переносить пару зразка через колонку, де вона розділяється на окремі компоненти, які виявляються вогненно-іонізаційним детектором під час виходу з колонки. Сигнал детектора записується в цифровому вигляді за допомогою інтегратора або комп'ютера. Кожен компонент

ідентифікують шляхом порівняння його тривалості утримування з тривалістю утримування відповідного компонента в зразку контрольного бензину за тих же умов. Концентрація кожного компонента визначається шляхом нормалізації площ піків з урахуванням поправочного коефіцієнта кожного компонента. Неідентифіковані компоненти також реєструються, а їх площа враховується в загальній сумі площ піків.

Концентрацію кожного компонента записують з точністю до 0,001 %.

Стандартний відхил збіжності становить 0,1. Більш детальна інформація про збіжність та відтворюваність методу наведена у ДСТУ 7686:2015 [112].

Фракційний склад бензину автомобільного визначався згідно з ГОСТ 2177 «Нафтопродукти. Методи визначення фракційного складу» [113].

Суть методу заснована на перегонці 100 см³ досліджуваного зразка при визначених умовах з постійним фіксуванням температури та об'єму конденсату.

Результати можуть визначатися графічним та розрахунковим методами.

Для отримання відповідного відсотка відгону розрахунковим методом віднімають втрати при перегонці з кожного встановленого відсотка випаровування. Кожне необхідне показання термометра t°С розраховують за формулою:

$$t = t_{n-1} \cdot \frac{(t_n - t_{n-1}) \cdot (V - V_{n-1})}{(V_n - V_{n-1})}, \quad (2.18)$$

де V - обсяг відгону, відповідний заданому обсягу випарювання, мінус втрати, %;

V_n - об'єм відгону, що дорівнює заданому об'єму випарювання, %;

V_{n-1} попередній по відношенню до V обсяг відгону, якщо після початку кипіння першим відзначається 5 % відгін, то V_{n-1} = 0 %

t_n - температура, що відповідає обсягу відгону V, °С;

t_{n-1} - температура, що відповідає об'єму відгону V_{n-1}, °С.

Збіжність та відтворюваність методу визначається за номограмою, що міститься в ГОСТі.

Визначення фракційного складу також можливе згідно з такими методиками як EN ISO 3405:2011 Petroleum products — Determination of distillation characteristics at atmospheric pressure та ASTM D86-12 Standard test method for distillation of petroleum products at atmospheric pressure [114, 115].

Тиск насиченої пари визначався відповідно до ДСТУ EN 13016-1:2012 «Нафтопродукти рідкі. Тиск насиченої пари. Частина 1. Визначення тиску насиченої пари з вмістом повітря (ASVP) і розрахування еквівалентного тиску сухої пари (DVPE)». Аналогом даного методу є EN 13016-1:2007 Liquid petroleum products - Vapour pressure - Part 1: Determination of air saturated vapour pressure (ASVP) and calculated dry vapour pressure equivalent (DVPE) [116, 117].

Сутність методу полягає в тому що охолоджений і насичений повітрям зразок відомого об'єму впорскують у термостатично регульовану вакуумну камеру або порожнину, утворену поршнем, що переміщається при впорскуванні зразка, внутрішній об'єм якого в п'ять разів більший за об'єм випробуваного зразка, введенного в камеру. Після введення зразка камеру його витримують до досягнення рівноваги при температурі 37,8 °C. Загальний тиск насичених парів у камері дорівнює сумі тиску парів зразка та парціального тиску розчиненого повітря, що вимірюється за допомогою датчика тиску та індикатора. Виміряний загальний тиск (тиск насичених парів) пари може бути перетворений на еквівалентний тиск сухої пари (DVPE) за формулою кореляції.

Для отримання точного значення тиску насиченої пари, що містить повітря, при температурі $(37,8 \pm 0,1)$ °C слідують інструкціям виробника при введенні проби зразка у випробувальну камеру та роботу з приладом.

Для цього записують показання датчика тиску з точністю до 0,1 кПа. Якщо прилад автоматично не реєструє значення стабільного тиску, через кожні (60 ± 5) секунд записують показання датчика тиску з точністю до 0,1 кПа. Якщо три послідовні показання знаходяться в межах 0,1 кПа, реєструють середньоарифметичне значення цих показань як ASVP (тиск насичених парів) з точністю до 0,1 кПа. Значення записують із точністю 0,1 кПа.

Дослідження також можна виконувати згідно наступних методик: ДСТУ 4160-2003 «Нафтопродукти. Визначення тиску насиченої пари. Метод Рейда», ASTM D5482-07(2013) Standard test method for vapor pressure of petroleum products (mini method-atmospheric), ASTM D323-08 Standard test method for vapor pressure of petroleum products (Reid method) [118 - 120].

Визначення кислотного числа проводилося відповідно до діючого міждержавного стандарту ГОСТ 5985 (СТ РЕВ 3963-83) «Нафтопродукти. Метод визначення кислотності та кислотного числа». Зі змінами № 1 (ІВД № VIII-84), № 2 (ІВД № IV-92) та Поправками [121].

Сутність методу полягає в титруванні кислих сполук випробуваного продукту спиртовим розчином гідроксиду калію в присутності кольорового індикатора та визначенні для світлих нафтопродуктів кислотності, вираженої в мг КОН/100 см для масел і мастил - кислотного числа, вираженого в мг КОН/г.

Для визначення використовували методику з застосуванням індикатору нітросинового жовтого.

Кислотне число випробуваної проби (КЧ) в мг КОН/г обчислюють за формулою:

$$КЧ = \frac{V \cdot T}{m}, \quad (2.19)$$

де V - об'єм 0,1 моль/дм³ спиртового розчину гідроксиду калію, витрачений на титрування, см³;

T - титр 0,1 моль/дм³ спиртового розчину гідроксиду калію, мг/см³;

m - маса проби, г.

Визначення кислотного числа дозволяється в Україні за допомогою міжнародних стандартів: ASTM D 3242-01 Standard Test Method for Acidity in Aviation Turbine Fuel (Метод визначення кислотного числа в авіаційних турбінних паливах) та IP 354 Determination of the Acid Number of Aviation Turbine Fuels — Colour-Indicator Titration Method (Визначення загальної кислотності авіаційних турбінних палив. Метод титрування з кольоровим індикатором) [122, 123].

Таблиця 3.4

Збіжність і відтворюваність визначення кислотного числа

Кислотне число, мг КОН/г	Збіжність, мг КОН/г	Відтворюваність, мг КОН/г
До 0,5	0,06	0,1
0,5-1,0	0,1	0,2
1,0 і більше	0,2	0,4

Примітка: Сформовано автором на основі: ГОСТ 5985 (СТ РЕВ 3963-83) Нафтопродукти. Метод визначення кислотності та кислотного числа. Зі змінами № 1 (ІВД № VIII-84), № 2 (ІВД № IV-92) та Поправками.

2.3. Методики дослідження мікробіологічного ураження палив

Дослідження мікробіологічного ураження палив проводилося на матеріалі, взятому у реальних експлуатаційних умовах підприємств паливозабезпечення. Були проведені дослідження мікроорганізмів, як були присутні в зразку палива дизельного, традиційному паливі для реактивних двигунів - №1 (100% Jet A-1), суміші та біокомпоненті (рижієвий) - №3 (100% BIO). Зразок № 2 (50% Jet A-1 та 50%100% BIO) був використаний для інших досліджень, не представлених в цій роботі.

Приготування поживного середовища. Для виявлення мікроорганізмів у зразках палива готували середовище NA (Nutrient Agar). Для приготування 1 л поживного бульйону 28 г порошку середовища вносили у колбу та розчиняли у 972 мл дистильованої води, після чого кип'ятили та стерилізували автоклавуванням за температури 121 °C протягом 15 хв. Для отримання агаризованого середовища додатково вносили 20 г агар-агару перед кип'ятінням. Після стерилізації середовище охолоджували до температури 60 °C та розливали у чашки Петрі.

Приготування середовища Saburo проводилося наступним чином: розчиняли порошок Saburo у 1 л очищеної води та кип'ятили протягом 2-3 хвилин

до повного розчинення компонентів. Потім суміш фільтрували. Після цього середовище переносилося у стерильні пробірки і стерилізували 15 хвилин при температурі 120-122°C, при цьому важливо не перегріти середовище. Після охолодження до температури 45-50°C агар Saburo розливали по стерильних чашках Петрі в обсязі 20-30 мл. Після застигання агару його сушили при температурі 33°C протягом 40 ± 5 хвилин. рН середовища повинно становити 5,4-5,8 при температурі 25°C. Готове середовище повинно бути однорідним, прозорим і мати жовто-брунатний колір. Також перед стерилізацією до середовища додавали 50 мг левоміцетину. Інкубацію середовища Сабура проводили протягом 7 діб при температурі 28°C.

Посів мікроорганізмів. Для виділення змішаної культури мікроорганізмів відбирали 0,2 мл суспензії кожного зразка, наносили на поверхню агару та розтирали шпателем Дригальського. Мікроорганізми культивували у термостаті за температури 30 °C протягом 10 діб до появи окремих мікробних колоній.

Мікроскопіювання зразків. Для вивчення морфології мікроорганізмів, виділених з реактивного палива, відбирали мікробну біомасу колоній, ізольованих на чашках Петрі та фарбували за Грамом (рис. 2.1).

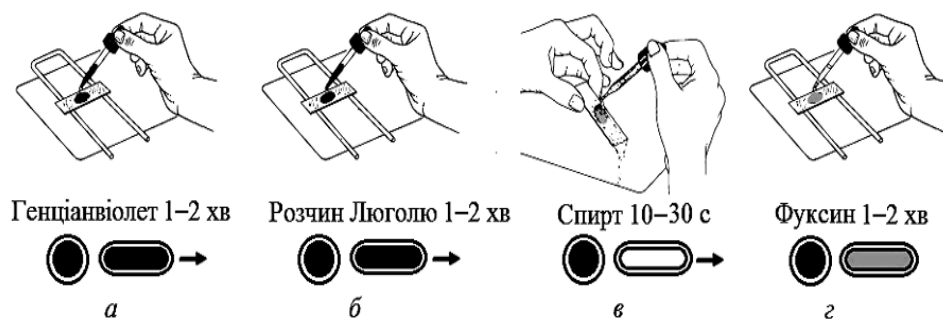


Рис.2.1. Етапи фарбування клітин за Грамом

Примітка: Фото Загальна мікробіологія і вірусологія : лабораторний практикум. уклад.: Л. С. Ястремська, І. М. Малиновська, Н. А. Зінов'єва. – К. : НАУ, 2017. – 120 с.

У подальшому, роботи проводили у наступному порядку:

1. Готували фіксований мазок досліджуваної культури мікроорганізмів та забарвлювати його генціанвіолетом протягом 1-2 хв, надлишок барвника треба злити.

2. Обробляли препарат розчином Люголю протягом 1-2 хв до почорніння та промивали значною кількістю води.

3. Занурювали мазок у стакан з 70 об. %-м етиловим спиртом на 10-30 с. Знебарвлення вважають закінченим, коли краплі, що стікають з мазка, вирівнюються за кольором зі спиртом у склянці. Потім промивали препарат водою (під час мікроскопування таких препаратів грамнегативні бактерії безбарвні).

4. Виконували дофарбування препарату фуксином 1-2 хв, промивали водою, підсушували, розглядали в мікроскоп з імерсією.

Для фарбування за Грамом використовували такі реактиви та матеріали: генціанвіолет (або кристалічний фіолетовий), розчин Люголя, суміш для знебарвлення (суміш 1:1 96 %-й етилового спирту та ацетону), фуксин.

На фіксований зразок наносили генціанвіолет на 1 хв, зливали фарбник; на зразок наносили розчин Люголя на 1 хв; розчини зливали, зразок ретельно промивали дистильованою водою; мазок прополіскували сумішню для знебарвлення поки він не знебарвиться і стікаюча рідина не стане чистою (приблизно 5-10 с); ретельно промивали скельця дистильованою водою; препарат фарбували фуксином (1-2 хв); промивали препарат дистильованою водою і висушували фільтрувальним папером або на повітрі; мікроскопіювали: грампозитивні мікроорганізми забарвлюються у темно-фіолетовий колір, грамнегативні – у рожево-червоний. Морфологію клітин вивчали на мікроскопі «Мікмед-2» (збільшення $\times 1500$).

Потенціометричне визначення показників pH і Eh проводили за допомогою потенціометра EZDO MP-103 (Gondo Electronic, м. Тайбей, Тайвань), оснащеного комбінованим керамічним хлорсрібним електродом РУ41, електродом ORP РО50 та датчиком температури. Для відбору зразків палива використовували стерильні пластикові шприци («Bayer») об'ємом 5,0 та 2,5 мл відповідно.

Однією з сучасних методик визначення мікробіологічного ураження палив для реактивних двигунів є використання наборів MicrobMonitor 2. Цей метод рекомендований і схвалений авіаційними нормативними документами ІСАО, ІАТА [124] для моніторингу мікробіологічного забруднення палива в умовах

експлуатації та активно застосовується, останнім часом, на галузевих підприємствах.

Визначення ступеню мікробіологічного ураження нафтопродуктів проводиться згідно міжнародного стандарту *ASTM D7978 (MicrobMonitor2)*, дотримуючись процедури [125]:

1. Для початку додають пробу у флакон для тестування.
2. Струшують флакон розподіляючи пробу в поживному середовищі тесту.
3. Інкубацію проводять 4 дні при 25°C.
4. Протягом тестування перевіряють флакони.
5. Розраховують колонієутворюючі організми.

Розрахунок кількості мікробних колонієутворюючих організмів на літр:

$$N = \frac{n \cdot 1000}{V}, \quad (2.20)$$

де n - кількість підрахованих колоній;

V - тестований об'єм палива (мл).

Інтерпретація результатів досліджень у відповідності з Керівництвом ІАТА (див.табл. 2.5).

Таблиця 2.5

Інтерпретація результатів досліджень MicrobMonitor2 для проб із паливних баків повітряних суден у відповідності з Керівництвом ІАТА [124]

Інтерпретація	Водна фаза (0,1 мл для випробовувань)	Паливна фаза (0,5 мл для випробовувань)
Незначне (Допустиме)	< 1000 КУО/мл (<100 колоній приблизно)	< 4000 КУО/мл (< 2 колоній приблизно)
Помірне	1000 - 10 000 КУО/мл (100 – 1000 колоній приблизно)	4000 - 20 000 КУО/мл (2 – 10 колоній приблизно)
Сильне	> 10 000 КУО/мл (>1000 колоній приблизно)	> 20 000 КУО/мл (>10 колоній пораховано або приблизно)

Примітка: Сформовано автором на основі ECHA. (2021). MicrobeMonitor2. For detection and Enumeration of contaminating microbes in fuels, lubricants and water. Instruction for use.

https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/media.echamicrobiology.co.uk/2021/01/EP066_MM2-Instruction-Leaflet_130318.pdf

2.4. Методика дослідження мікробіологічної корозії конструкційних матеріалів

Як було показано у Розділі 1, поширеною проблемою при експлуатації обладнання паливо-технічних засобів є мікробіологічна корозія. Особливістю перебігу даних процесів є навність у паливі «вільної» (підтоварної) води, що забезпечує активацію мікробіологічної деструкції вуглеводнів.

Тому, для проведення модельного дослідження впливу мікробіологічної корозії на конструкційні матеріали нами було змодельовано типове обводнення палива (придонна зона). Вплив мікробіологічного ураження на конструкційні матеріали проводили, досліджуючи стан поверхні металевих шайб з різних конструкційних матеріалів у паливі дизельному за допомогою мікроскопа та у паливі для реактивних двигунів Jet A-1 100 % зразок № 1 та у 100% біокомпоненті № 3 з використанням візуального методу з застосуванням фотофіксації. Зазначимо, що дослідні розчини вже містили видиме мікробіологічне забруднення. Для визначення впливу мікробіологічної корозії на металеву поверхню шайби розміщувалися під поверхнею біоплівки, яка накопичилася протягом періоду досліджень. Металеві об'єкти у даних дослідях представлені з наступних матеріалів: нержавіючої сталі та сталі марки Ст3 (далі Ст3) (рис. 2.2 та рис. 2.3).

Окрім того, було проведено дослідження впливу дизельного палива, ураженого мікроорганізмами, на шайби наступних різновидів: нержавіюча сталь А2, шайби з оцинкованої сталі та латунні шайби (рис. 2.4).

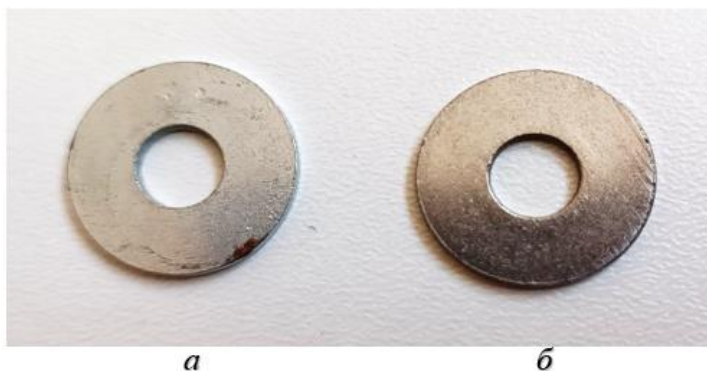


Рис. 2.2. Шайби для досліджень впливу мікробіологічної корозії на конструкційні матеріали у зразках №1 та №3: *а* – сталь Ст3; *б* – нержавіюча сталь

Примітка: Фото власних досліджень.



Рис. 2.3. Зразки палив для досліджень мікробіологічної корозії на конструкційні матеріали: *а*- загальний вигляд зразків палив; *б* – шайби на дні ємності із досліджуваним паливом.

Примітка: Фото власних досліджень.



Рис. 2.4. Шайби для досліджень впливу мікробіологічної корозії на конструкційні матеріали у дизельному паливі

Примітка: Фото власних досліджень

Латунна шайба має такі ключові характеристики:

- Матеріал: виготовлена з латуні — сплаву міді та цинку. Цей матеріал має привабливий золотистий відтінок, хороші механічні властивості та високу хімічну стійкість.
- Корозійна стійкість: латунь стійка до корозії, особливо у вологих умовах та при контакті з водою, включаючи морську. Добре переносить вплив більшості хімічних речовин, що робить шайби з латуні придатними для агресивних середовищ.
- Електропровідність: латунь є хорошим провідником електрики, завдяки чому такі шайби часто використовуються у електротехніці для створення контактів.
- Механічна міцність: латунні шайби мають середній рівень міцності, достатній для більшості кріпильних задач, але поступаються сталевим. Водночас вони легко піддаються обробці та не схильні до деформацій.
- Зносостійкість: висока стійкість до тертя та стирання забезпечує тривалий термін служби навіть у з'єднаннях із постійним навантаженням.
- Застосування: у сантехніці (стійкість до корозії у воді); у електротехніці (гарна провідність); у декоративних конструкціях (естетичний зовнішній вигляд); машинобудуванні та інших галузях, де важливі антикорозійні властивості та точність з'єднань.
- Особливості: немагнітна, що важливо для специфічних технічних задач; естетичний вигляд дозволяє використовувати у видимих частинах конструкцій.

Латунна шайба — це універсальний кріпильний елемент, що поєднує стійкість до корозії, електропровідність і привабливий вигляд, що робить її затребуваною в багатьох галузях.

Шайба з оцинкованої сталі має наступні основні характеристики:

- Матеріал: виготовлена зі звичайної вуглецевої сталі, покритої шаром цинку для захисту від корозії. Покриття може бути виконане методом гарячого цинкування або гальванічного оцинкування.
- Корозійна стійкість: завдяки оцинкованому покриттю, шайба стійка до впливу вологи та помірно агресивних середовищ. Придатна для використання в умовах підвищеної вологості, але менш стійка в порівнянні з нержавіючою сталлю, особливо у хімічно агресивних середовищах.
- Механічна міцність: залежить від марки сталі, з якої виготовлено основний елемент. Оцинковані шайби мають достатню міцність для більшості конструкційних з'єднань.
- Довговічність: оцинковане покриття забезпечує захист від корозії протягом тривалого часу, однак в умовах сильного тертя чи пошкодження шару цинку довговічність знижується.
- Застосування: використовуються у будівництві, машинобудуванні, монтажі інженерних конструкцій, для зовнішніх робіт та у місцях із помірним впливом атмосферних факторів.
- Особливості покриття: гальванічне оцинкування: гладке покриття, краще підходить для естетичних цілей; гаряче цинкування: товщий шар цинку, що забезпечує кращу стійкість до корозії.

Шайба з оцинкованої сталі є доступним і надійним рішенням для кріплення в умовах, де потрібна помірна корозійна стійкість та висока міцність. Шайба з нержавіючої сталі А2 має такі основні характеристики:

- Матеріал: виготовлена з аустенітної нержавіючої сталі класу А2 (аналог сталі 304). Цей матеріал має високий вміст хрому (близько 18 %) і нікелю (близько 8 %), що забезпечує її стійкість до корозії.
- Корозійна стійкість: стійка до впливу вологи, атмосферних факторів та слабких хімічних середовищ. Придатна для зовнішнього використання у помірних умовах. Не рекомендується для агресивних хімічних середовищ (для таких цілей краще використовувати сталь А4).

- Механічна міцність: володіє середньою міцністю, достатньою для більшості загальних конструкцій і кріпильних з'єднань.
- Застосування: використовується в будівництві, машинобудуванні, суднобудуванні, а також у виробках, де потрібна висока естетика та довговічність.
- Властивості: стійка до іржі; зберігає свої властивості в широкому діапазоні температур; легка в обслуговуванні та очищенні.

Шайба з нержавіючої сталі А2 є універсальним і надійним варіантом для багатьох видів кріплення, особливо в умовах, де потрібна стійкість до корозії та привабливий вигляд.

Слід зазначити, що за рекомендаціями ІАТА та ІСАО для технологічних операцій з паливом для реактивних двигунів JET A-1 рекомендовано використання паливопроводів і елементів обладнання із нержавіючої сталі.

Шайби зі сталі Ст3, є сплавом заліза, вуглецю та легуючих домішок, які додають у метал для надання йому потрібних властивостей. В цілому, це конструкційна вуглецева сталь звичайної якості, широко поширена у всіх сферах промислового виробництва, зокрема на підприємствах паливозаправних комплексів та в нафтогазовій-промисловості.

Хімічний склад матеріалу Ст3 містить такі елементи: залізо – 97 %; вуглець - 0,14 - 0,22 %; нікель, мідь, хром – кожен не більше 0,3 %; марганець – 0,4 - 0,65 %; кремній – 0,05 - 0,17 %; миш'як менше 0,08 %; сірки трохи більше 0,05; фосфор - менш як 0,04 %.

Вплив мікробіологічної корозії у паливному середовищі на обрані конструкційні матеріали, було досліджено за допомогою мікроскопа РЕМ-106-И (див. рис. 2.5), занесений до Держреєстру України як засіб вимірювання. Це растровий вимірювальний електронний мікроскоп з камерою низького вакууму для досліджень у матеріалознавстві, нанотехнологіях, фізиці, хімії, геології, мікроелектроніці, біології, медицині та ін. об'єктів. Результати дослідження впливу мікробіологічної корозії на поверхні шайб були отримані за допомогою програмного забезпечення до мікроскопа. Дослідження виконувалося в лабораторії нанотрибології КАІ.

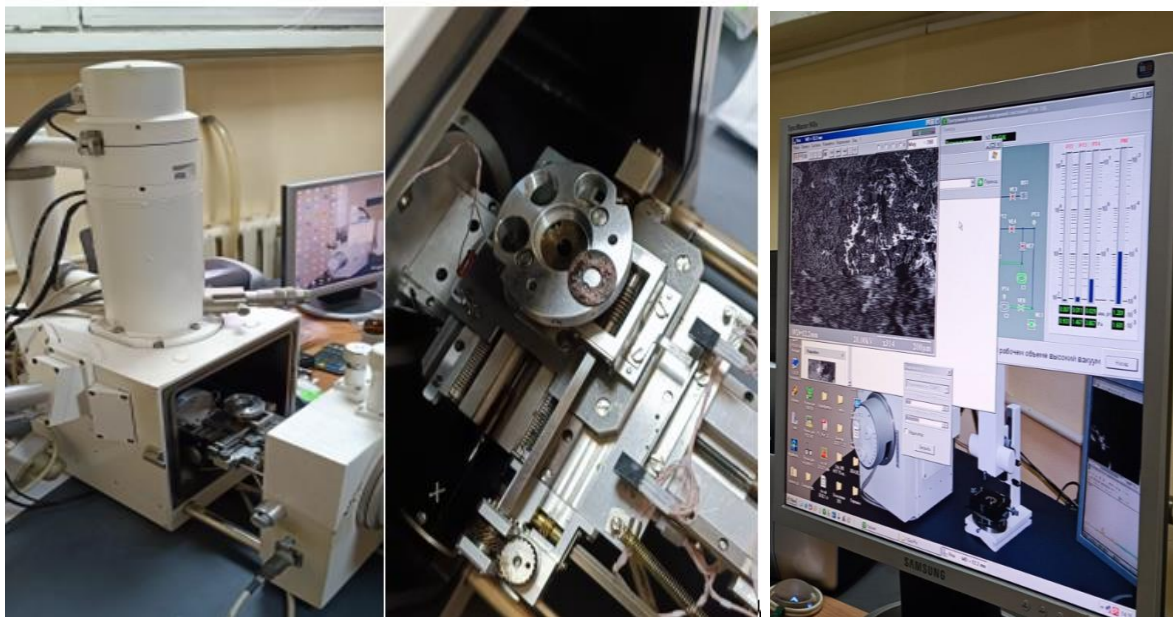


Рис.2.5. Растровий мікроскоп РЕМ-106-И

Примітка: Фото власних досліджень

Основні переваги та характеристики приладу:

- Швидке і точне вимірювання лінійних розмірів об'єктів.
- Визначення елементного складу об'єктів за допомогою рентгенівського мікроаналізу з гарантованою точністю.
- Висока якість електронно-оптичних зображень поверхні провідних і діелектричних матеріалів без необхідності спеціальної підготовки в режимах вторинних (ВЕ) та відбитих електронів (ОЕ).
- Наявність тестових зразків для калібрування і перевірки метрологічних параметрів, електронно-оптичного збільшення, роздільної здатності в режимах ВЕ і ОЕ, а також для калібрування системи мікроаналізу; комплект еталонів для кількісного мікроаналізу.
- Конструкція вакуумної системи, що дозволяє працювати в двох режимах в камері об'єктів: високовакуумному (класичний РЕМ) і низьковакуумному регульованому для дослідження діелектричних матеріалів.
- Електронно-оптична система з підвищеною захищеністю від зовнішніх електромагнітних полів.
- Висока вібростійкість.

- Об'єктивна лінза з розділовими діафрагмами для диференціальної відкачки камери об'єктів і електронної гармати.

- Управління вакуумною, електронно-оптичною, енерго-дисперсійною системами приладу та механізмом переміщення об'єктів здійснюється через персональний комп'ютер, також він відповідає за візуалізацію і зберігання зображень і результатів мікроаналізу.

- Документування зображень і спектрів здійснюється за допомогою високороздільного принтера.

- Інформація про стан приладу відображається на дисплеї комп'ютера.

Результати дослідження впливу мікробіологічної корозії на поверхні шайб були отримані за допомогою програмного забезпечення до мікроскопа.

Висновки до розділу

Визначення фізико-хімічних властивостей палив проводили за допомогою стандартизованих методик згідно нормативних документів на вуглеводневі палива, що були досліджені в ході роботи.

Дослідження мікроорганізмів, присутніх у паливах виконували за допомогою процедури висівання досліджуваних зразків із подальшим мікроскопіюванням та фотофіксацією.

Вплив мікробіологічного ураження на конструкційні матеріали проводили за допомогою візуального методу з застосуванням фотофіксації та растрового вимірювального електронного мікроскопа.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН ЯКОСТІ СВІТЛИХ НАФТОПРОДУКТІВ ПРИ ТРИВАЛОМУ ЗБЕРІГАННІ

Для дослідження динаміки змін якості світлих нафтопродуктів використовувалися наступні палива: паливо дизельне ДП-Арк-Євро5-В0 згідно ДСТУ 7688:2015 та ДСТУ; бензин автомобільний А-92-Євро5-Е5 однієї партії згідно ДСТУ 7687:2015, ДСТУ 8704:2017; паливо реактивне (РТ) згідно ГСТУ 320.001149943.007-97 [8, 9]. Робота проводилася на базі УкрНДІ «Ресурс» в межах НДР, де автор був відповідальним виконавцем: «Дослідження динаміки змін якості бензину автомобільного в умовах зберігання в системі Держрезерву України», (державний номер реєстрації: №0120U000430), термін роботи: 12.2020 – 12.2022) та «Дослідження динаміки змін якості палива дизельного в умовах зберігання в системі Держрезерву України» (державний номер реєстрації: №0120U000360, термін роботи: 03.2020 – 12.2022).

3.1. Динаміка змін якості дизельного палива при тривалому зберіганні

Для проведення дослідження було обрано дизельне паливо ДП-Арк-Євро5-В0 за стандартом ДСТУ 7688:2015, з гарантійним терміном зберігання 5 років з моменту виробництва та знаходилося на зберіганні підприємства Держрезерву України. Згідно зі статтею 269 Господарського кодексу України, передбачається можливість подовження гарантійних строків зберігання товарів, що призначені для довготривалого зберігання. Проби відбиралися з резервуарів протягом встановленого часу, у пропорції 1:3:1, згідно з стандартизованими методами. Для дослідження дизельного палива використовувалися методи контролю усіх фізико-хімічних показників, що визначені ДСТУ 7687:2015. Боло проаналізовано усі показники якості, та для вивчення динаміки змін якості палива дизельного обрано ті, що найбільшою мірою змінилися за заданий період зберігання.

Таким чином дослідження якості палива дизельного проведено на основі результатів змін таких показників, як масова частка води, механічних домішок, окиснювальна стабільність палива та змащувальна здатність (рис. 3.1- 3.4).

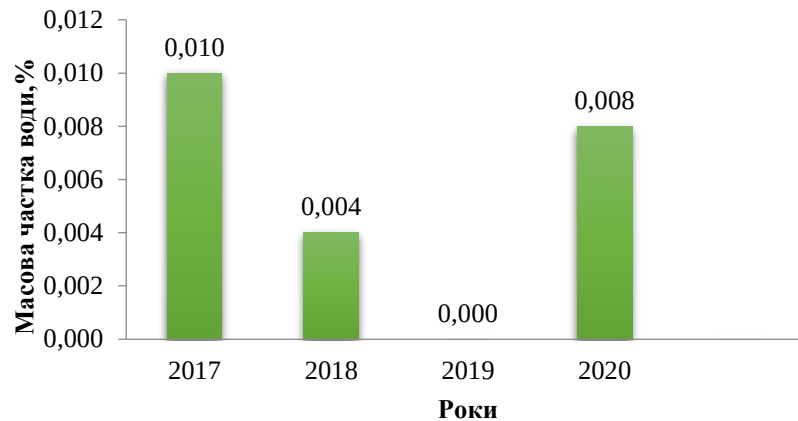


Рис.3.1. Зміна масової частки води при зберіганні палива дизельного ДП-Арк-Євро5-В0

Примітка: Сформовано автором на основі результатів досліджень якості палива дизельного.

Дослідження зміни масової частки води у паливі підтверджують, що його обводнення при зберіганні відбувається постійно через доступ атмосферного повітря до резервуару за рахунок малого та великого «дихання» резервуару (рис. 3.1). Більш детально про обводнення зазначено у Розділі 1 п. 1.3. Найвищий зареєстрований показник (0,01 % масової частки) можна пояснити наявністю «вільної» підтоварної води в транспортних цистернах, яка потім поширюється в дисперсному стані по всьому обсягу пального внаслідок турбулентності під час перезавантаження нафтопродукту в резервуар зберігання. Під час подальшого зберігання кількість «вільної води» у паливі, як правило, зростає. Оскільки методика відбору проб для даного аналізу не охоплює зону «підтоварної води», можна зробити висновок, що в паливному шарі присутня емульгована вода, яка негативно впливає на інші показники якості.

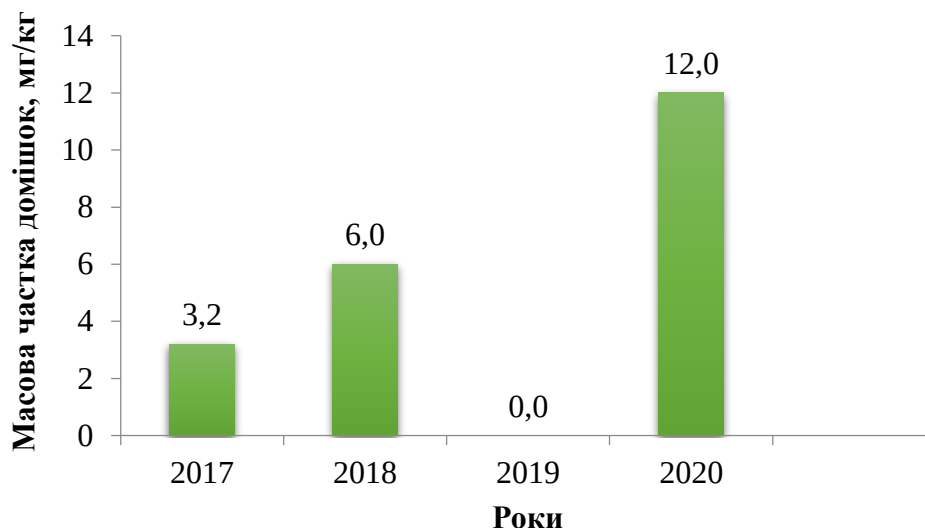


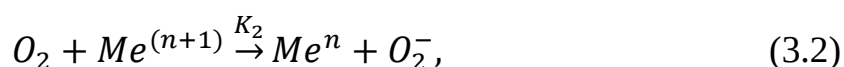
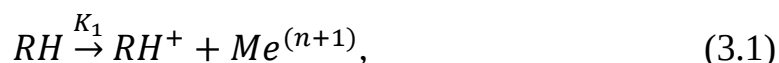
Рис. 3.2. Зміна масової частки механічних домішок палива дизельного ДП-Арк-Євро5-B0

Примітка: Сформовано автором на основі результатів досліджень якості палива дизельного.

Зростання механічних домішок (рис. 3.2) збільшилося в чотири рази під час зберігання палива в резервуарах, що свідчить про попадання атмосферного пилу через дихальні клапани резервуару та про хімічні процеси, що постійно відбуваються у паливі, призводячи до збільшення продуктів окиснення, також можлива наявність продуктів корозійного ушкодження технологічного обладнання (детальніше про забруднення механічними домішками розглянуто у Розділі 1, п.1.3).

На рис. 3.3 представлені експериментально-практичні дані про зміну окиснювальної стабільності дизельного пального, які свідчать про постійний перебіг фізико-хімічних процесів, що сприяють окисненню нафтопродукту.

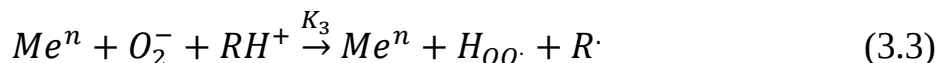
Ініціаторами окиснення можуть бути реакції іонізації молекул вуглеводнів та молекул кисню:



де $K_1 K_2$ – порядок реакцій;

Me – метал.

Наступне ініціювання взаємодії кисню з вуглеводнем викликає утворення активних центрів.:



Утворені вільні радикали ініціюють ланцюгову реакцію окиснення палива, яке перебуває на тривалому зберіганні.

Внаслідок окиснення спостерігається ланцюг послідовних перетворень і реакцій естерифікації, поліконденсації та полімеризації, що ведуть до утворення смол, склад і властивості яких постійно змінюються. Зі збільшенням терміну зберігання, смоли стають більш кислими, а їх вміст збільшується.

Це підтверджується зростанням показника окиснювальної стабільності палива в 3,3 рази (з 3 до 10 г/м³), що, як зазначалося у розділі 1, негативно впливає на повноту згоряння, витрату палива, його ефективне використання та екологічні характеристики. Водночас, результати щодо змащувальної здатності дизельного пального продемонстрували поліпшення трибологічних властивостей (рис. 3.3).

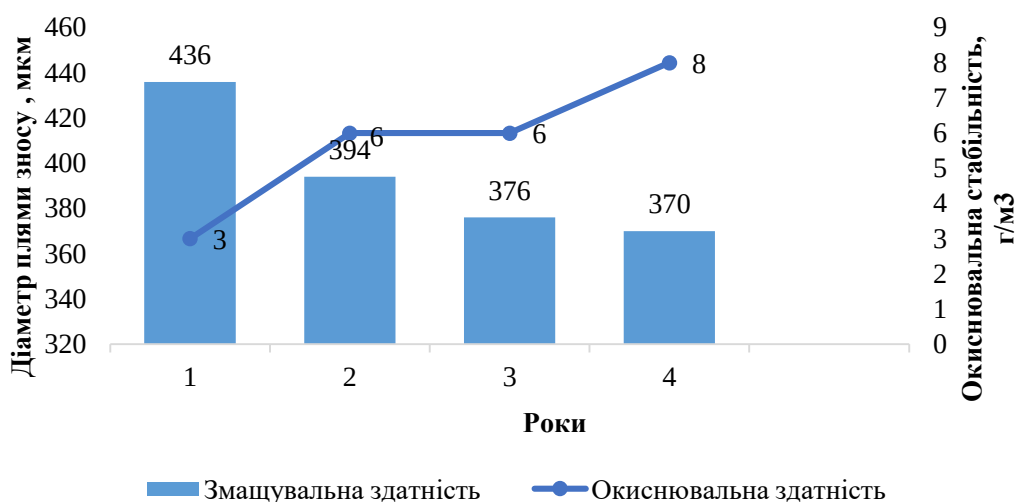


Рис. 3.3. Порівняльна оцінка динаміки змін окиснювальної та діаметру плями зносу палива ДП-Арк-Євро5-В0

Примітка: Сформовано автором на основі результатів досліджень якості палива дизельного.

Згідно з нормативними вимогами ДСТУ 7688:2015 [7], діаметр плями зносу дизельного палива не повинен перевищувати 460 мкм. Зменшення плями зносу на 18 % можна пояснити збільшенням кількості продуктів окиснення палива,

включаючи високомолекулярні окислювальні продукти, такі як смоли, які мають добрі протизносні властивості та знижує тертя (рис. 3.3).

В даній роботі встановлено, що основними показниками якості, які змінилися найбільше при зберіганні палив і знаходилися найближче до виходу за межі ДСТУ, є «Масова частка механічних домішок», «Окиснювальна стабільність».

Тому, за отриманими даними проведемо прогнозну оцінку, за який час паливо може вийти за межі кондиції. Для прогнозування візьмемо значення за 2017, 2018 та 2020 роки для кожного з показників (рис. 3.4 – 3.5).

Масова частка механічних домішок.

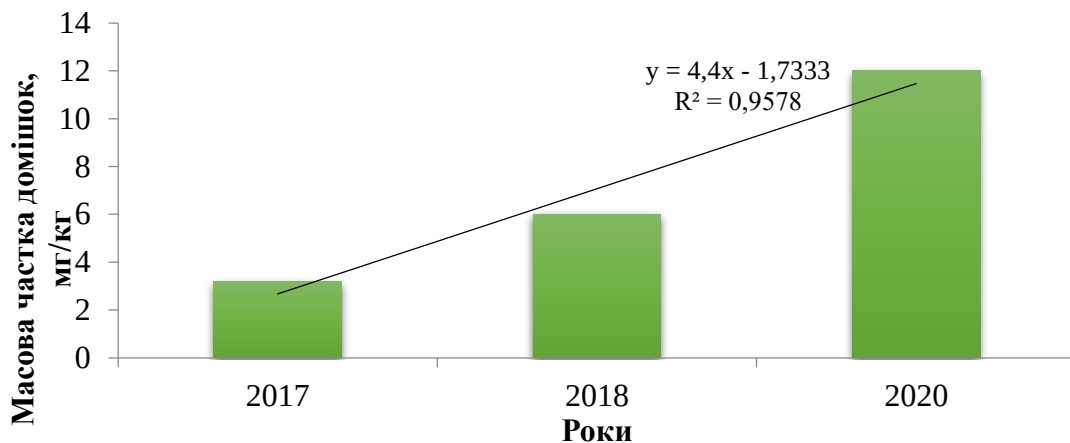


Рис. 3.4. Зміна масової частки механічних домішок палива дизельного ДП-Арк-Євро5-В0

Примітка: Сформовано автором на основі результатів досліджень якості палива дизельного.

Рівняння лінії тренду для графічної залежності зміни вмісту масової частки домішок при тривалому зберіганні ДП-Арк-Євро5-В0 має вид:

$$y = 4,4x - 1,7333 \quad (3.4)$$

Для оцінки якості побудови лінії тренду та відповідно достовірності отриманих даних визначали коефіцієнт достовірності апроксимації R^2 . Цей показник відображає рівень відповідності трендової моделі початковим даним. Для цього порівнюються фактичні значення та значення, отримані за допомогою

рівняння прямої. На основі порівняння обчислюється коефіцієнт, який нормується в діапазоні від 0 до 1. Чим ближчий R^2 до 1, тим точніше модель відображає дані.

Для отриманого рівняння лінії тренду цей коефіцієнт $R^2 = 0,9578$. Прогноз буде мати наступний вигляд (табл. 3.1):

Таблиця 4.1

Прогнозна оцінка зміни показника масової частки механічних домішок палива дизельного ДП-Арк-Євро5-В0

№з/п	Рік зберігання палива	Прогнозоване значення показника масової частки механічних домішок, мг/кг
1	5-ий	20,27
2	6-ий	24,67

Примітка: Сформовано автором на основі прогнозування.

Відповідно до отриманих даних, паливо дизельне може вийти за межі кондиції за показником вмісту механічних домішок через 5 років (відповідно ДСТУ 7688 не більше 24 мг/кг). На основі отриманих даних можна зазначити, що паливо дизельне за вмістом механічних домішок може зберігатися не більше 5 років, без втрати якості за цим показником.

Окиснювальна стабільність.

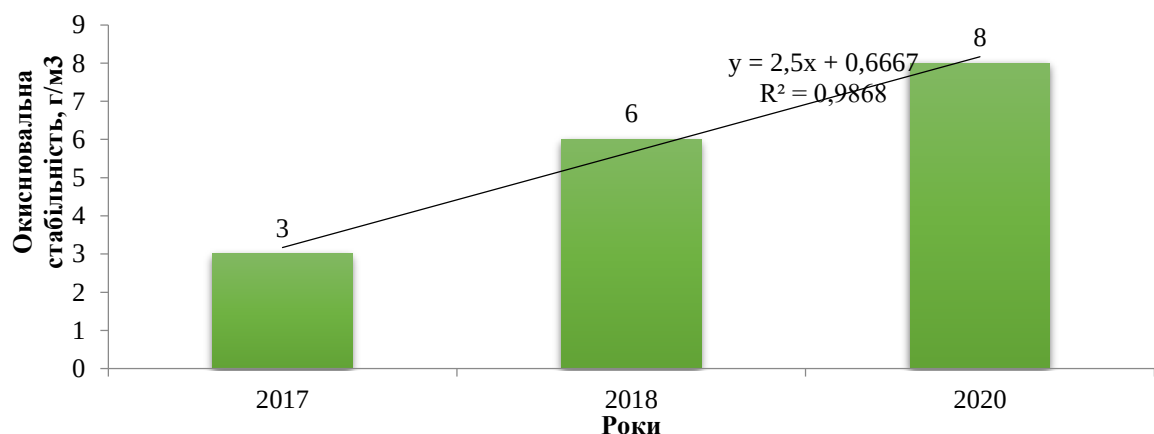


Рис. 3.5. Порівняльна оцінка динаміки змін окиснювальної стабільності палива ДП-Арк-Євро5-В0

Примітка: Сформовано автором на основі результатів досліджень якості палива дизельного.

Рівняння лінії тренду для графічної залежності зміни окиснювальної стабільності палива при тривалому зберіганні ДП-Арк-Євро5-В0 має вид:

$$y = 4,4x - 1,7333 \quad (3.5)$$

для якого коефіцієнт достовірності апроксимації $R^2 = 0,9578$, прогноз буде наступним (табл. 3.2):

Таблиця 5.2

Прогнозна оцінка зміни показника окиснювальної стабільності палива
ДП-Арк-Євро5-В0

№з/п	Рік зберігання палива	Прогнозоване значення показника окиснювальної стабільності палива, г/м ³
1	5-ий	13,17
2	6-ий	15,67
3	7-ий	18,17
4	8-ий	20,67
5	9-ий	23,17
6	10-ий	25,67

Примітка: Сформовано автором на основі прогнозування.

Відповідно до отриманих даних, критичне значення показника окиснювальної стабільності для палива дизельного буде через 9 років з моменту виготовлення (відповідно ДСТУ 7688 не більше 25 г/м³).

Отже, динаміка зміни показників якості досліджуваного палива свідчить про те, що протягом часу зберігання не відбулося суттєвих змін у його якості, які могли б вплинути на придатність до подальшого зберігання. Дизельне паливо має достатній запас якості і залишається придатним для зберігання при дотриманні встановлених нормативних вимог.

3.2. Динаміка змін якості бензину автомобільного при тривалому зберіганні

Для дослідження динаміки змін якості палива був використаний бензин автомобільний А-92-Євро5-Е5 однієї партії згідно з ДСТУ 7687:2015 «Бензини

автомобільні ЄВРО. Технічні умови», з гарантійним терміном зберігання 3 роки від дати виготовлення (ДСТУ 8704:2017). При дослідженні бензину застосовані методи контролю усіх фізико-хімічних показників, що визначені ДСТУ 7687:2015. Проведений аналіз змін показників якості автомобільного бензину А-92-Євро5-Е5 показав, що деякі з них змінилися найбільше. Розглянемо більш детально результати змін у показниках якості палива (рис. 3.6 - 3.14).

Фізична стабільність автомобільного бензину оцінювалася за показниками «Тиск насиченої пари» і «Фракційний склад». Фракційний склад за ДСТУ 7687 визначається як Об'ємна частка випаровування при заданій температурі. Результати аналізу свідчать, що під час зберігання бензину тиск насиченої пари (рис. 3.6) знизився на 8,9 %, залишаючись у межах, визначених ДСТУ 7687:2015 (45-80 кПа). Зменшення тиску насиченої пари можна пояснити зниженням вмісту легколетких фракцій палива, що спричинене випаровуванням під час тривалого зберігання бензину. Отримані дані корелюють із теоретичними засадами, детально розглянутими у Розділі 1.

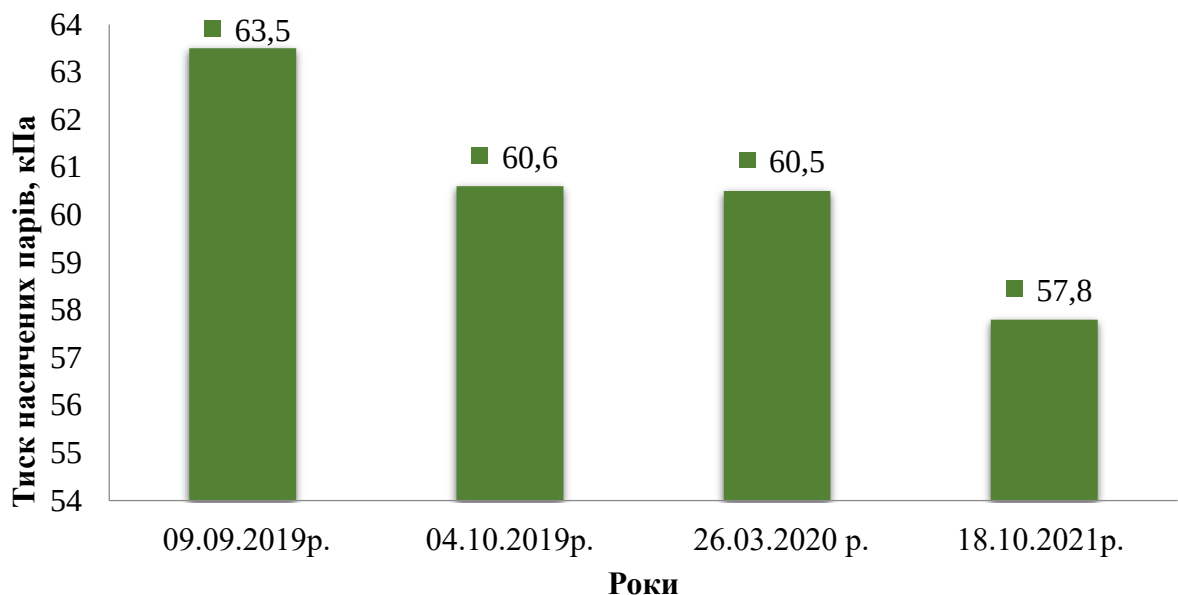


Рис. 3.6. Зміна тиску насиченої пари при тривалому зберіганні А-92-Євро5-Е5, кПа

Примітка: Сформовано автором на основі результатів досліджень якості бензину автомобільного

Аналізуючи зафіксовані зміни фракційного складу нафтопродукту при його дворічному зберіганні зазначимо, що вони були незначні (до 3 %), що відповідає вимогам ДСТУ 7687:2015 (при температурі 100 °С випаровується 46 -71 % об., при температурі 150 °С — не менше 75 % об.) (рис. 3.7). Це можна пояснити процесами випаровування та втратою легких фракцій палива, змінами у його вуглеводневому складі. Варто зазначити, що зміни фракційного складу безпосередньо впливають на експлуатаційні властивості палива (див. розд. 1). Важливо також, що при погіршенні фракційного складу знижується октанове число, що призводить до зменшення детонаційної стійкості.

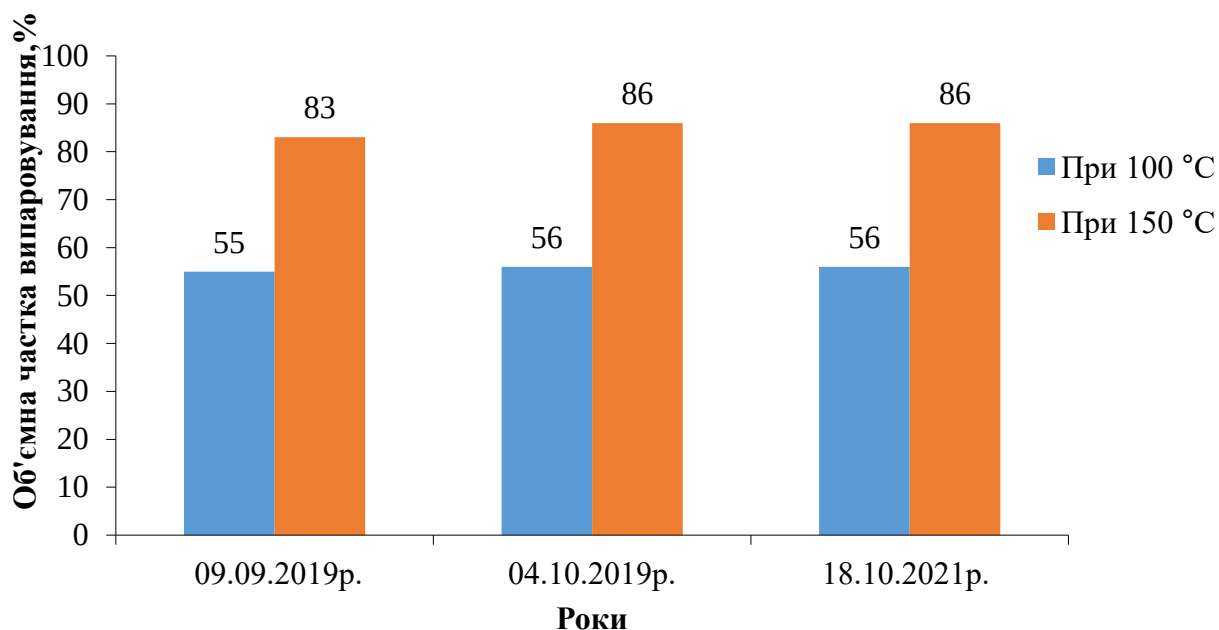


Рис. 3.7. Зміна фракційного складу при тривалому зберіганні А-92-Євро5 Е5, %.

Примітка: Сформовано автором на основі результатів досліджень якості бензину автомобільного

У цій роботі також досліджувалися такі показники якості бензину, як «Об'ємна частка ароматичних вуглеводнів», «Об'ємна частка олефінових вуглеводнів», «Об'ємна частка бензолу», «Об'ємна частка кисню» та «Об'ємна частка кисневмісних сполук (вміст етерів)». Аналіз отриманих результатів

показує, що вміст ароматичних вуглеводнів підвищився на 2,6 % за період зберігання 2 роки, залишаючись у межах ДСТУ 7687:2015 (не більше 35 % об.) (рис. 3.8).

Підвищення вмісту ароматичних сполук негативно впливає на фізико-хімічні та експлуатаційні властивості палива. Зокрема, збільшення аренів призводить до зростання в'язкості та знижує випаровуваність, що ускладнює запуск двигуна, а також підвищує гігроскопічність, токсичність, схильність до нагароутворення та самозаймання палива. Збільшення кількості аренів може також спричиняти зниження тиску насиченої пари нафтопродукту, як видно на рис. 3.6. Крім того, вони можуть негативно впливати на гумові та полімерні деталі (фільтри, трубки, ущільнення тощо), оскільки є сильними розчинниками.

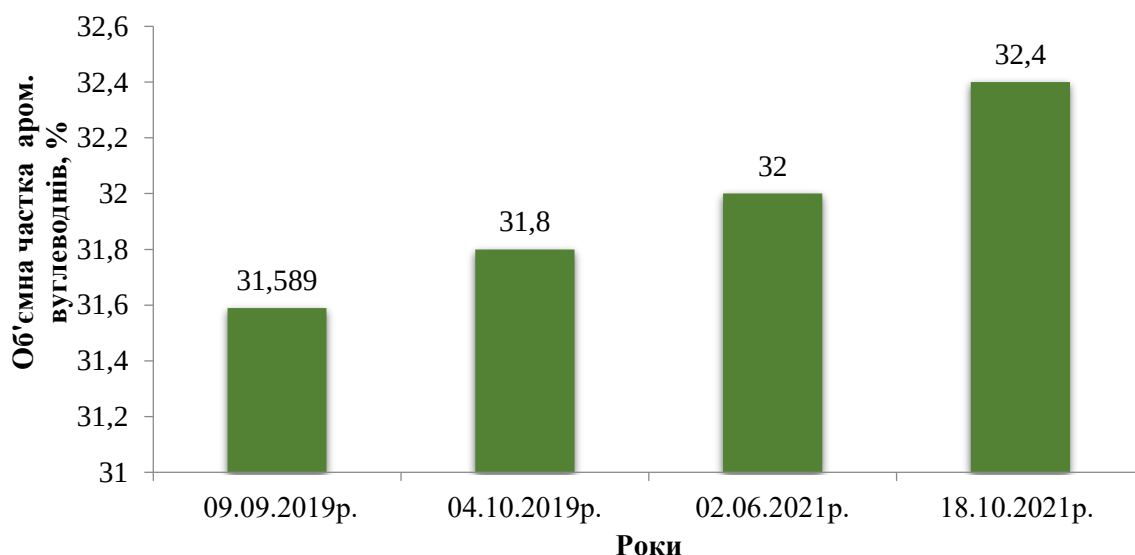


Рис. 3.8. Зміна об'ємної частки ароматичних вуглеводнів при тривалому зберіганні А-92-Євро5-Е5, %

Примітка: Сформовано автором на основі результатів досліджень якості бензину автомобільного

Під час зберігання досліджуємого бензину, вміст олефінових вуглеводнів (рис. 3.9) зменшився на 0,2 %, що відповідає допустимим нормам ДСТУ 7687:2015 (не більше 18 % об.). Зниження ж концентрації олефінових вуглеводнів можна пояснити їх схильністю до окиснення і полімеризації під час зберігання, що призводить до утворення фактичних смол.

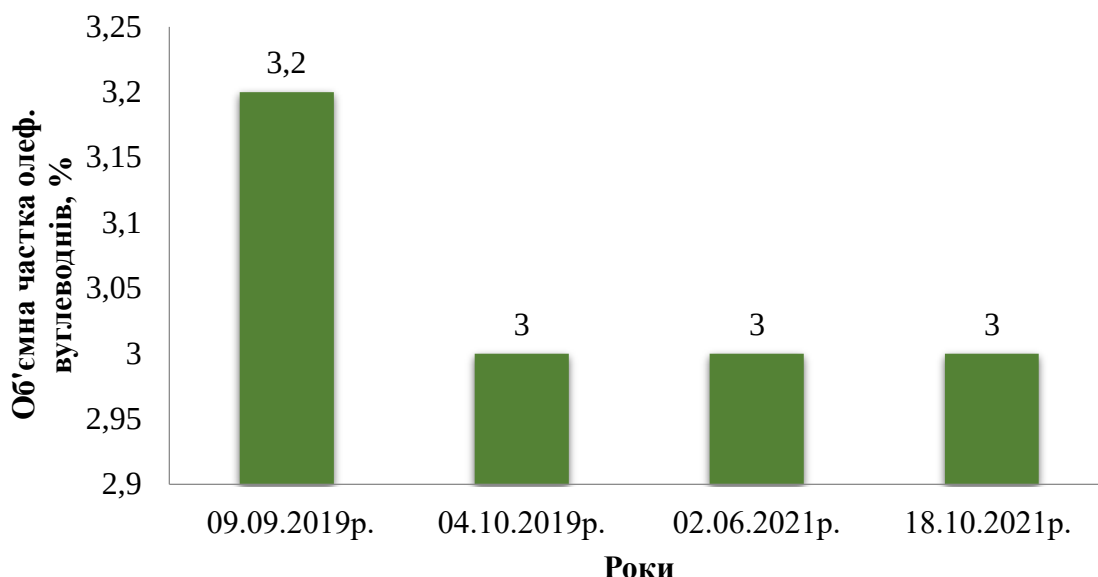


Рис. 3.9. Зміна об'ємної частки олефінових вуглеводнів при тривалому зберіганні А-92-Євро5-Е5

Примітка: Сформовано автором на основі результатів досліджень якості бензину автомобільного

Проведені дослідження показали, що існує залежність між вмістом ароматичних вуглеводнів і бензолу: так зі зростанням «об'ємної частки ароматичних вуглеводнів» відповідно збільшується «об'ємна частка бензолу» (рис. 3.8, 3.10). Це створює екологічну і токсичну небезпеку, оскільки при згорянні бензолу утворюється канцерогенний бензапірен.

Отже, чим більше бензолу у складі палива, тим токсичнішими стають і бензин, і продукти його згорання. Бензол є гігроскопічним, тому його підвищений вміст може спричиняти активніше поглинання води з навколишнього середовища, що підвищує корозійну активність палива й може негативно впливати на матеріали при тривалому зберіганні.

Вміст бензолу у зразку визначався відповідно до ДСТУ 7686:2015 методом газової хроматографії з високою роздільністю на 100-метровій капілярній колонці. Враховуючи, що відношення стандартного відхилення повторюваності до середнього значення для кожного компонента має бути не більше 0,1, можна стверджувати, що об'ємна частка бензолу за тривалого зберігання істотно не

змінилася і залишається в межах, допустимих за ДСТУ 7687:2015 (не більше 1% об.).

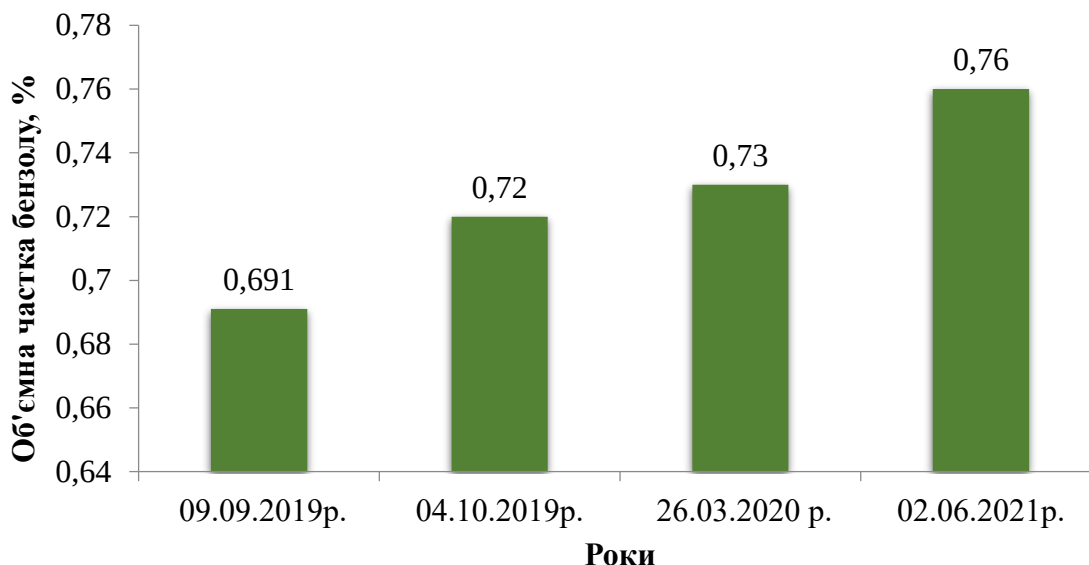


Рис. 3.10. Зміна об'ємної частки бензолу при тривалому зберіганні А-92-Євро5-Е5, %.

Примітка: Сформовано автором на основі результатів досліджень якості бензину автомобільного

Показник якості палива «Об'ємна частка кисню» (рис. 3.11) за заданий період зберігання демонструє чітку тенденцію до зниження, що можна пояснити взаємодією розчиненого кисню з найменш стабільними вуглеводнями та гетероорганічними сполуками. Крім того, каталізаторами процесу окиснення вуглеводнів виступають металеві поверхні обладнання, підтоварна вода, мікробіологічне забруднення та тверда дисперсна фаза механічних домішок, які постійно контактують з паливом (більш детальна інформація у Розділі 1).

У результаті, ланцюгова реакція окиснення вуглеводнів п призводить до утворення продуктів окиснення, що погіршує якість палива загалом. Наразі, аналіз фактичних даних показника якості показав, що «Об'ємна частка кисню» при тривалому зберіганні досліджуємого палива залишається в межах, дозволених ДСТУ 7687:2015 (не більше 2,7 % об.).

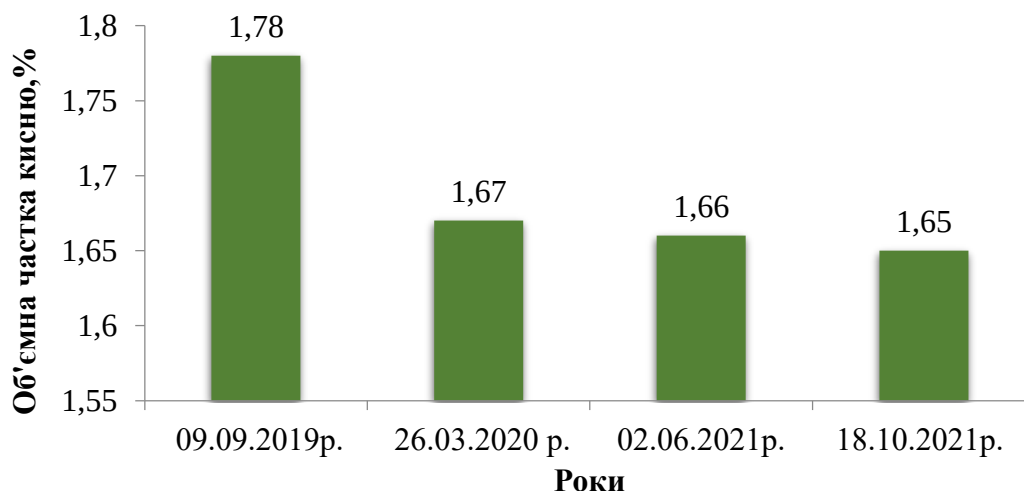


Рис. 3.11. Зміна об'ємної частки кисню при тривалому зберіганні А-92-Євро5-Е5, %.

Примітка: Сформовано автором на основі результатів досліджень якості бензину автомобільного

Показник «Об'ємна частка етерів» за заданий період зберігання демонструє помітне зменшення з подальшою стабілізацією та залишається в межах, допустимих за вимогами ДСТУ 7687:2015 (не більше 15 % об.) (рис. 3.12). Відомо, що етери використовуються як оксигенати при виробництві моторних палив і мають високе октанове число (106–125 за дослідницьким методом та 94–110 за моторним), тому зменшення їх вмісту в автомобільному бензині може спричинити відповідне зниження октанового числа та тиску насичених парів нафтопродукту.

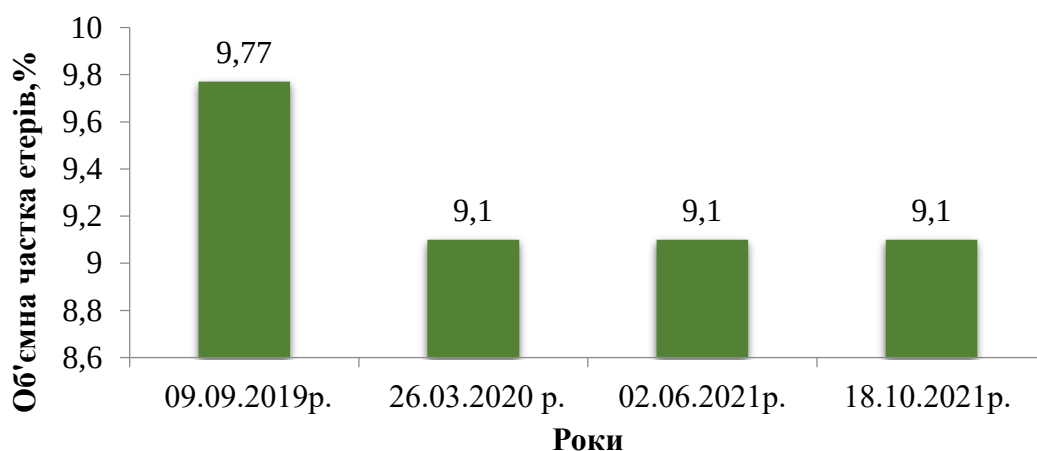


Рис. 3.12. Зміна об'ємної частки етерів при тривалому зберіганні А-92-Євро5-Е5, %.

Примітка: Сформовано автором на основі результатів досліджень якості бензину автомобільного

Відомо, що октанове число (ОЧ) бензину є показником його детонаційної стійкості і визначає придатність палива для використання в двигунах внутрішнього згоряння. Дослідження змін якості палива (рис. 3.13) показує, що протягом перших 26 місяців ОЧ зростає, що може пояснюватися збільшенням вмісту ароматичних вуглеводнів і бензолу (рис. 3.8, 3.10), які підвищують детонаційну стійкість бензину. Надалі спостерігається зниження ОЧ, що, ймовірно, пов'язано з переважанням процесів окиснення та полімеризації, які знижують октанопідвищуючий ефект аренів. Зниження цього показника може також бути результатом втрати легких фракцій бензину через випаровування. Загалом, показники ОЧ палива, що досліджувалося, відповідають вимогам ДСТУ 7687:2015 (октанове число за дослідним методом не менше 92).

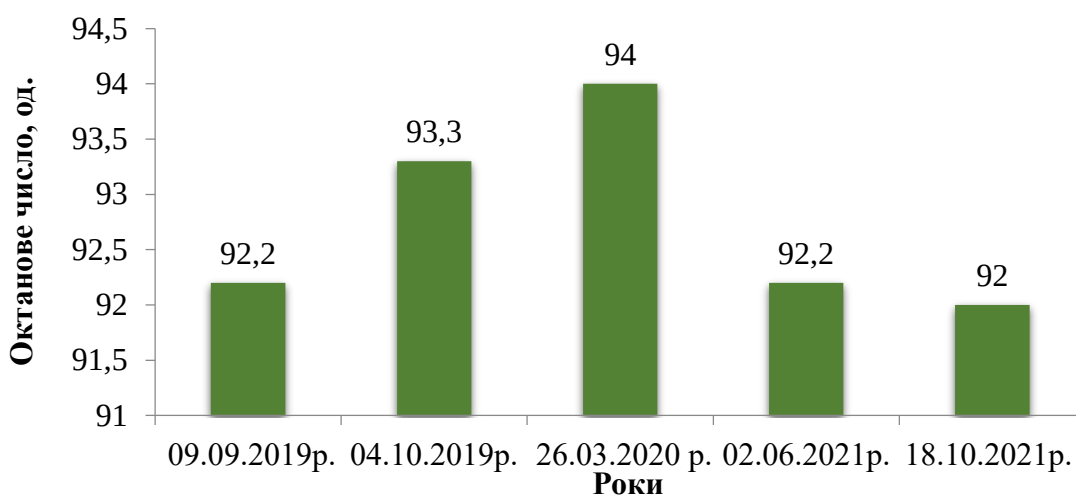


Рис. 3.13. Зміна октанового числа (дослідний метод) при тривалому зберіганні А-92-Євро5-Е5.

Примітка: Сформовано автором на основі результатів досліджень якості бензину автомобільного.

Встановлено, що основними показниками якості, які змінилися найбільше при дворічному зберіганні палив на підприємстві нафтопродуктозабезпечення і знаходилися найближче до виходу за межі вимог кондиційності ДСТУ, були «Тиск насиченої пари», «Об'ємна частка бензолу», «Об'ємна частка ароматичних вуглеводнів».

За отриманими даними спрогнозуємо, за який час таке паливо може вийти за межі кондиції. Для прогнозування візьмемо значення за 2019, 2020 та 2021 роки для кожного з показників (рис.3. 14. – 3.16) .

Тиск насиченої пари

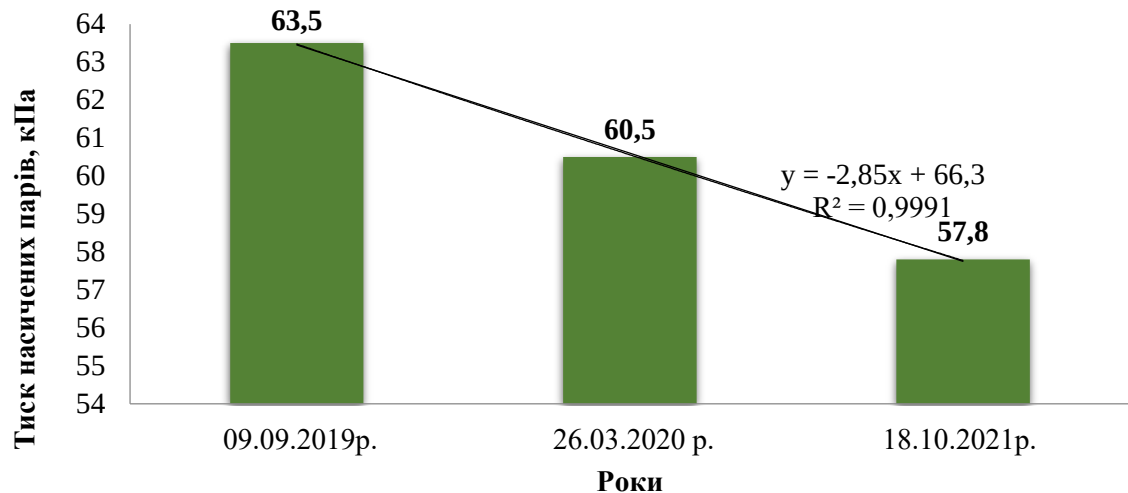


Рис. 3.14. Зміна тиску насиченої пари при тривалому зберіганні А-92-Євро5-Е5, кПа

Примітка: Сформовано автором на основі результатів досліджень якості бензину автомобільного

Рівняння лінії тренду для графічної залежності зміни тиску насиченої пари при тривалому зберіганні А-92-Євро5-Е5 має вид:

$$y = -2,85x + 66,3 \quad (3.6)$$

для якого коефіцієнт достовірності апроксимації $R^2 = 0,9991$. Таким чином прогноз буде мати наступний вигляд (табл. 3.3).

Таблиця 6.3

Прогнозна оцінка зміни показника тиску насиченої пари бензину автомобільного

№з/п	Рік зберігання палива	Прогнозоване значення показника тиску насиченої пари, кПа
1	4-ий	54,9
2	5-ий	52,05
3	6-ий	49,2
4	7-ий	46,35
5	8-ий	43,5

Примітка: Сформовано автором на основі прогнозування.

Відповідно до отриманих даних видно, що критичним значення тиску насиченої пари бензину автомобільного буде через 7 років (відповідно до ДСТУ 8704:2017 не менше 45 кПа.).

Зміна об'ємної частки бензолу при тривалому зберіганні

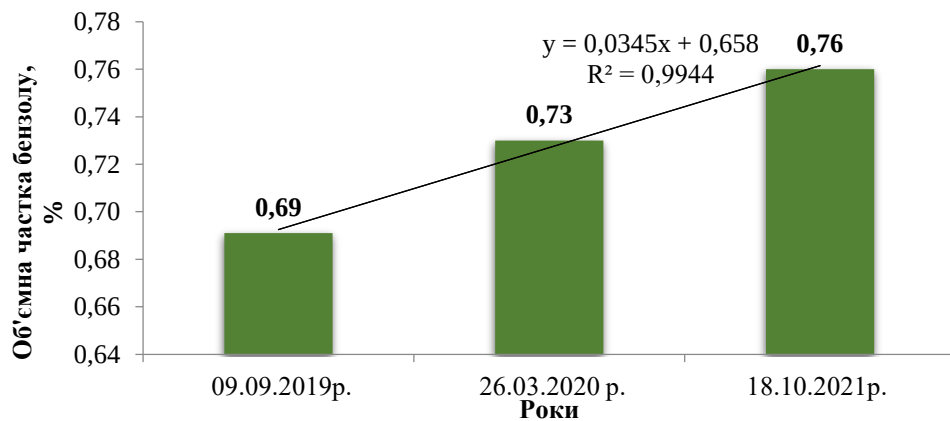


Рис. 3.15. Зміна об'ємної частки бензолу при тривалому зберіганні А-92-Євро5-Е5, %.

Примітка: Сформовано автором на основі результатів досліджень якості бензину автомобільного

Рівняння лінії тренду для графічної залежності зміни об'ємної частки бензолу при тривалому зберіганні А-92-Євро5-Е5 має вид:

$$y = 0,0345x + 0,658 \quad (3.7)$$

для якого коефіцієнт достовірності $R^2 = 0,9944$. Отже, прогноз буде наступним (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Прогнозна оцінка зміни показника вмісту бензолу бензину автомобільного

№з/п	Рік зберігання палива	Прогнозоване значення показника вмісту бензолу, % об
1	4-ий	0,80
2	5-ий	0,83
3	6-ий	0,87
4	7-ий	0,90
5	8-ий	0,93
6	9-ий	0,97
7	10-ий	1,00

Примітка: Сформовано автором на основі прогнозування

Відповідно до отриманих даних критичним значення вмісту бензолу для бензину автомобільного буде через 10 років і становитиме 1,0% при максимально допустимому значенні 1,0% (ДСТУ 7688).

Зміна об'ємної частки ароматичних вуглеводнів

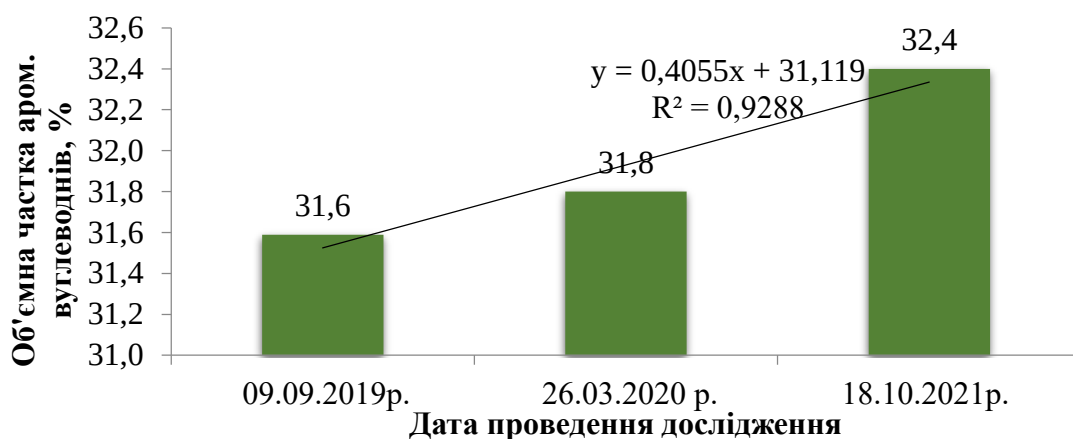


Рис. 3.16. Зміна об'ємної частки ароматичних вуглеводнів при тривалому зберіганні А-92-Євро5-Е5, %

Примітка: Сформовано автором на основі результатів досліджень якості бензину автомобільного

Рівняння лінії тренду для графічної залежності зміни вмісту ароматичних вуглеводнів при тривалому зберіганні А-92-Євро5-Е5 має вид:

$$y = 0,4055x + 31,119 \quad (3.8)$$

для якого $R^2 = 0,9288$, прогноз буде мати наступний вигляд (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

Прогнозна оцінка зміни показника вмісту ароматичних вуглеводнів бензину автомобільного

№з/п	Рік зберігання палива	Прогнозоване значення показника вмісту ароматичних вуглеводнів, %
1	4-ий	32,74
2	5-ий	33,15
3	6-ий	33,55
4	7-ий	33,96
5	8-ий	34,36
6	9-ий	34,77
7	10-ий	35,17

Примітка: Сформовано автором на основі результатів досліджень якості бензину автомобільного.

Відповідно до отриманих даних критичним вміст ароматичних вуглеводнів бензину автомобільного буде через 9 років з моменту виготовлення (відповідно до ДСТУ 7688 не більше 35 од.).

Проведений в роботі моніторинг та аналіз динаміки змін якості автомобільного бензину показав, що за дворічний період зберігання палива відбуваються зміни в його груповому складі, фізичній та хімічній стабільності. Однак, протягом цього часу показники якості залишалися в межах норм ДСТУ 7687:2015, і жодних змін, що могли б негативно вплинути на придатність бензину для подальшого зберігання або використання, не було виявлено. Прогнозування ж зміни якості бензину автомобільного показало, що серед показників якості, які найбільше чутливі до змін при фактичному зберіганні палива, є «Тиск насиченої пари».

3.3. Динаміка змін якості палива для реактивних двигунів при тривалому зберіганні

Відповідно до поставлених задач в роботі проаналізовані фізико - хімічні показники палива для реактивних двигунів РТ згідно ГСТУ 320.001149943.007-97 та встановлено, що найбільше зазнають змін при зберіганні: «Йодне число» та «Концентрація фактичних смол». Результати аналізу періодичного контролю якості реактивних палив, що знаходилися на тривалому зберіганні наведено на рис. 3.17 - 3.18.

Як відомо, йодне число (рис. 3.17) характеризує вміст ненасичених вуглеводнів у нафтопродукті та визначається кількістю грамів йоду, яка взаємодіє зі 100 г продукту. Для його визначення створюються спеціальні умови, за яких йод реагує лише з олефінами. Йодне число не повинно перевищувати 0,5 г на 100 г палива. Чим вище цей показник, тим більше олефінів у паливі, що свідчить про

його нижчу якість. Під час зберігання і транспортування олефіни окиснюються, утворюючи смоли (рис.3.18), які можуть пошкодити систему живлення та сприяти утворенню нагару.

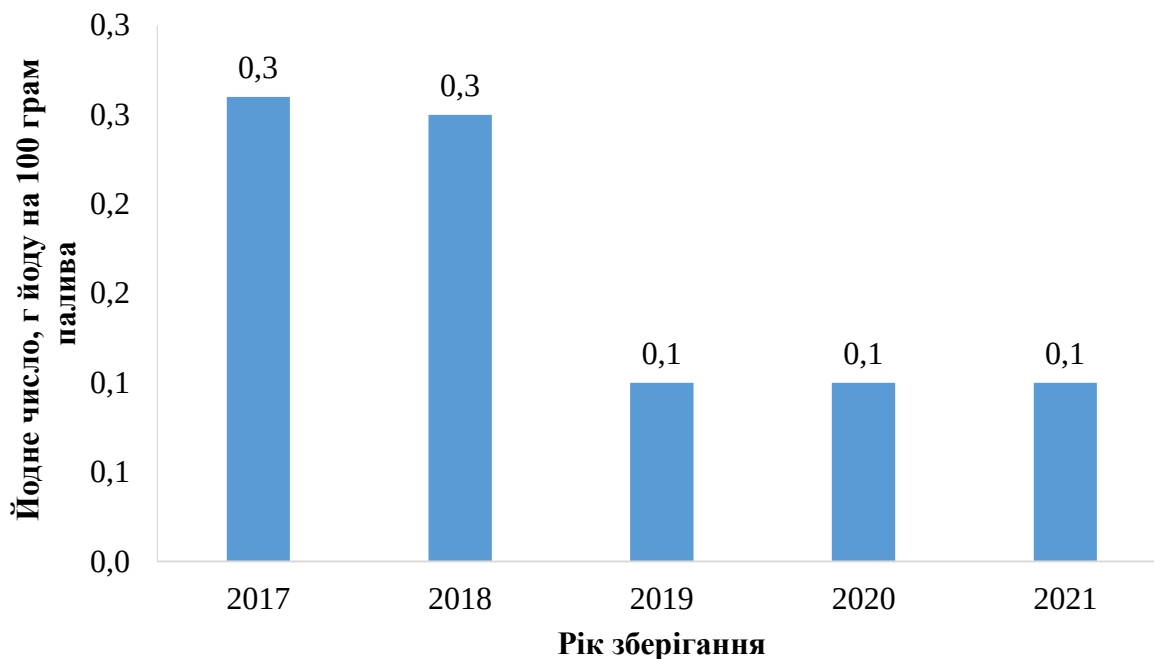
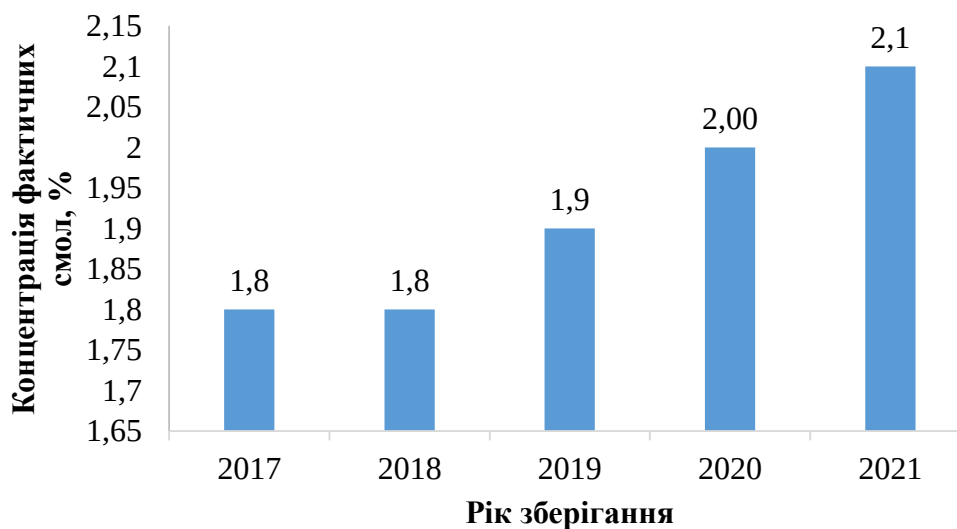


Рис. 3.17. Зміна йодного числа при тривалому зберіганні реактивного палива РТ

Примітка: Сформовано автором на основі результатів досліджень РТ

Зменшення йодного числа палива можна пояснити зниженням концентрації олефінових вуглеводнів, враховуючи їх схильність до окиснення і полімеризації під час зберігання, що призводить до підвищення утворення фактичних смол, що підтверджується даними (рис. 3.18).



**Рис. 3.18. Зміна концентрації фактичних смол при тривалому зберіганні
реактивного палива РТ**

Примітка: Сформовано автором на основі результатів досліджень якості палива РТ

Аналіз динаміки змін якості палива РТ показав, що за п'ять років зберігання показники якості залишалися в межах норм нормативного документа, і жодних змін, що могли б негативно вплинути на придатність для подальшого зберігання або використання, не було виявлено. Проте можна стверджувати, що за період зберігання все ж відбуваються зміни в його фізичній та хімічній стабільності, які представлені змінами у фізико-хімічних показниках.

Висновки до розділу

Аналіз змін якості автомобільного бензину за дворічний період зберігання показав, що відбулися зміни в його груповому складі, фізичній та хімічній стабільності, що свідчить про процеси випаровування легких фракцій, окиснення, полімеризації та взаємодії з твердою дисперсною фазою. Для найкращого збереження якості бензину рекомендується зберігання в підземних резервуарах, повністю заповнених та оснащених антикорозійним покриттям, або в наземних резервуарах з системою рекуперації парів та пристроями для видалення підтоварної води.

На основі отриманих прогнозних даних можна зазначити, що паливо дизельне за вмістом механічних домішок може зберігатися не більше 5 років, без втрати якості за цим показником; за вмістом бензолу не більше 10, а за вмістом ароматичних вуглеводнів бензину автомобільного не більше 9 років з моменту виготовлення.

Аналіз якості дизельного палива виявив як негативні, так і позитивні наслідки тривалого зберігання. Присутність «вільної» води у паливі підтвердило прояв гігроскопічних властивостей. Також спостерігається збільшення вмісту механічних домішок, які потрапляють як через дихальні клапани, так і внаслідок корозійних процесів у резервуарах. Зміни цих показників вказують на необхідність проведення процедур для видалення підтоварної води з нижньої

частини резервуара, щоб уникнути погіршення якості палива через постійні процеси окиснення та пошкодження матеріалів внаслідок корозії. Це також важливо для запобігання розвитку мікроорганізмів у паливі, які можуть погіршити його якість і сприяти корозії.

На основі отриманих даних можна зазначити, що паливо дизельне за вмістом механічних домішок може зберігатися не більше 5 років, без втрати якості за цим показником, а за прогнозним значенням показника окиснювальної стабільності для палива дизельного не більше 9 років з моменту виготовлення.

Аналіз якості реактивного палива показав, що протягом періоду зберігання показники залишалися в межах норм, визначених нормативними документами, і жодних змін, що могли б негативно вплинути на його придатність для подальшого зберігання чи використання, не виявлено. Однак, можна відзначити, що протягом зберігання все ж відбуваються зміни в його фізичній та хімічній стабільності, зокрема, спостерігається збільшення вмісту смол, що є наслідком процесів окиснення нафтопродуктів.

РОЗДІЛ 4. МІКРОБІОЛОГІЧНЕ УРАЖЕННЯ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ПАЛИВ ПРИ ТРИВАЛОМУ ЗБЕРІГАННІ

4.1. Порівняльний аналіз біоураження авіаційного палива для реактивних двигунів

Варто зазначити, що провідні світові компанії активно займаються дослідженнями та розробками в галузі екологічно чистого, стійкого авіаційного палива (SAF - Sustainable Aviation Fuel), яке характеризується низьким вмістом вуглецю і є вдосконаленим варіантом палива Jet A та A-1. Наприклад, Сполучені Штати Америки планують до 2050 року замінити 100 % внутрішнього споживання авіаційного палива на SAF. Уряд Великої Британії також висловив намір збільшити виробництво та впровадження SAF, запровадивши положення, яке вимагає, щоб до 2030 року щонайменше 10 % авіаційного палива вироблялося з екологічно чистих матеріалів.

З моменту першого випробувального польоту з використанням екологічно чистого палива в 2008 році, SAF- програми зазнали численних важливих розробок, що призвело до активного використання їх ринку. У березні 2016 року United увійшла в історію як перша авіакомпанія, яка включила такі палива у свою регулярну діяльність, започаткувавши щоденні рейси з аеропорту Лос-Анджелеса на паливі AltAir. 28 листопада 2023 року авіалайнер Boeing 787 компанії Virgin Atlantic здійснив перший у світі трансатлантичний політ із використанням 100 % SAF. Під час семигодинного перельоту із лондонського аеропорту Хітроу до міжнародного аеропорту ім. Джона Кеннеді в Нью-Йорку використовувалася паливна суміш: 88 % гідрооброблених ефірів і жирних кислот (HEFA), наданих Air BP, і 12 % синтетичного ароматичного гасу (SAK) від Virent, дочірньої компанії Marathon Petroleum Corporation.

Важливо зазначити, що на сьогодні понад 450 000 рейсів здійснено з використанням суміші SAF і традиційного палива, причому понад 50 авіакомпаній у всьому світі мають досвід використання SAF.

Відомо, що фізичні та хімічні властивості SAF мають аналогічні чи споріднені властивості традиційного авіаційного палива, що дозволяє його безпосередньо змішувати у паливних баках літака та використовувати як взаємозамінні з традиційним паливом без необхідності модифікації авіаційних двигунів або пов'язаного обладнання [126]. В даний час SAF можна змішувати з традиційним паливом на різному рівні від 10 % до 50 % , залежно від вихідної сировини та способу виробництва палива.

Однією з уже відомих проблем вуглеводневого палива, як зазначено у розділі 1 п. 1.3, є його здатність до мікробіологічного ураження протягом усього «життєвого циклу», що вимагає всебічних досліджень та відповідних рішень. Враховуючи те, що останнім часом біокомпонент у паливах активно впроваджується, зокрема і в авіації, досить актуальним є дослідження його властивостей як фізико-хімічних так і експлуатаційних, а зокрема його здатності до забруднення мікроорганізмами. Зважаючи це у роботі було проведено дослідження мікробіологічного ураження у вуглеводневому паливі та біокомпоненті.

Порівняльний аналіз біоураження палив було проведено з використанням експериментально-модельного дослідження зразків палив із зараженням мікроорганізмами, отриманими на підприємстві авіаційного паливозабезпечення. Також для проведення дослідження впливу мікробіологічної корозії було змодельовано типове обводнення палива, так як саме наявність у паливі «вільної» води забезпечує активацію подальшої мікробіологічної деструкції вуглеводнів. Дослідними зразками було вуглеводневе паливо для реактивних двигунів – зразок №1 (100% Jet A-1), та біокомпонент – зразок №3 (100% BIO). Дослідний зразок BIO на основі метилового естеру рижієвої олії.

Для підтвердження наявності мікроорганізмів у дослідних вуглеводневих зразках було проведено відповідний посів мікроорганізмів, проведено мікроскопіювання та визначено середовище за допомогою потенціометричного вимірювання. Досліджувані зразки реактивного палива містили мікроорганізми, зокрема бактерії та дріжджі (рис. 4.1). У зразку №1 було виявлено також міцеліальні гриби.

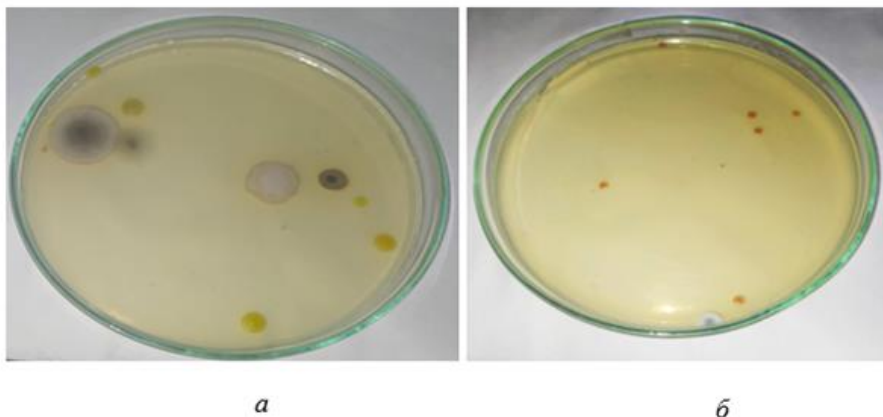


Рис. 4.1. Результати посіву мікроорганізмів, отриманих із досліджуваних зразків палив: *a* - №1 (100% Jet A-1), *б* - №3 (100% BIO)

Примітка: Фото власних досліджень

Мікроскопіювання зразків мікроорганізмів показало, що у зразку №1 (100% Jet A-1) присутні в більшості бактерії, які розташовані поодинокі, попарно, зокрема грампозитивні (темно-фіолетовий колір) та грамнегативні (рожево-червоний колір) коки (рис. 4.2).

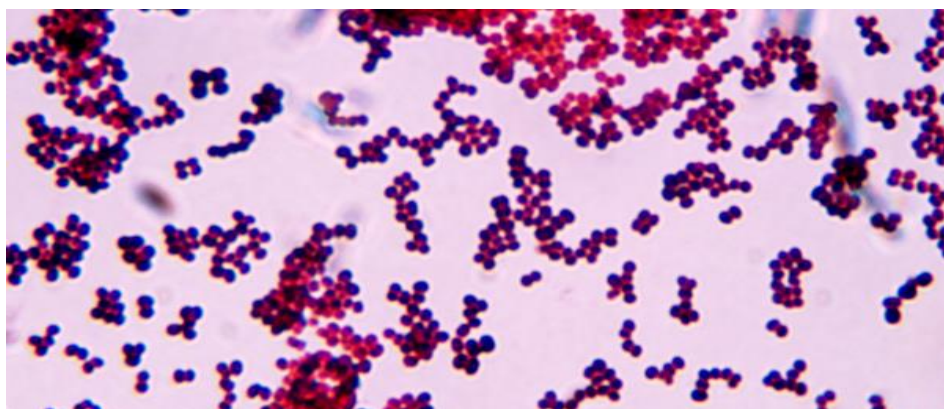


Рис. 4.2 Мікроскопіювання зразка мікроорганізмів №1 (100% Jet A-1), x1500

Примітка: Фото власних досліджень

У зразку №3 (100% BIO), переважали дріжджі (рис. 4.3).

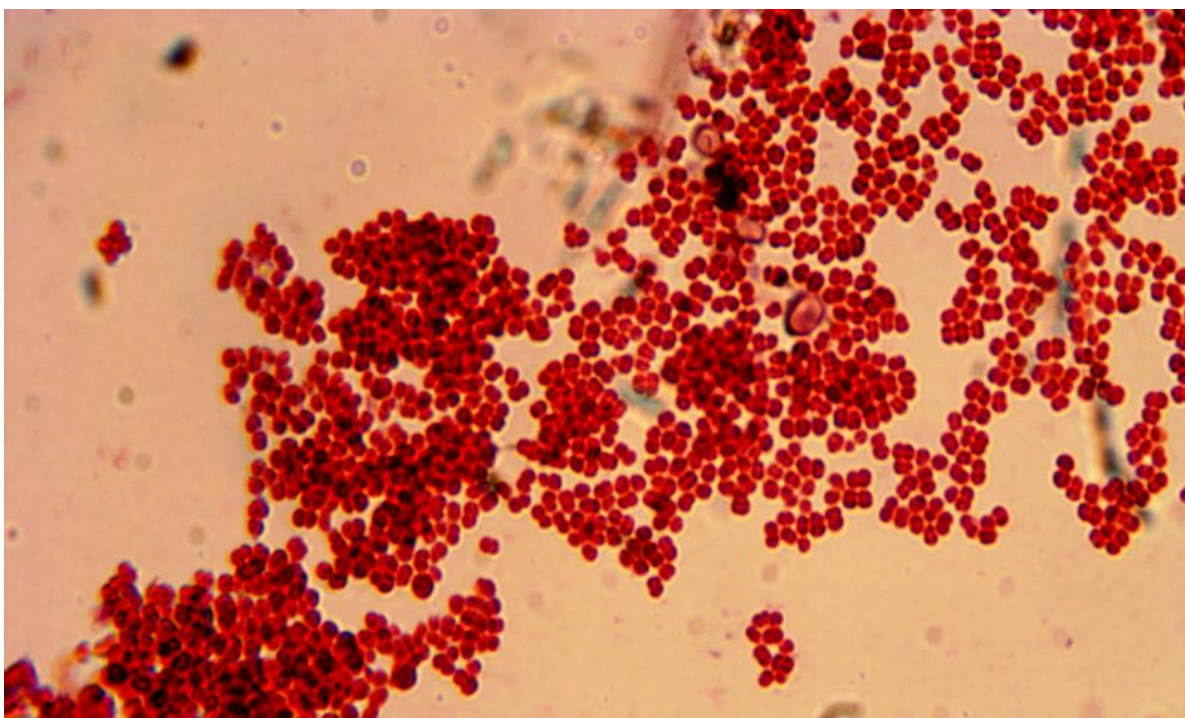


Рис. 4.3 Мікроскопіювання зразка мікроорганізмів №3 (100% BIO), x1500

Примітка: Фото власних досліджень.

Як зазначалося у розділі 1, мікроорганізми здатні утворювати різні за властивостями метаболіти, що можуть змінювати середовище, як палива так і підтоварної води.

Можна припустити, що різні види палива, зокрема вуглеводневе і біокомпонент будуть по різному реагувати на мікробіологічне забруднення, зокрема інтенсивність зміни хімічного складу підтоварної води. Для підтвердження цієї гіпотези в даній роботі було проведено потенціометричне визначення водневого показника рН і окисно-відновного потенціалу E_h водної підтоварної паливної фази у двох зразках палива: вуглеводневе паливо для реактивних двигунів – зразок №1 (100% Jet A-1), та біокомпонент - зразок №3 (100% BIO), попередньо забруднених ідентичним мікробіологічним забрудненням. Відомо, що окисно-відновний потенціал або E_h — це показник здатності речовини окиснювати або відновлювати інші речовини; водневий показник є мірою окиснювальної або відновлювальної здатності

середовища, і позначається як E_h , яка залежить від змін у концентраціях іонів H^+ та OH^- в розчині. Отримані результати наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Потенціометричне визначення показників pH та E_h у досліджуваних зразках

№з/п	Назва зразка	pH	E_h , мВ
1	№1 (100% Jet A-1)	7,2	307,1
2	№3 (100% BIO)	5,64	398,7

Примітка: Результати власних досліджень

Імовірно, зниження водневого показника pH у біокомпоненті, порівняно з вуглеводневим паливом, свідчить про накопичення кислих екзометаболітів мікроорганізмів (наприклад, органічних кислот).

Позитивне значення окисно-відновного потенціалу E_h , виміряне за допомогою електродів вимірювача, свідчить про те, що речовина є окиснювачем, тоді як негативне значення вказує на те, що речовина є відновником. Отримані результати вказують, що досліджувані у роботі зразки мають потенціал до окиснення.

Таким чином, обидва зразки мають здатність до окиснення, що може підвищувати кислотність палива (табл. 4.2) та призводити до активного корозійного ураження конструкційних матеріалів, що підтверджено дослідженнями вище.

Варто зазначити, що утворення іржі є типовим прикладом окисно-відновного процесу. Елементи, що беруть участь у цьому явищі, змінюються хімічно. Кисень взаємодіє з залізом, утворюючи оксид заліза (іржа): залізо окиснюється, а кисень піддається редукції. У результаті досягається рівновага окисно-відновного потенціалу в системі Fe/O_2 .

Визначення зміни кислотності досліджуваних зразків Jet A-1 і ВІО проводили через 5 місяців їх зберігання у лабораторних умовах за наявності мікробіологічно забрудненої підтоварної води (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Кислотність досліджуваних зразків вуглеводневого палива для реактивних двигунів та біокомпонента

№ проби	Вид палива	Кислотність, мг КОН/100см ³	
		1-й день	153-й день
1	100% Jet A-1	0,08	0,17
2	100% ВІО	0,50	0,56

Примітка: Результати власних досліджень

Отримані дані свідчать про те, що кислотність вуглеводневого середовища змінюється при мікробіологічному ураженні досить інтенсивно. Так, паливо Jet A-1 на початку дослідження (1-й день) мало кислотність – 0,08 мг КОН/100 см³, а на 153-й – 0,17 мг КОН/100 см³. Кислотність 100% ВІО підвищилася з 0,50 мг КОН/100 см³ до 0,56 мг КОН/100 см³ за період дослідження.

Отже, потенціометричне визначення показників рН і Еh показують підвищену кислотність середовища у 100% ВІО, що свідчить про присутність кислотоутворюючих мікроорганізмів, та високий позитивний окисно-відновний потенціал, який визначає інтенсивну окисну здатність зразків.

Варто також зазначити, що кислотність досліджуваних палив, уражених мікроорганізмами, підвищилася. Для 100% ВІО показник є більшим ніж у 100% Jet A-1, що потребує уваги при майбутньому впровадженні додавання біокомпонентів до палив для реактивних двигунів.

4.2. Механізм корозійного ураження світлих нафтопродуктів при довготривалому зберіганні палив

Зберігання палива супроводжується двома ключовими аспектами, які можуть створювати проблеми. По-перше, корозійні процеси можуть пошкоджувати резервуари та арматуру, що призводить до значних витрат на ремонт або заміну пошкоджених елементів, а також підвищує ризик екологічних катастроф через можливі витіки палива. По-друге, продукти корозії негативно впливають на якість палива, прискорюючи його старіння та викликаючи несправності автомобільних двигунів. Корозія металевих елементів виникає через окислювальні процеси, які відбуваються у бензині, дизельному паливі чи біопаливі, що може змінювати морфологію металевих деталей і проявлятися, наприклад, у зміні кольору палива.

Мікробіологічне забруднення також сприяє прискоренню старіння палива. Однак найбільші проблеми викликає корозія резервуарів і трубопроводів, спричинена дією мікроорганізмів, а також формування мікробних осадів, які можуть засмічувати фільтри й трубопроводи та спричиняти знос насосів в результаті тертя.

Мікробна деструкція змінює фізико-механічні характеристики захисних матеріалів, що призводить до зниження їх міцності, еластичності, адгезійних властивостей і втрати основної функції покриттів – захисту металів від корозії. Окрім цього, продукти життєдіяльності мікроорганізмів можуть негативно впливати на якість палива під час його тривалого зберігання, утворюючи небажані сполуки, які, при певних умовах, взаємодіють з нафтопродуктами, що може призвести до погіршення їх якості та виходу за межі встановлених стандартів.

Аналіз проблем зберігання нафтопродуктів на підприємствах паливозабезпечення вказує на високу ймовірність виникнення комплексних труднощів, пов'язаних з корозійними процесами, які можуть впливати як на технологічне обладнання, так і на якість палива. Ці процеси посилюються мікроорганізмами, що сприяють мікробіологічній корозії обладнання та

руйнуванню як традиційних, так і біопалив. Дослідження показують, що існує ризик руйнування резервуарів, виготовлених переважно зі сталі, а також інших елементів технологічного обладнання, що містять кольорові метали.

Механізм мікробіологічної корозії нафтопродуктів включає взаємодію між мікроорганізмами (такими як бактерії, гриби та водорості) та матеріалами, що контактують з нафтою, що призводить до псування як нафти, так і матеріалів. Основні етапи цього процесу такі:

1. Мікробна колонізація: мікроорганізми вводяться в нафтопродукти, як правило, через забруднення з навколишнього середовища, обладнання або під час зберігання та транспортування. Ці мікроорганізми прилипають до поверхонь резервуарів, труб та інших матеріалів, що контактують з нафтопродуктами.

2. Утворення біоплівки: коли мікроорганізми осідають на поверхні, вони можуть утворювати біоплівки — тонкі шари мікробних колоній, вбудованих у матрицю позаклітинних речовин. Біоплівки створюють захисне середовище для мікробів і можуть концентрувати шкідливі метаболіти, які прискорюють корозію.

3. Виробництво корозійних метаболітів: мікроорганізми в біоплівці або зважені в маслі можуть виробляти корозійні речовини. Наприклад:

- Органічні кислоти: деякі бактерії виробляють кислоти (наприклад, оцтову, мурашину або сірчану), які знижують рН і можуть роз'їдати метали, наприклад сталь.
- Сірководень (H_2S): сульфатвідновлювальні бактерії можуть відновлювати сульфатні сполуки в нафтопродуктах або воді до сірководню, який реагує з металами, особливо залізом, що призводить до сульфідного корозійного розтріскування під напругою або так званої точкової корозії.

4. Електрохімічні реакції: деякі мікроорганізми можуть брати участь у процесах електрохімічної корозії. Наприклад, деякі бактерії створюють локальні гальванічні елементи, де поверхня металу діє як анод (де відбувається корозія), тоді як активність мікробів служить катодом. Це прискорює корозію металів.

5. Біодеградація нафтопродуктів: мікроорганізми також розщеплюють компоненти нафти, особливо вуглеводні, під час процесу біодеградації. Це може призвести до змін хімічного складу палив, утворюючи побічні продукти (наприклад, органічні кислоти або леткі сполуки), які ще більше сприяють погіршенню матеріалів і самого палива.

6. Локалізована корозія та точкова корозія: спільний вплив мікробної діяльності, виробництва кислих метаболітів і електрохімічних процесів може призвести до локальної корозії та точкової утворення, особливо в областях, де біоплівки найтовщі. Цей тип пошкодження є більш серйозним у місцях застою або слабого потоку, де мікроорганізми можуть зберігатися довше.

7. Корозія обладнання для зберігання: в результаті цих процесів обладнання, яке використовується для зберігання або транспортування нафти, наприклад трубопроводи, резервуари та резервуари, може зазнавати прискореного зносу, що призводить до витоків, поломки обладнання та необхідність дорогого обслуговування.

На основі аналізу проведених досліджень розроблено структурно-логічну схему, яка відображає причини та наслідки змін якості вуглеводневих палив під час зберігання в умовах впливу корозійних і мікробіологічних чинників (рис. 4.4).

Отже, мікробіологічна корозія нафтопродуктів є серйозною проблемою в таких галузях, як нафтопереробка, трубопровідний транспорт і зберігання, де мікробне забруднення може призвести до погіршення як продукту, так і інфраструктури. Мікробіологічне забруднення паливних систем є реальною проблемою, яка може безпосередньо впливати на безпеку транспортних засобів та відповідно безпеку людей.

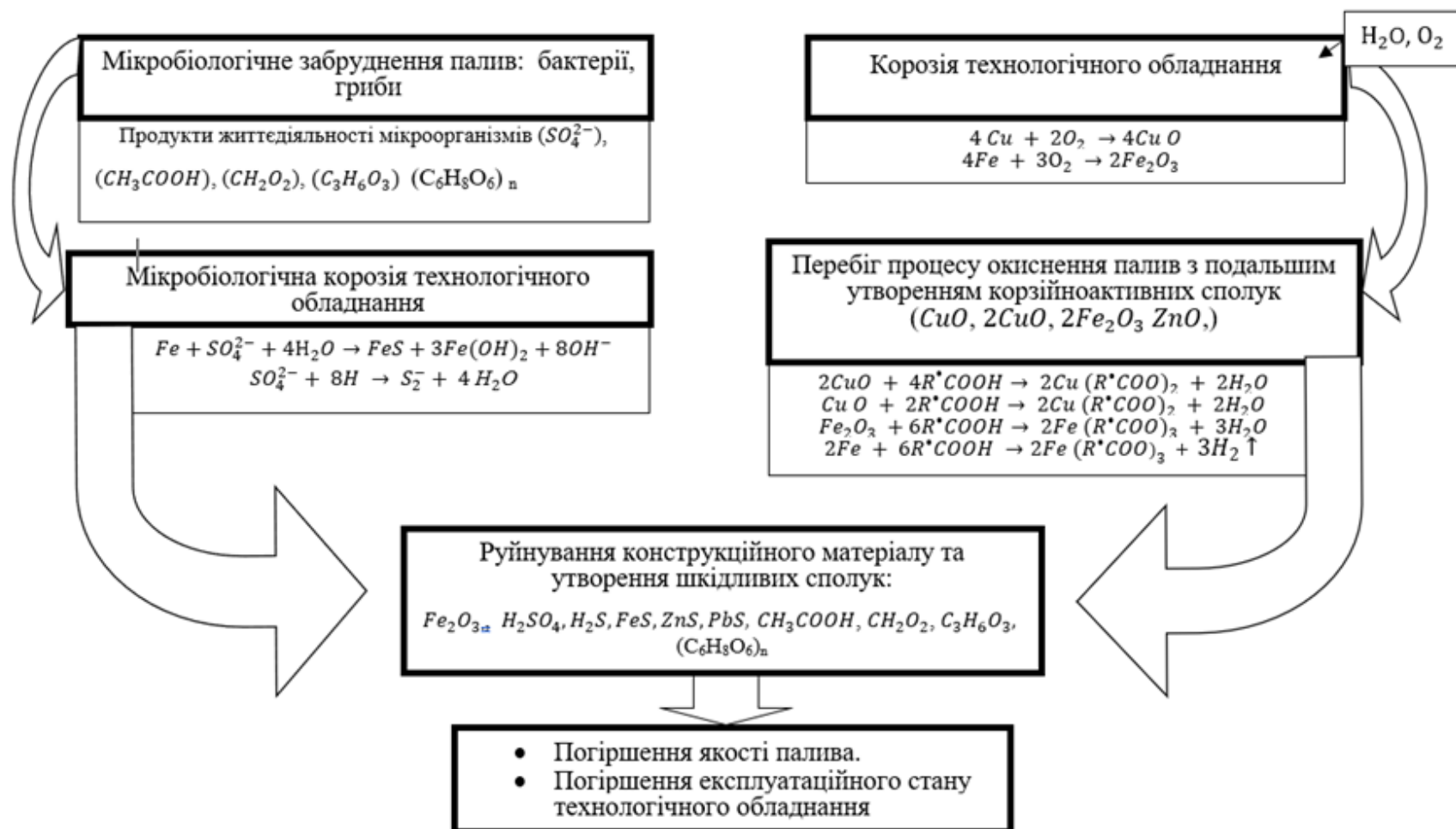


Рис.4.4. Структурно-логічна схема причин та наслідків зміни якості вуглеводневих палив під час їх зберігання за наявності корозійного та мікробіологічного чинників

Примітка: Результати на основі аналізу проведених досліджень

4.3. Вплив мікробіологічного ураження вуглеводневих палив на конструкційні матеріали

Логічно стверджувати, що наявне мікробіологічне ураження у паливах пришвидшує корозійні процеси, інтенсивність яких буде залежна від конструкційного матеріалу технологічного обладнання. Тому у роботі були поставлені модельні досліди щодо визначення впливу мікробіологічного ураження на конструкційні матеріали.

Вплив мікробіологічного ураження на конструкційні матеріали проводили, досліджуючи стан дослідних зразків – поверхні металевих шайб із різних конструкційних матеріалів у паливі для реактивних двигунів зразок № 1 J(et A-1 100 %) та № 3 (100% біокомпоненті) (див. розділ 2) з використанням візуального методу (рис. 4.5 - 4.7) та із застосуванням мікроскопів PEM-106 та CELESTRON LABS CB2000C.



Рис. 4.5. Дослідні зразки досліджень впливу мікробіологічної корозії на конструкційні матеріали: *а* – сталь Ст3; *б* – нержавіюча сталь

Примітка: Фото власних досліджень

На 6-й день експерименту у 100% Jet A-1 виявлено добре видимі ознаки корозії на зразку Ст3, натомість у зразку з нержавіючої сталі корозійних ушкоджень не виявлено. При більш детальному розгляді виявлено, що верхня сторона сталеві шайби Ст3 (біля біоплівки) має ознаки корозії та наявну біоплівку. Поверхня має плями чорного, коричневого та сріблястого кольорів, що свідчить про ймовірні процеси мікробіологічного ураження

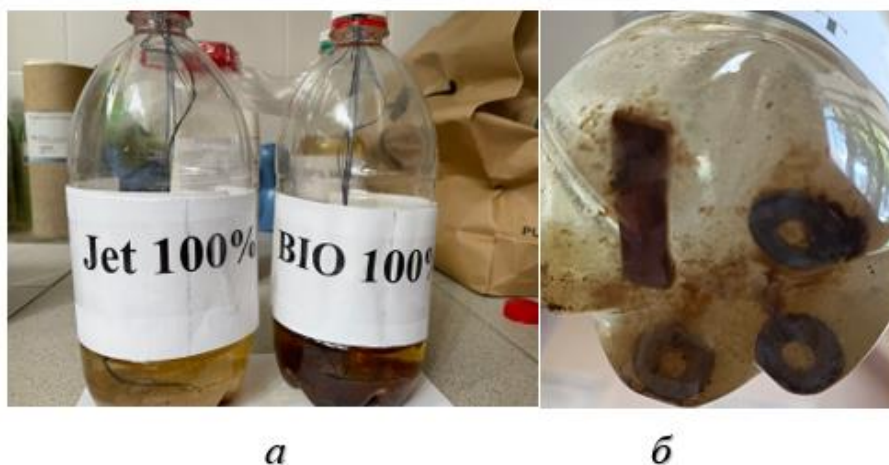


Рис. 4.6. Зразки палив для досліджень мікробіологічної корозії на конструкційні матеріали: *а* - загальний вигляд зразків для дослідження мікробіологічного ураження, *б* - шайби на дні ємності з досліджуваним паливом

Примітка: Фото власних досліджень



Рис. 4.7. Загальний вигляд біоплівки у досліджуваних зразках палив: 1 – паливна фаза; 2 – біоплівка; 3 – водна фаза.

Примітка: Фото власних досліджень

Чорні ділянки, які переважають, мають вигляд окисненого металу. Коричневі плями на поверхні металу вказують на іржу або біоплівку (відкладення продуктів життєдіяльності мікроорганізмів). Нижня сторона металевої поверхні зразка шайби (біля дна ємності з паливом) (рис.4.8) має більш інтенсивні прояви чорного нальоту, що можна пояснити віддаленням від наявної біоплівки при зануренні у піддослідне паливо.

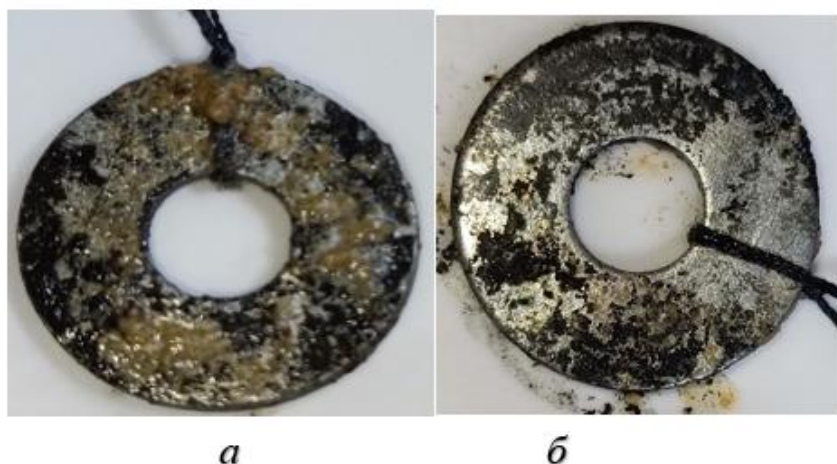


Рис. 4.8. Верхня (а) та нижня (б) сторона шайби Ст3 на 6-й день спостережень (середовище 100% Jet A-1)

Примітка: Фото власних досліджень

Дослідний зразок з нержавіючої сталі, як видно з рис. 4.9, не змінився.



Рис. 4.9. Дослідний зразок з нержавіючої сталі у середовищі 100% Jet A-1 з наявним мікробіологічним забрудненням на 6-й день спостережень

Примітка: Фото власних досліджень

Слід зазначити, що у середовищі біокомпонента піддослідні вироби отримали більше ураження. Так, шайба з нержавіючої сталі на 6-й день досліджень була без видимих ушкоджень (рис. 4.10), в той час, як зразок з матеріалу Ст3 мав добре видиму біоплівку на поверхні та ознаки корозійного ураження (рис.4.11).



Рис. 4.10. Дослідний зразок з нержавіючої сталі у середовищі біокомпонента з наявним мікробіологічним забрудненням на 6-й день спостережень

Примітка: Фото власних досліджень



Рис. 4.11. Дослідний зразок Ст3 на 6-й день досліджень у середовищі біокомпонента з наявним мікробіологічним забрудненням:

а – верхня сторона; *б*– нижня сторона

Примітка: Фото власних досліджень

На 13-й день досліджень у середовищі Jet A-1 спостерігали наступні зміни, які представлені на рис. 4.12. та рис. 4.13.

Нержавіюча сталь не має видимих ушкоджень, в той час як, Ст3 має чіткі прояви мікробіологічного ураження, що виражені коричневим та чорним забарвленням біоплівки та ураженої корозією площі металевої поверхні.

Середовище 100 % ВІО на 13 день показало більш агресивну дію щодо матеріалу Ст3 (рис. 4.13, *б*). Поверхня зразка із нержавіючої сталі залишилася без видимих ушкоджень(рис. 4.13, *а*). .



Рис. 4.12. Дослідні зразки для визначення впливу мікробіологічної корозії на конструкційні матеріали на 13-й день у середовищі Jet A-1:

a – сталь Ст3; *б* – нержавіюча сталь.

Примітка: Фото власних досліджень



Рис. 4.13. Дослідні зразки досліджень впливу мікробіологічної корозії на конструкційні матеріали на 13-й день дослідження у середовищі 100 % ВІО:

a – нержавіюча сталь; *б* – сталь Ст3.

Примітка: Фото власних досліджень

Станом на 143-й день досліджень спостерігалася аналогічна тенденція по впливу мікробіологічного ураження на дослідні зразки. У середовищі 100 % ВІО на шайбі з нержавіючої сталі не спостерігали змін поверхні, а на Ст3 фіксували значні руйнування поверхні, що свідчить про активні процеси мікробіологічної корозії (рис.4.14).



Рис. 4.14. Порівняльний аналіз стану поверхні шайб на 143-й день досліджень у середовищі 100 % ВІО: *а* – сталь Ст3; *б* – нержавіюча сталь.

Примітка: Фото власних досліджень

У паливі Jet A-1 на 143-й день дослідження матеріал дослідного зразка зі Ст3 продовжив тенденцію до руйнування під впливом мікробіологічного ураження. Також варто зазначити, що вироби з нержавіючої сталі також виявилися чутливими до мікробіологічної корозії, що демонструє фото на рис. 4.15.



Рис. 4.15. Дослідні зразки досліджень впливу мікробіологічної корозії на конструкційні матеріали на 143-й день дослідження у 100 %: Jet A-1:

а – сталь Ст3; *б* – нержавіюча сталь.

Примітка: Фото власних досліджень

На поверхні шайб було чітко ідентифіковано наявність біоплівки (рис. 4.16), яка мала різні за забарвленням волокна, що підтверджує наявність та активний розвиток мікроорганізмів.



Рис. 4.16. Біоплівка на досліджуваному зразку шайби Ст3 у середовищі біокомпонента на 143 день випробувань

Примітка: Фото власних досліджень

Згідно з даними розділу 1 (п. 1.3), біоплівка на поверхні конструкційних матеріалів може призводити до їх корозійного ушкодження (руйнування). Для підтвердження цього у даній роботі було проведено мікроскопічне дослідження поверхні дослідних зразків шайб із нержавіючої сталі та сталі Ст3, які попередньо були занурені у паливо для реактивних двигунів та біокомпонент на 5 місяців їх зберігання у лабораторних умовах за наявності мікробіологічно забрудненої підтоварної води.

Результати мікроскопіювання зразків шайб, що знаходилися у біокомпоненті, отримали із застосуванням растрового вимірювального електронного мікроскопу з камерою низького вакууму РЕМ-106-И. (рис. 4.17).

Слід зазначити, що мікроорганізми прикріплюються до поверхні, колонізуються та виділяють позаклітинні полімерні речовини для подальшого утворення біоплівки. Після того, як біоплівка повністю розвинена і дозріла, вона вивільняє бактерії, які виходять з біоплівки і намагаються знайти нову поверхню для свого прикріплення. На рис. 4.17 показано нерівномірно утворену біоплівку на поверхні металу.

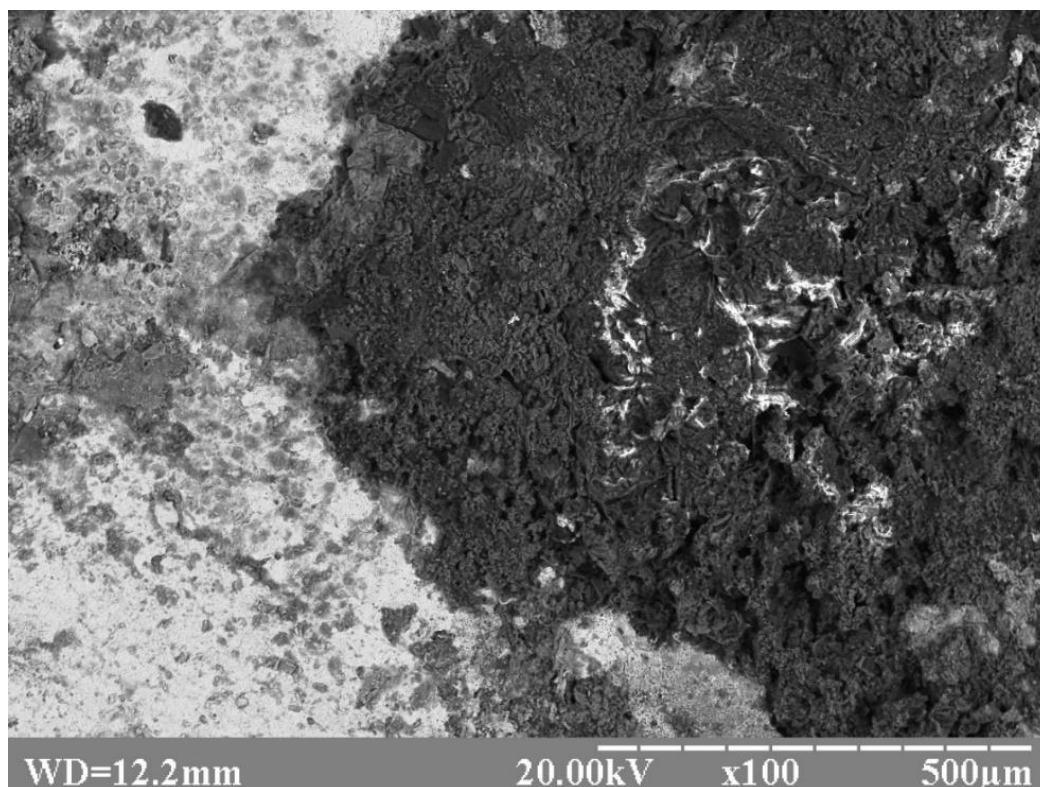


Рис. 4.17. Утворена біоплівка на поверхні дослідної шайби зі сталі Ст3 у середовищі біокомпонента на .143 день

Примітка 1: WD – відстань між об'єктивом мікроскопа та поверхнею зразка у камері для зразків в мм; 20.00 kV – прискорююча напруга РЕМ-106И; $\times 100$ – збільшення, крат; 500 μm – показник шкали на знімку структури у мкм.

Примітка 2: Фото власних досліджень

Мікроорганізми створюють різні типи концентраційних клітин, включаючи концентраційні клітини кисню та металеві концентраційні клітини, які локально атакують поверхню металу та прискорюють точкову (піттингову) корозію (рис. 4.18).

Утворення пітингової корозії характерне для сульфатвідновлюючих бактерій. Як зазначено у розділі 1 п. 1.4, вони є одними з найбільш поширених мікроорганізмів, що спричиняють біокорозію різних конструкційних елементів та технологічного обладнання підприємств нафтогазової промисловості. Вони відновлюють сульфат до сульфіду в анаеробних умовах, який потім реагує з металом, утворюючи сульфіди металів, що призводить до точкової корозії.

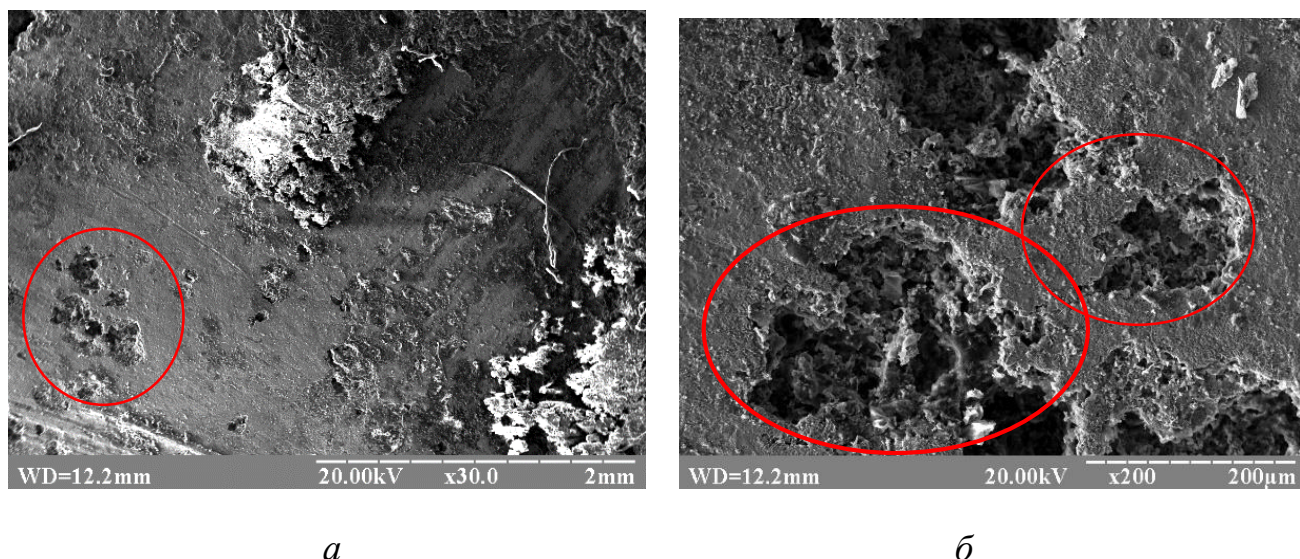
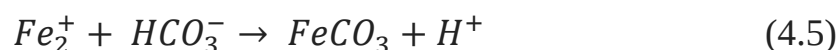
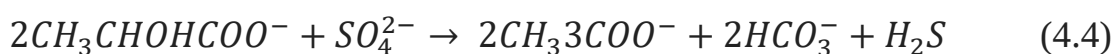
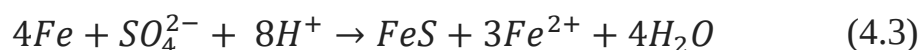


Рис. 4.18. Пітингова корозія дослідного зразка сталі Ст3 у середовищі біокомпонента: *a* - поверхня дослідного зразка сталі Ст3 з пітинговою корозією; *б* - поверхня дослідного зразка сталі Ст3 з пітинговою корозією.

Примітка: Фото власних досліджень.

Слід зазначити, що СВБ є посередниками між анаеробним відновленням SO_4^{2-} як акцептора електронів для отримання S або H_2S через реакції напівелементних електродів (4.1 – 4.3) і загальну реакцію (4.4 – 4.5). Анодна реакція - це окиснення металів, таких як Fe, до Fe^{2+} і джерела вуглецю, такого як лактат. Сульфіди реагують з іонами металів і утворюють сульфід металів, які осідають на поверхні металу навколо СВБ і змішуються з біоплівкою. Іони металів також можуть осідати з карбонатом із утворенням карбонату металу, реакція (4.5).



Дослідження впливу мікробіологічної корозії на конструкційні матеріали, що знаходилися у паливі Jet A-1, проводили на нержавіючій сталі та сталі Ст3. Результати мікроскопіювання представлено на рис. 4.19.

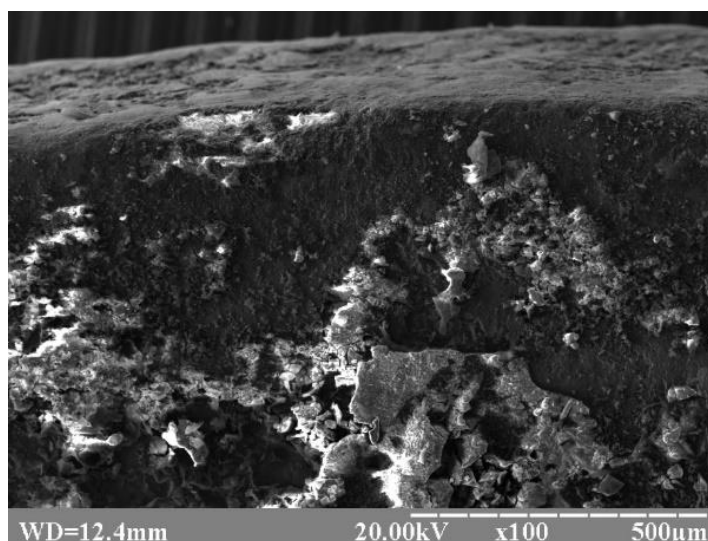


Рис. 4.19. Мікробіологічна корозія сталі Ст3, та біоплівка (середовище Jet A-1).

Примітка: Фото власних досліджень.

Аналізуючи дослідний матеріал необхідно зазначити, що характер руйнування поверхонь зразків сталі Ст3 у середовищі палива Jet A-1 та біокомпонента показав значну різницю. Зразок Ст3, що містився у вуглеводневому паливі при мікроскопіюванні показав майже суцільне поверхнєве корозійне ушкодження поверхні металу, також на знімку можна бачити і утворену біоплівку (рис. 4.19, 4.20, *а*). Тоді як на поверхні дослідного зразка шайби з середовища біокомпонента спостерігається чітко виражена глибинна, піттингова корозія (рис. 4.20, *б*). Подальший розвиток такого корозійного ураження часто призводить до виникнення корозійних тріщин металу, що безсумнівно впливає на надійність конструкційного матеріалу у процесі експлуатації.

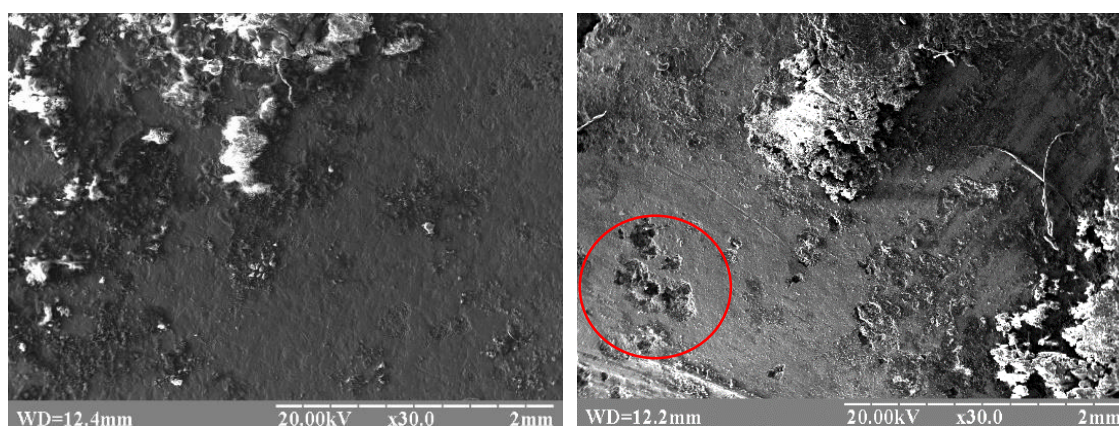
*a**б*

Рис. 4.20. Мікробіологічна корозія дослідних зразків Ст3 у різних середовищах:

a- корозія сталі Ст3 спричинена мікроорганізмами та біоплівка у середовищі Jet

A-1; *б* - піттингова корозія дослідного зразка сталі Ст3 у середовищі

біокомпонента.

Примітка: Фото власних досліджень.

Дослідження корозійного ураження шайб із нержавіючої сталі у середовищі палива Jet A-1 наведено на рис. 4.21.

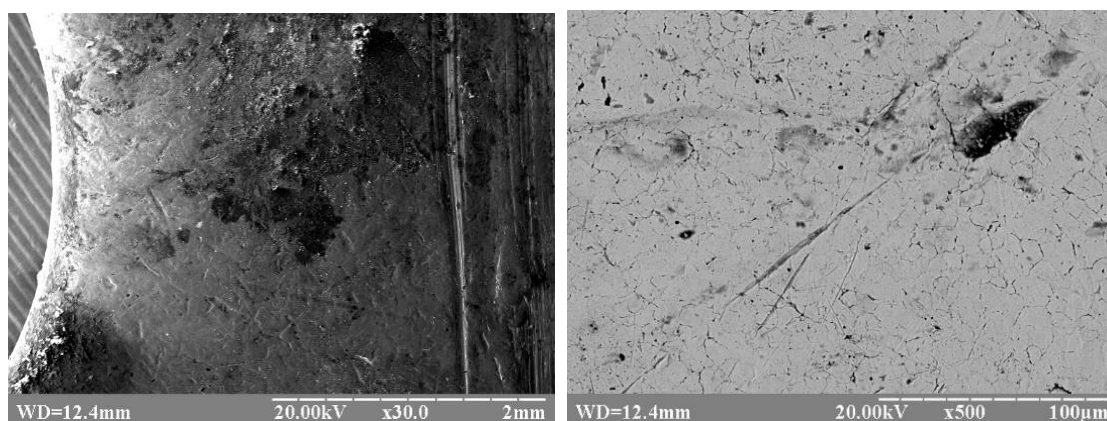
*a**б*

Рис. 4.21. Корозійне ураження шайби із нержавіючої сталі у середовищі палива

Jet A-1: *a* - корозія дослідного зразка з нержавіючої сталі спричинена

мікроорганізмами та біоплівка у середовищі Jet A-1; *б* – міжкристалічна корозія

нержавіючої сталі у середовищі палива Jet A-1.

Примітка: Фото власних досліджень.

Дослідження зразка з нержавіючої сталі, що знаходився у середовищі палива Jet A-1 (див. рис. 4.21), окрім наявності біоплівки на поверхні, свідчить також про наявність міжкристалічної корозії, яка пояснюється корозійним ураженням меж зерен, з яких складаються конструкційні матеріали. Слід зауважити, що швидка атака на межі зерен може призвести до «випадання» їх з поверхні металу та як наслідок розпаду сталі.

Отримані дані свідчать про руйнування захисних покриттів конструкційних елементів. Це може відбуватися через деградацію захисних, природних плівок оксиду металу. Зокрема внаслідок того що дріжджі видаляють оксидну плівку з нержавіючої сталі, що дозволяє мікробіологічним консорціумам отримати доступ до незахищеної металевої поверхні, яка потім піддається корозії.

Корозійне ураження досліджених конструкційних матеріалів може свідчити про кислотне середовище, що утворюється в результаті процесів окиснення палива та внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів.

4.4. Особливості перебігу мікробіологічного ураження дизельного палива

Відповідно до наявних наукових досліджень, зазначених у розділі 1 п.1.4. авіаційний бензин та автомобільний є більш стабільним до мікробіологічного ураження на відмінну від реактивного палива та палива дизельного. Тому автором було проведено дослідження впливу дизельного палива на конструкційні матеріали, що було уражене мікроорганізмами в умовах експлуатації одного з підприємств паливозабезпечення (рис. 4.22).

*а**б*

Рис. 4.22. Зразок палива дизельного для досліджень мікробіологічної корозії на конструкційні матеріали: *а* – загальний вигляд зразка палива дизельного; *б* – осад в досліджуваному зразку палива дизельного з наявними ознаками мікробіологічного ураження

Примітка: Фото власних досліджень.

На дні ємності з паливом спостерігалися червоно-помаранчеві включення, у осаді, що свідчить про наявність мікроорганізмів. Для підтвердження цього було проведено мікроскопію осаду у зразку палива, яка виявила наявність сукупності мікроорганізмів, а саме різноманітних бактерій та мікроскопічних грибів (рис. 4.23).

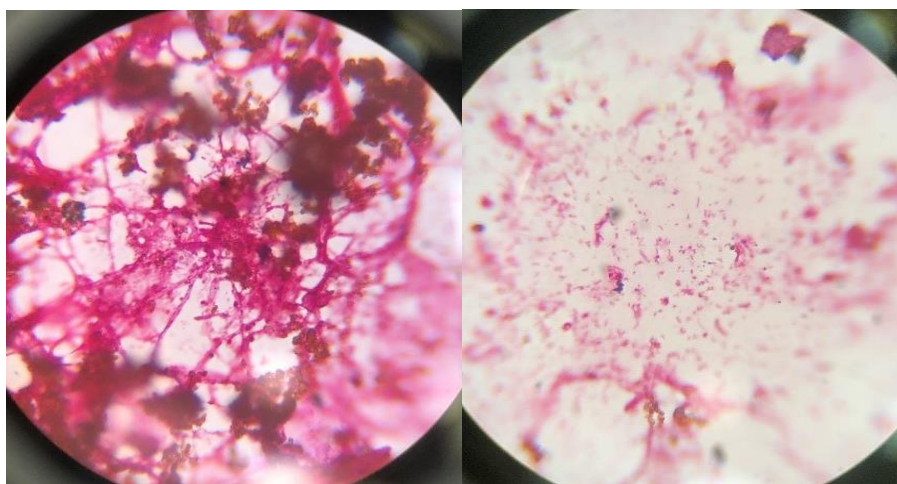
*а**б*

Рис. 4.23. Рис. 2. Фото мікроскопії осаду x1000:

а - гіфи мікроскопічних грибів; *б* - бактерії

Примітка: Фото власних досліджень.

При візуальному огляді дослідного зразка палива дизельного на поверхні поділу паливо-вода, було виявлено маленькі круглі бульбашки газу на поверхні біоплівки (рис. 4.24.)

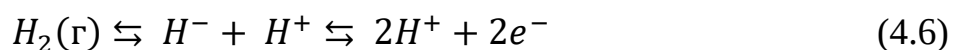


Рис. 4.24. Процес виділення газу на поверхні біоплівки у дослідному зразку дизельного палива (19-й день дослідження)

Примітка: Фото власних досліджень.

Слід зазначити, що пухирці газу можуть утворюватися під час метаболічної активності присутніх мікроорганізмів, внаслідок продукування таких газів, як водень або вуглекислий газ, та використовувати органічні компоненти палива як поживне джерело.

Наприклад, мікроорганізми здатні виробляти водень шляхом анаеробного окиснення монооксиду вуглецю. Фермент гідрогеназа, як правило, відповідає за виробництво водню в цих процесах, каталізуючи реакцію наступним чином:



Наявність біоплівок і продуктів їх метаболізму може призвести до таких проблем, як засмічення, корозія або зниження ефективності паливної системи.

З метою дослідження якісного складу забруднення досліджуваного дизельного палива було проведено забір забруднення та посів на поживні середовища.

Візуальний огляд зразка та попередній мікропосів показав наявність мікроорганізмів різних видів. Враховуючи отримані дані були проведені

подальші дослідження за допомогою мікропосіву дослідного матеріалу (рис. 4.25).

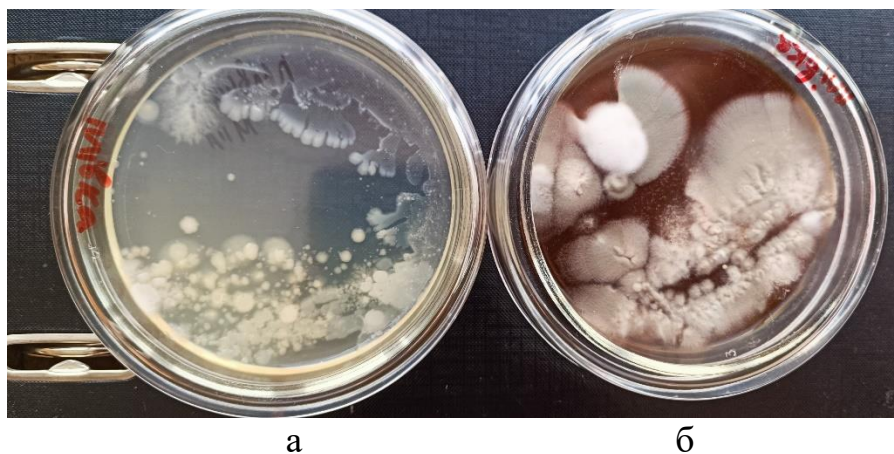


Рис.4.25. Мікропосів зразків у середовище Nutrient Agar для ідентифікації бактерій (а) та Saburo для ідентифікації грибів (б) 03.06.2024

Примітка: Фото власних досліджень.

Для підтвердження отриманих даних було знову проведено висівання вже отриманого матеріалу у середовища Nutrient Agar та Saburo (рис. 4.26 та рис. 4.27).

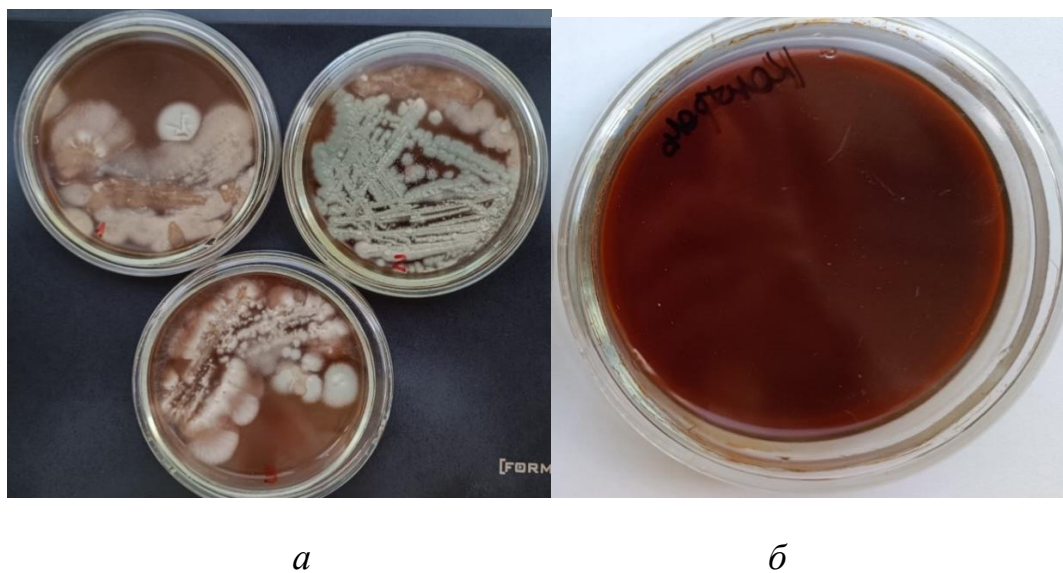
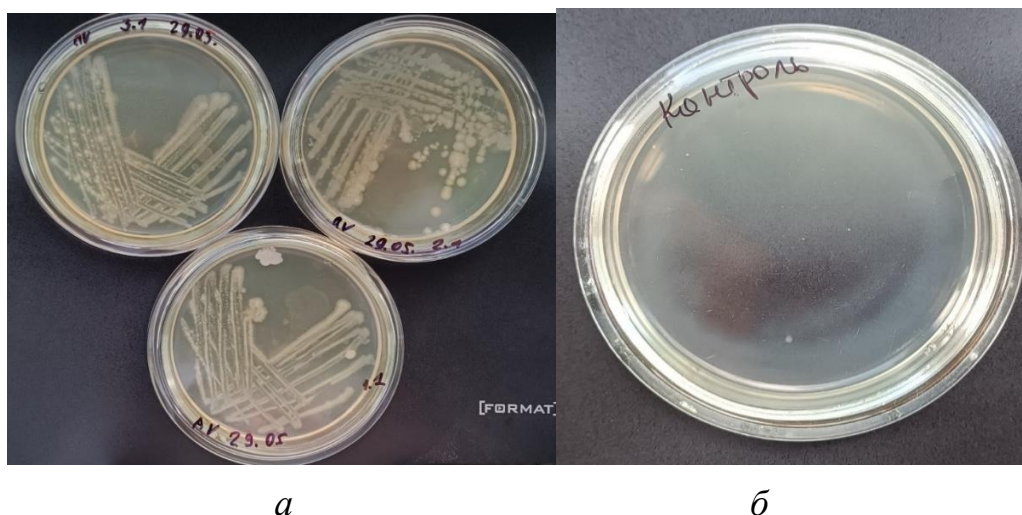


Рис. 4.26. Мікропосів у середовищі Saburo: а – мікропосів дослідного матеріалу в середовище, з яскраво вираженими ознаками наявності грибів; б – контрольний зразок без посіву.

Примітка: Фото власних досліджень.



а

б

Рис. 4.27. Мікропосів у середовищі Nutrient Agar: а – мікропосів дослідного матеріалу в середовище, з яскраво вираженими ознаками присутності бактерій; б – контрольний зразок без посіву.

Примітка: Фото власних досліджень.

Дослідження впливу дизельного палива, ураженого мікроорганізмами, проводили на дослідних зразках шайб з нержавіючої сталі А2, шайби з оцинкованої сталі та латунної шайби за допомогою візуального методу дослідження (рис. 4.28, рис. 4.29).

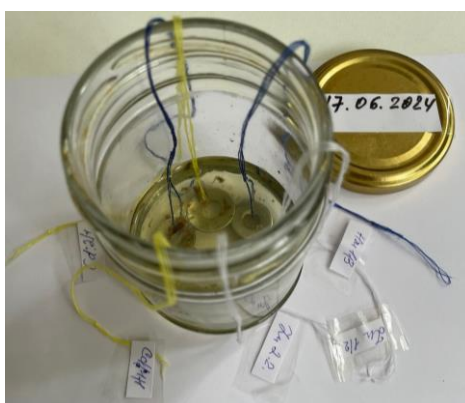


Рис.4.28. Зразок палива дизельного для досліджень мікробіологічної корозії на конструкційні матеріали.

Примітка: Фото власних досліджень.

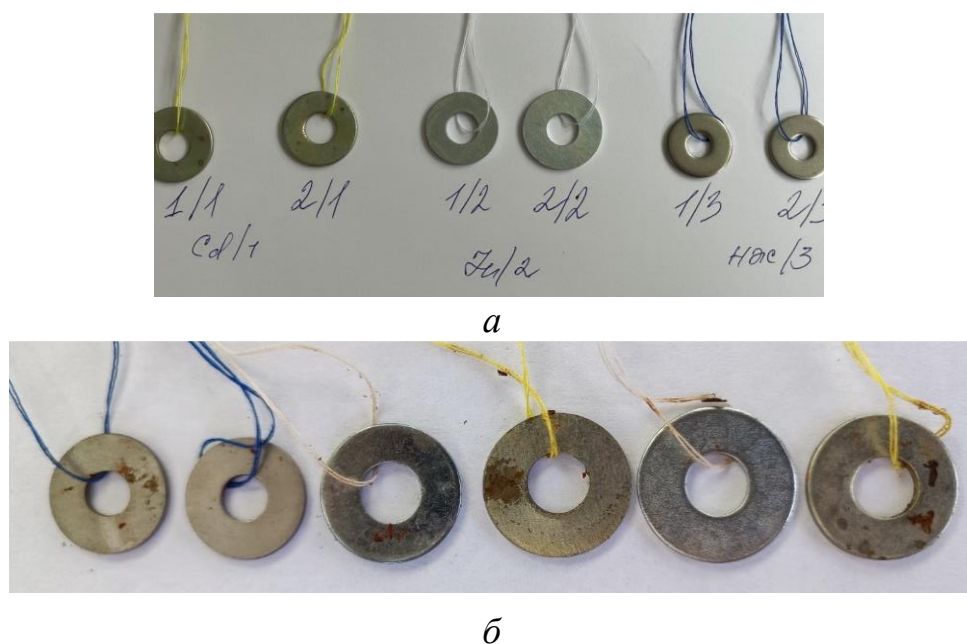


Рис. 4.29. Дослідні зразки досліджень впливу мікробіологічної корозії на конструкційні матеріали: *а* – стан поверхні шайб до занурення у паливо дизельне; *б* – стан поверхні шайб після (через 5 місяців) занурення у паливо дизельне.

Примітка: Фото власних досліджень.

Після 5 місяців дослідження впливу мікробіологічного ураження палива дизельного на обрані матеріали можна сказати, що всі вони піддалися впливу мікробіологічній корозії та мають прояви іржі на поверхні. Дослідження по впливу мікробіологічного ураження на зміну маси досліджуваних зразків не показали істотної зміни, а значення знаходяться в межах похибки вимірювань.

Отже дослідження мікробіологічного ураження дизельного палива показало наявність різних типів мікроорганізмів, які в процесі життєдіяльності утворюють гази та призводять ураження конструкційних елементів.

Висновки до розділу

Мікробіологічна корозія нафтопродуктів є серйозною проблемою в таких галузях, як нафтопереробка, трубопровідний транспорт і зберігання, де мікробне забруднення може призвести до погіршення як продукту, так і інфраструктури. Мікробіологічне забруднення паливних систем є реальною проблемою, яка може

безпосередньо впливати на безпеку транспортних засобів та відповідно безпеку людей.

Потенціометричне визначення показників pH і Eh показують підвищену кислотність у 100% ВІО, що свідчить про присутність кислотоутворюючих мікроорганізмів, та високий позитивний окисно-відновний потенціал, який визначає інтенсивну окисну здатність зразків.

Варто також зазначити, що кислотність досліджуваних палив, уражених мікроорганізмами, підвищилася. Для 100% ВІО показник є більшим ніж у 100% Jet A-1, що потребує уваги при майбутньому впровадженні додавання біокомпонентів до палив для реактивних двигунів.

На поверхні шайби Ст3, що містилися у 100% ВІО та 100% Jet A-1 спостерігалися яскраво виражені плями чорного, коричневого та сріблястого кольорів, що свідчить про ймовірні процеси мікробіологічного ураження. Чорні ділянки, які переважають, мають вигляд окисленого металу, що свідчить про активні процеси окиснення. Коричневі плями вказують на іржу або на біоплівку як відкладення продуктів життєдіяльності. Також на поверхні утворилися ямки.

Поверхня шайби з нержавіючої сталі у 100 % ВІО демонструвала стійкість протягом експериментального дослідження протягом всього часу. Шайба, що містилася у 100% Jet A-1 спочатку не демонструвала ніяких змін та через 143 дні на її поверхні з'явилися чорні та коричневі плями, що свідчить про активні процеси окиснення під впливом мікроорганізмів.

Отже дослідження мікробіологічного ураження дизельного палива показало наявність різних типів мікроорганізмів, які в процесі життєдіяльності утворюють гази та призводять ураження конструкційних елементів.

Отримані дані свідчать про руйнування захисних покриттів конструкційних елементів. Це може відбуватися через деградацію захисних, природних плівок оксиду металу. Зокрема внаслідок того що дріжджі видаляють оксидну плівку з нержавіючої сталі, що дозволяє мікробіологічним консорціумам отримати доступ до незахищеної металевої поверхні, яка потім піддається корозії.

Дослідження по впливу мікробіологічного ураження на зміну маси досліджуваних зразків шайб не показали істотної зміни, а значення знаходилися в межах похибки вимірювань.

РОЗДІЛ 5. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ТЕХНОЛОГІЇ ТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ СВІТЛИХ НАФТОПРОДУКТІВ

5.1. Контроль якості світлих нафтопродуктів при їх довготривалому зберіганні

Довготривале зберігання палив повинно враховувати те, що погіршення якості палива з плином часу є природним та незворотнім процесом. Відповідно до досліджених даних деградація палива, а також руйнування конструкційних матеріалів підприємств нафтопродуктозабезпечення та паливної системи транспортних засобів відбувається, коли вуглеводневе паливо піддається впливу факторів навколишнього середовища, таких як тепло, світло, кисень, волога та активність мікробів. Цей процес спричиняє порушення хімічного складу палива та може призвести до змін його фізичних і хімічних властивостей, що може вплинути на його продуктивність і придатність до використання.

Ступінь і швидкість деградації палива залежать від кількох факторів, включаючи тип палива, умови зберігання та наявність забруднюючих речовин. Зазвичай втраті якості палива сприяють процеси випаровування, окиснення, смолоутворення, гігроскопічність та мікробіологічне ураження. Всі вони мають місце при зберіганні палива на підприємствах нафтопродуктозабезпечення. Тому рекомендується:

1. Для зменшення втрат від випаровування внаслідок вентиляції газового простору під час довготривалого зберігання вуглеводневих палив, що призводить до погіршення їх якості рекомендовано використовувати системи рекуперації парів або резервуари із понтоном.

2. Проведення регулярного контролю якості палива, зокрема донної проби для ідентифікації наявності води та мікробіологічного забруднення.

3. Для запобігання мікробіологічному ураженню при кожному відборі проб слід проводити візуальний аналіз палива на можливу зміну кольору, наявність підтоварної води та її колір, присутність сторонніх включень тощо.

Температура навколишнього середовища є важливим фактором, що впливає на якість палив, оскільки спори мікроорганізмів активно розмножуються в температурному діапазоні від плюс 25°C до плюс 60°C, а деякі залишаються життєздатними навіть за температури мінус 40 °C.

4. При проведенні контрольних заходів на наявність мікробіологічного забруднення палива рекомендовано кожні 3 місяці використовувати запатентовані методики визначення мікроорганізмів із використанням наборів MicrobMonitor 2, Bug Check, Hum Bug Detector, Bug Alert тощо.

5.2. Експлуатація технологічного обладнання підприємств нафтопродуктозабезпечення при довготривалому зберіганні вуглеводневих палив

Технологічне обладнання нафтопродуктозабезпечувальних підприємств, які займаються тривалим зберіганням вуглеводневого палива, має забезпечити збереження якості палива, безпеку, економічність та екологічність технологічних процесів. Для цього рекомендовано наступне:

1. Резервуари для зберігання вуглеводневих палив мають бути забезпечені внутрішнім антикорозійним покриттям.

2. Обов'язкове використання інгібіторів корозії для захисту внутрішніх поверхонь резервуара, особливо в середовищах, де можлива конденсація води (днище резервуара, перший пояс, покрівля).

3. Для забезпечення умов збирання та своєчасного зливу підтоварної води з паливного резервуару необхідно впровадження технологічних рішень представлених на рис. 5.1.



Рис. 5.1. Система заходів із видалення підтоварної води з резервуару зберігання палив

Примітка: Результати на основі аналізу проведених досліджень.

Рекомендована система водовідведення запобігає розвитку мікробів і забрудненню палива; підвищує ефективність зберігання палива за рахунок збереження його якості; зводить до мінімуму корозію внутрішніх частин резервуару та пов'язаної з ним інфраструктури; відповідає екологічним нормам, забезпечуючи безпечну утилізацію води.

Протягом усього процесу видалення підтоварної води рекомендовано застосовувати автоматизовану систему керування даними в реальному часі для підвищення ефективності та безпеки. Переваги застосування даної системи наведено на рис. 5.2.



Рис. 5.2. Переваги автоматизованих систем моніторингу обводнення світлих нафтопродуктів при довготривалому зберіганні

Примітка: Результати на основі аналізу проведених досліджень.

4. Проведення періодичного очищення та своєчасне технічне обслуговування резервуарів та технологічного обладнання для видалення залишків води та відкладень, які можуть накопичуватися з часом. Це допоможе запобігти розвитку мікробіологічного ураження палив та мікробіологічній корозії конструкційних елементів.

В цілому, довгострокове зберігання світлих нафтопродуктів потребує дотримання нормативних документів щоб зберегти їх якість, запобігти забрудненню та уникнути економічних втрат від виходу за межі кондиції як самого палива так і конструкційних елементів підприємств нафтопродуктозабезпечення.

5.3. Мікробіологічне забруднення світлич нафтопродуктів при довготривалому зберіганні

Якщо під час зберігання палива виявлено мікроорганізми, потрібно якомога скоріше вжити заходів для запобігання подальшому забрудненню та збереження якості палива. Послідовність дій, які слід виконати в разі виявлення мікробного забруднення палива, представлено на схемі заходів контролю мікробіологічного ураження світлич нафтопродуктів та технологічного обладнання (рис. 5.3).



Рис. 5.3. Схема заходів контролю мікробіологічного ураження світлич нафтопродуктів та технологічного обладнання

Примітка: Результати власних досліджень.

Якщо при аналізі відібраної проби було виявлено ознаки мікробіологічного ураження палива, необхідно повторно провести відбір та аналіз для підтвердження чи спростування наявності мікроорганізмів.

У випадку підтвердження присутності мікроорганізмів необхідно провести оцінку рівня мікробіологічного забруднення: чи охоплює воно всю технологічну систему чи лише певні ділянки (наприклад, дно резервуара). Це допоможе розробити стратегію усунення забруднення. Повторно перевірити інші параметри палива, як каламутність, вологість, рН або запах, щоб отримати додаткову інформацію про рівень мікробної активності.

У разі виявлення значного забруднення слід відкачати паливо через фільтр тонкого очищення 1 мкм у чистий резервуар. Оскільки вода є середовищем для росту мікроорганізмів у паливному резервуарі, важливо видалити будь-яку вільну (підтоварну) воду (див розділ 5 п. 5.2). А при наявності біоплівки, осаду та мулу необхідно ретельно очистити резервуар та інше технологічне обладнання, оскільки вони можуть утримувати мікроорганізми та створювати ризики подальшого мікробіологічного забруднення нафтопродуктів. Для знезараження технологічного обладнання необхідно обробити його спеціальними засобами допущеними для застосування.

Для уникнення повторного ураження палива мікроорганізмами, необхідно проводити постійний моніторинг якості палива, включаючи мікробне тестування щоб виявити будь-яке повторне забруднення.

5.4. Політика підприємства та організаційні заходи для ефективного зберігання нафтопродуктів

Політика підприємства та організаційні заходи для ефективного зберігання нафтопродуктів, мають бути спрямовані на запобігання втраті якості палив та їх мікробіологічному ураженню, і є важливими для підтримки стабільності та надійності поставок нафтопродуктів, а також для збереження їх ефективності в процесах використання. Відповідно до цього рекомендується наступне (рис. 5.4 –5.6): забезпечення своєчасного (у разі необхідності – посиленого) контролю якості нафтопродуктів зберігання, запобігання (усунення) обводненню палив,

навчання персоналу, щодо ефективного зберігання світлих нафтопродуктів на підприємствах нафтопродуктозабезпечення.

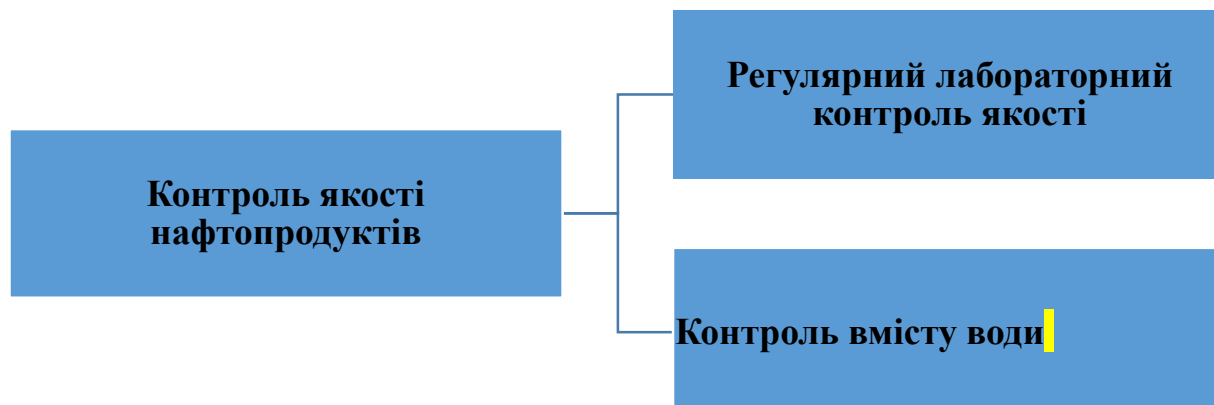


Рис. 5.4. Контроль якості нафтопродуктів для ефективного зберігання світлих нафтопродуктів

Примітка: Результати власних досліджень.

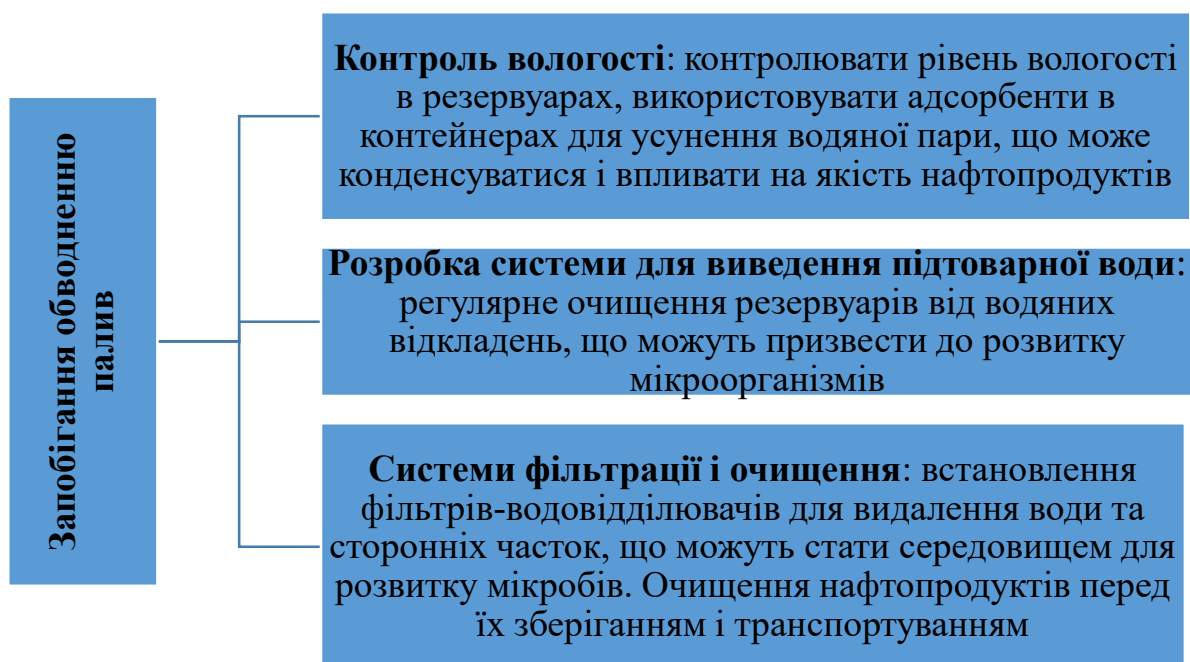


Рис. 5.5. Захист від обводнення нафтопродуктів для ефективного зберігання світлих нафтопродуктів

Примітка: Результати власних досліджень.

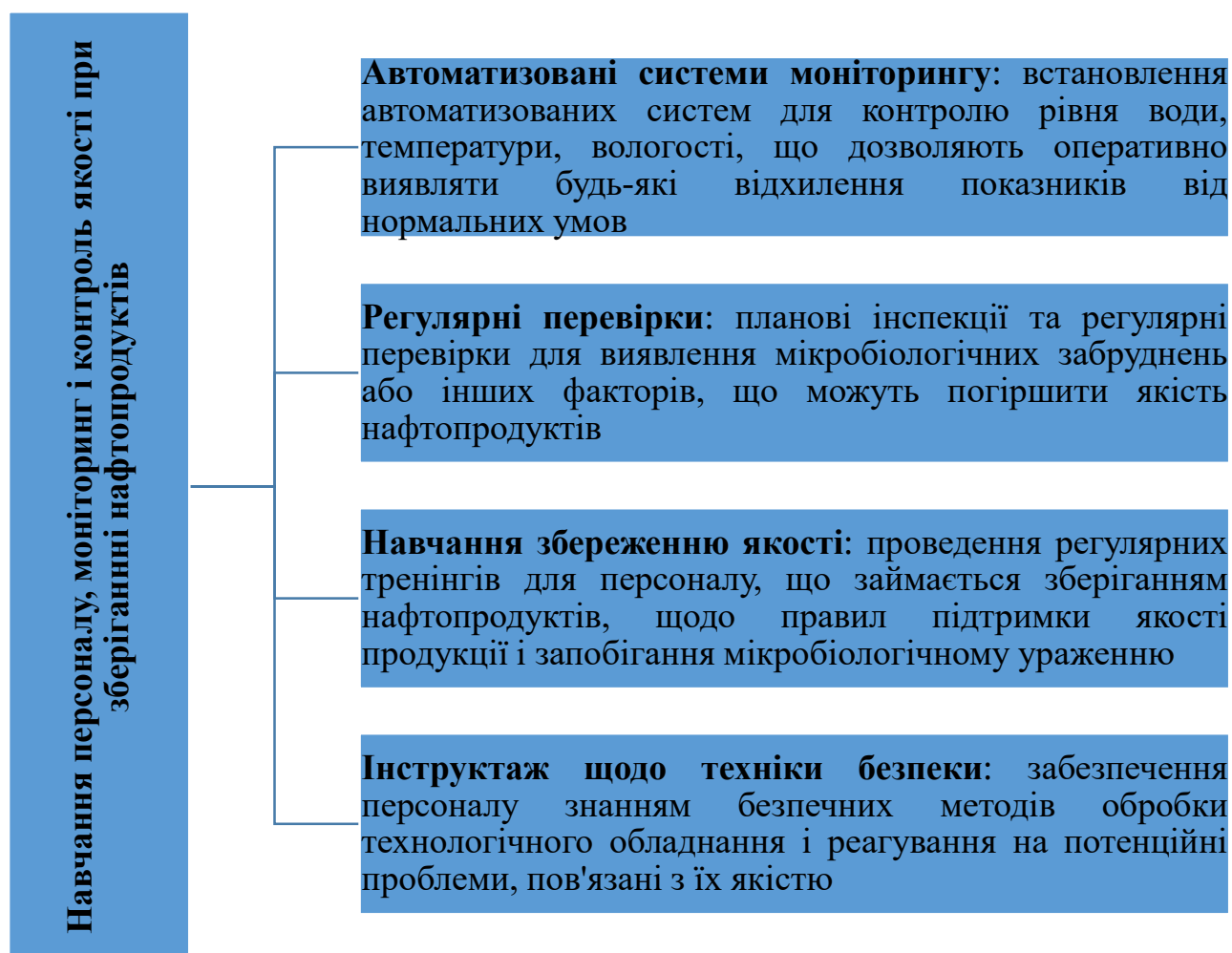


Рис. 5.6. Навчання персоналу, моніторинг і контроль якості при зберіганні нафтопродуктів для ефективного їх зберігання

Примітка: Результати власних досліджень.

Таким чином, для ефективного зберігання нафтопродуктів і запобігання їх мікробіологічному ураженню необхідно забезпечити суворий контроль за умовами зберігання палив, використовувати відповідні технології, а також проводити систематичні тренінги персоналу для швидкого реагування на потенційні загрози.

Висновки до розділу

Тривале зберігання світлих нафтопродуктів вимагає дотримання спеціальних технологічних заходів для збереження їхньої якості, запобігання втратам і зниження ризиків негативного впливу на довкілля. Дотримання

наведених рекомендацій дозволить не лише зберегти якість нафтопродуктів, але й знизити економічні втрати підприємств нафтопродуктозабезпечення та екологічні ризики.

Для забезпечення ефективного зберігання нафтопродуктів і запобігання їхньому мікробіологічному ураженню, необхідно ретельно контролювати умови зберігання палив, впроваджувати сучасні технології та проводити тренінги-навчання персоналу для можливості оперативного реагування на потенційні ризики.

Загалом, поєднання цих заходів дозволяє зберегти високу якість нафтопродуктів, мінімізувати їх втрати та забезпечити безпечне й екологічно відповідальне зберігання.

ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено актуальне науково-практичне завдання підтримання якості світлих нафтопродуктів в умовах довготривалого зберігання на підприємствах нафтопродуктозабезпечення. Найбільш важливі наукові та практичні результати, висновки та рекомендації полягають у наступному:

1. У результаті проведених досліджень встановлено, що довготривале зберігання світлих нафтопродуктів супроводжується змінами їх фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей. Показано, що основними чинниками, які суттєво впливають на якість палив під час їх зберігання є процеси випаровування, окиснення, обводнення, забруднення ТДФ та мікробіологічне ураження.

2. Дослідження дизельного палива ДП-Арк-Євро5-B0 із гарантійним терміном зберігання 5 років з моменту виробництва підтвердило наявність постійно діючого процесу забруднення палива твердою дисперсною фазою в реальних умовах зберігання на підприємстві нафтопродуктозабезпечення. Значення показника вмісту механічних домішок збільшилося у чотири рази - з 3,2 до 13 мг/кг за період 5 років.

3. Теоретично обґрунтовано та експериментально доведено зміну окиснювальної стабільності дизельного палива, показано, що під час зберігання відбувається постійний перебіг фізико-хімічних процесів, які сприяють окисненню нафтопродукту. Це підтверджується динамікою зростання окиснювальної стабільності палива у 3,3 рази (з 3 до 10 г/м³) за період 5 років.

4. Визначено, що тривалий термін зберігання дизельного палива сприяє покращенню його протизношувальних властивостей. Встановлено зменшення плями зносу на 18 % за 5 років зберігання (з 436 мкм до 359 мкм), що можна пояснити збільшенням кількості продуктів окиснення палива, зокрема високомолекулярних окислювальних продуктів, таких як смоли, що мають задовільні протизносні властивості.

5. Дослідження бензину автомобільного А-92-Євро5-Е5, з гарантійним терміном зберігання 3 роки від дати виготовлення (ДСТУ 8704:2017) дозволило встановити, що під час зберігання відбуваються незначні зміни таких показників як, вміст ароматичних вуглеводнів, вміст бензолу, вміст олефінових вуглеводнів, вміст кисню, об'ємна частка етерів, що не впливає суттєво на кондиційність палива, проте підтверджує постійно діючий перебіг фізико-хімічних процесів.

6. Дослідженнями фізико-хімічних показників палива для реактивних двигунів РТ за п'ятирічний термін зберігання встановлено, що найбільших змін зазнають показники «йодне число» (з 0,3 % до 0,1 %) та «концентрація фактичних смол» (1,8 % до 2,1%), залишаючись у межах вимог ГСТУ 320.001149943.007-97. Зменшення йодного числа палива можна пояснити зниженням концентрації олефінових вуглеводнів, враховуючи їх схильність до окиснення і полімеризації під час зберігання, що призводить до підвищення вмісту фактичних смол.

7. Експериментально встановлено підвищення показника кислотності вуглеводневого середовища при його мікробіологічному ураженні: кислотність палива Jet A-1 за 5 місяців зросла з 0,08 мг до 0,17 мг КОН/100 см³, а рижієвого біокомпоненту з 0,50 мг до 0,56 мг КОН/100 см³ за такий же період дослідження, що підтверджує вплив негативний вплив мікробіологічного ураження на якість вуглеводневих палив.

8. Експериментально доведено руйнівний вплив мікробіологічного ураження вуглеводневих палив на конструкційні матеріали. Змодельоване мікробіологічне забруднення вуглеводнево-водної фази із використанням Jet A-1 та ВІО-компонента показало накопичення біоплівки на дослідних поверхнях і активні ознаки корозійного мікробіологічного ушкодження зразків із Ст3 вже із шостого дня початку експерименту, натомість дослідні зразки із нержавіючої сталі залишалися без наявних ушкоджень і на 13-й день. На 143 день ознаки численних корозійних ушкоджень дослідних матеріалів зафіксовано на Ст3 та нержавіючій сталі.

9. Результати мікроскопіювання дослідних зразків шайб, що знаходилися у мікробіологічно забрудненому середовищі Jet A-1 (143-й день), із застосуванням растрового вимірювального електронного мікроскопу з камерою низького вакууму РЕМ-106-И показали наявність руйнування поверхні конструкційних матеріалів як зі Ст3 так і нержавіючої сталі. На поверхні дослідного зразка Ст3 зафіксовано наявність біоплівки та встановлено численну піттингову корозію. Поверхня шайби з нержавіючої сталі має характерні ознаки міжкристалічної корозії. Отримані дані дозволяють оцінити ступінь негативного впливу мікробіологічного забруднення палив на конструкційні матеріали для розробки відповідних технологічних та організаційних заходів зменшення впливу даного чинника.

10. Встановлено наступні закономірності при довготривалому зберіганні світлих нафтопродуктів, що дозволяє змодельовувати прогнозну оцінку втрати їх якості:

- у всіх видах вуглеводневих палив, що закладалися на довготривале зберігання (паливо дизельне, бензин автомобільний та паливо для реактивних двигунів), зміни якості не виходили за межі кондиційності, що підтверджує дієвість визначеного нормативного терміну зберігання;

- у світлих нафтопродуктах, зокрема таких як паливо дизельне та паливо для реактивних двигунів, відбуваються постійно діючі процеси окиснення, обводнення.

11. Розроблено рекомендації щодо технології тривалого зберігання світлих нафтопродуктів. Показано, що для ефективного зберігання вуглеводневих палив необхідно забезпечити суворий контроль за умовами зберігання палив, використовувати відповідні технології, проводити щоквартально тест-аналіз на мікробіологічне забруднення палив та технологічного обладнання. Внесення даних результатів роботи до нормативних галузевих документів сприятиме підтриманню якості світлих нафтопродуктів в умовах довготривалого зберігання на підприємствах нафтопродуктозабезпечення.

Загалом, проведене дослідження дозволяє зробити висновок, що при дотриманні оптимальних умов зберігання та використанні сучасних технологій можна значно зменшити втрати якості світлих нафтопродуктів і забезпечити їх стабільність протягом тривалого періоду зберігання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ЛІТЕРАТУРИ

1. Директива 2009/119/ЄС Ради від 14 вересня 2009 р. стосовно накладення на держав членів ЄС зобов'язання щодо підтримки мінімальних запасів сирої нафти та/або нафтопродуктів. URL <http://old.minjust.gov.ua/file/32530>.
2. Чукаєва І. К. Проблеми формування в Україні мінімальних запасів нафти та нафтопродуктів. *International Journal of Innovative Technologies in Economy*. 2018. № 7(19). С. 40–43. URL: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ijite/30082018/6114
3. Меморандум між Україною та Європейським Союзом про порозуміння щодо співробітництва в енергетичній галузі: Меморандум Україна від 01.12.2005 : станом на 25 листоп. 2016 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_694#Text .
4. Створення мінімальних запасів нафти та нафтопродуктів – це відповідь на виклики війни. Міністерство енергетики України. 24 червня 2023 року. URL <https://www.kmu.gov.ua/news/stvorennia-minimalnykh-zapasiv-nafty-ta-naftoproduktiv-tse-vidpovid-na-vyklyky-viiny-mykola-kolisnyk>.
5. Про затвердження Технічного регламенту щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, суднових та котельних палив : Постанова Каб. Міністрів України від 01.08.2013 № 927 : станом на 26 січ. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/927-2013-п#Text>
6. ДСТУ 7687:2015 Бензини автомобільні євро. Технічні умови. [Чинний від 01.01.2016]. Київ: УкрНДНЦ, 2015.– 20 с. (Інформація та документація).
7. ДСТУ 7688:2015 Паливо дизельне євро. Технічні умови. [Чинний від 01.01.2016]. Київ: УкрНДНЦ, 2015.– 18 с (Інформація та документація).
8. ДСТУ 8705:2017 Паливо дизельне довготривалого зберігання. Технічні умови. [Чинний від 2016-09-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 18 с. (Інформація та документація).

9. ДСТУ 8704:2017 Бензини автомобільні довготривалого зберігання. Технічні умови. [Чинний від 2017-09-01]. Київ: УкрНДНЦ, 2017. – 15 с. (Інформація та документація).
10. ДСТУ 4796:2007. Паливо авіаційне для газотурбінних двигунів ДЖЕТ А-1. [Чинний від 2007-10 -01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. – 8 с. (Інформація та документація).
11. Про затвердження Технічного регламенту щодо вимог до авіаційного бензину та палив для реактивних двигунів : Постанова Каб. Міністрів України від 26.05.2021 № 523 : станом на 13 трав. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/523-2021-п#Text>.
12. ASTM D1655-21c. Standard Specification for Aviation Turbine Fuels. 2022. [Last updated July 26 2022]. URL: <https://www.astm.org/d1655-21c.html>.
13. Матвєєва О. Л. Зміна якості вуглеводневих палив для газотурбінних двигунів в умовах життєвого циклу. *Системи обробки інформації*. 2013. №1. С. 97-100.
14. Транспортна екологія: навчальний посібник / Запорожець О.І. та ін.; – К.:НАУ, 2017. - 507 с.
15. O. Matvyeyeva, Y.Vovk, O. Nilov. Microbiological Contamination of Motor Fuels: Analysis and Identification in Fuelling Companies. *Proceedings of the National Aviation University*, 2021. 1(86). P. 49–56. <https://doi.org/10.18372/2306-1472.86.15444>.
16. Матвєєва О. Л. Вплив забруднень на процеси окислення вуглеводневих палив. *Системи озброєння і військова техніка*. 2013. 1. С. 100-102.
17. Матвєєва О. Л., Столінець С. Л. Дослідження зміни якості реактивних палив в експлуатаційних умовах. *Проблеми техніки*. 2004. 3. С. 70-74.
18. Jeon, Cheol-Hwan, Cheon-Kyu Park, Byung-Ki Na, and Jae-Kon Kim. «Properties of Gasoline Stored in Various Containers» *Energies*. 2017. 10, .№ 9: 1307. <https://doi.org/10.3390/en10091307>.

19. Cai, G., Liu, Z., Zhang, L., Shi, Q., Zhao, S., & Xu, C. Systematic performance evaluation of gasoline molecules based on quantitative structure-property relationship models. *Chemical Engineering Science*. 2021. 229. 116077. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.116077>.
20. Sydorenko, N. O. The influence of the component composition of automobile gasolines on their physical stability. *Proceedings of the National Aviation University*. 2009. 38(1). C.173-176.
21. Boryaev, A. A. Development of advanced methods of determining the chemical stability of hydrocarbon fuels. *Thermochimica Acta*. 2020. P. 685, 178508. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2020.178508>
22. Kumar, T., Mohsin, R., Abdul Ghafir, M. F., Kumar, I., & Wash, A. M. Concerns over Use of Leaded Aviation Gasoline (AVGAS) Fuel. *Chemical Engineering Transactions*. 2018. №63, P. 181-186. <https://doi.org/10.3303/CET1863031>
23. Owczuk, M., & Kołodziejczyk, K. Liquid Fuel Ageing Processes in Long-term Storage Conditions. In (Ed.), *Storage Stability of Fuels*. IntechOpen. 2015. <https://doi.org/10.5772/59799>
24. Borecki M., Gęca M., Korwin-Pawłowski M.L., Prus P. Capillary Sensor with UV-forced Degradation and Examination of Fluorescence for Determination of Chemical Stability of Diesel and Biodiesel Fuels, *Sensors & Transducers*. 2017. 220, P. 20-30.
25. Матвєєва О.Л., Тітова О.С., Курок Л.М.. Хіміко-термодинамічна характеристика окиснення вуглеводневих палив. *Вісник НАУ*. 2004. С. 175–182.
26. Бойченко С. В., Іванов С. В., Федорович Л. А., Черняк Л. М. Взаємозв'язок втрат від випаровування та кондиційності бензину. *Вісник НАУ*. №4. 2004. С. 151–154.
27. Matvyeyeva O., Vasylchenko O. Microbiological damage of Hydrocarbon fuels. Proceedings of International Symposium on Sustainable Aviation: III intern. conf., 10–13 September 2017: Kyiv, 2017. P. 103-105.

28. Про затвердження норм втрат нафтопродуктів під час їх приймання, зберігання, відпуску, перевантаження та транспортування : Постанова Каб. Міністрів України від 05.08.2020 № 686.
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/686-2020-п#Text>
29. Матвєєва О. Л., Столінець С. Л Проблеми чистоти вуглеводневих палив в процесі експлуатації. *Проблеми техніки*. 2004. № 4. С.71-76.
30. Вовк Ю.О., Матвєєва О.Л. Зміна якості дизельного палива в умовах довготривалого зберігання. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*. 2024 .№337 (3(2), С. 40-45. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-337-3-5>.
31. Вовк Ю.О., Матвєєва О.Л. Біоушкодження палив та об'єктів підприємств паливозабезпечення. *Наукоємні технології*. 2023. № 1. С. 86-92.
32. Шевченко О. Б., Зибайло С. М., Попитайленко Д. Дослідження корозійної активності дизельного палива, що вміщує біодизель. *The Scientific Heritage*. 2021. (72-1), С. 77-80. DOI: 10.24412/9215-0365-2021-72-1-77-80
33. I. Shkilniuk, S. Boichenko Microbiological corrosion and importance of monitoring of microbial contamination for reliability aviation technology. *Transport. Systems and means of motor transport*. Monografia No 7. Rzeszow (Poland), 2016. P. 291–300.
34. Shkilniuk, I., Boichenko, S. Biological Risk of Aviation Fuel Supply. *Systems, Decision and Control in Energy. Studies in Systems, Decision and Control*. 2020. vol 298. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48583-2_12.
35. Ziółkowska, M., & Wardzińska, D. Corrosiveness of fuels during storage processes. *Storage Stability of Fuels*. 2015. <https://doi.org/10.5772/59803>.
36. Борецька М. О.; Козлова І. П. Біоплівка на поверхні металу як фактор мікробної корозії. *Мікробіологічний журнал*. 2010. 72. № 3. С. 57–65.
37. Polutrenko, M., Maruschak, P., Tymoshenko, A., & Soroachak, A. Influence of soil microorganisms on metal corrosion of underground pipelines. *Koroze a ochrana material*. 2018. 62(2), 65. <https://doi.org/10.1515/kom-2018-0009>

38. Матвєєва О. Л., Вовк Ю. О., Тітова О. С. Моніторинг змін якості бензину автомобільного в умовах довготривалого зберігання. *Journal of Chemistry and Technologies*. 2022. 30(3). Р. 410–418. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v30i3.261958>.
39. Teixeira, L. S., Souza, J. C., dos Santos, H. C., Pontes, L. A., Guimarães, P. R., Sobrinho, E. V., & Vianna, R. F. The influence of Cu, Fe, Ni, Pb and Zn on gum formation in the Brazilian automotive gasoline. *Fuel processing technology*. 2007. 88(1), С. 73–76. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2006.08.008>.
40. Zubin Zhang, Ruiyi Gu, Haiqin Wang, Xianjie Sun, Hong Li, Key Factors and Improvement Measures Changing the Gum Content of Stored Fuels. *Petroleum Science and Engineering*. № 6, Issue 1. June 2022, Р. 14–25. <https://doi:10.11648/j.pse.20220601.12>.
41. Czarnocka J., Matuszewska A., Małgorzata Odziemkowski M. Autoxidation of Fuels During Storage. In (Ed.), *Storage Stability of Fuels*. *Intech Open*. 2015. <https://doi.org/10.5772/59807>.
42. Полутренко М. С. Мікробіологічна корозія підземних металокопструкцій та способи їх захисту. *Prospecting and Development of Oil and Gas Fields*. 2012. 4 (45), С. 184–188.
43. Макаренко, В., Хоружий, В., Любенко, В., Максимов, С., Осадчий, В., & Недашковський, І. Дослідження впливу біологічної корозії на міцність сталевих копструкцій гідротехнічних споруд тривалої експлуатації в агресивних середовищах. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2021. 36. С. 27–38. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2021.36.27-38>.
44. Matvyeyeva O. L., Vasyilctenko O. A., Aliieva O. R. Microbioal Biosurfactants Role in Oil Products Biodegradation. *International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation*. 2014. 2. (2). Р. 69–74. DOI: 10.12691/ijebb-2-2-4.
45. Beech, I. B., & Gaylarde, C. C. Recent advances in the study of biocorrosion: an overview. *Revista de microbiologia*. 1999. №30. С. 117–190. <https://doi.org/10.1590/S0001-37141999000300001>

46. Usher, K. M., Kaksonen, A. H., Cole, I., & Marney, D. Critical review: microbially influenced corrosion of buried carbon steel pipes. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2014. №93. C. 84–106.
47. Passman, F. J. Microbial contamination and its control in fuels and fuel systems since 1980-a review. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2013. 81. C. 88–104. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.08.002>.
48. Mansour, R., & Elshafei, A. M. Influence of Microorganisms on Corrosion Induction and Protection. *Advances and Trends in Biotechnology and Genetics*. 2019. 50. DOI:10.9734/bpi/atbg/v1.
49. Шкільнюк І. О. Мікробіологічна стабільність моторних палив традиційного та альтернативного походження. *Сучасні технології переробки нафти та газу*. 2022. С. 93.
50. Wang, Aviation fuel synthesis by catalytic conversion of biomass hydrolysate in aqueous phase. *Appl. Energy*. 2014. № 136. P. 775 <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.06.035>.
51. Unimke, Microbial degradation of petroleum hydrocarbons: realities, challenges and prospects. *Int. J. Biotechnol.*, № 22, с. 1 <https://doi.org/10.9734/BJI/2018/43957>.
52. Itah. Biodegradation of international jet A-1 aviation fuel by microorganisms isolated from aircraft tank and joint hydrant storage systems, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, № 83, P. 318 <https://doi.org/10.1007/s00128-009-9770-0>
53. Hill. Microbial growth in aviation fuel. *Aircr. Eng. Aerosp. Technol.*, № 75, P. 497 <https://doi.org/10.1108/00022660310492582>
54. Hu. A survey of microbial contamination in aviation fuel from aircraft fuel tanks. *Folia Microbiol.* № 65, P. 371 <https://doi.org/10.1007/s12223-019-00744-w>
55. Rauch, Characterization of microbial contamination in United States Air Force aviation fuel tanks. *Microbiol. Biotechnol.* № 33. C. 29 <https://doi.org/10.1007/s10295-005-0023-x>

56. Rajasekar. Microbial corrosion of aluminum 2024 aeronautical alloy by hydrocarbon degrading bacteria *Bacillus cereus* ACE4 and *Bertrania marcescens* ACE2. *Ind. Eng. Chem. Res.*, № 49, C. 6054 <https://doi.org/10.1021/ie100078>
57. Rajasekar, Inhibition of biocorrosion of aluminum 2024 aeronautical alloy by conductive ladder polymer poly(o-phenylenediamine), *Ind. Eng. Chem. Res.*, № 50, c. 2040 <https://doi.org/10.1021/ie101678x>
58. Macário. Corrosion behavior of Al2024-T3, Al5052-H32, and Al6061-T6 aluminum alloys coated with DLC films in aviation fuel medium, Jet A-1 and AVGAS 100LL. *Mater. Corros.*, № 70, C. 2278 <https://doi.org/10.1002/maco.201911035>
59. Martin-Sanchez. A novel qPCR protocol for the specific detection and quantification of the fuel-deteriorating fungus *Hormoconis resinae*. *Biofouling*. № 32, c. 635 <https://doi.org/10.1080/08927014.2016.1177515>
60. Morton. Biofilms in biodeterioration a review. *Int. Biodeterior. Biodegradation*, № 34, C. 203 [https://doi.org/10.1016/0964-8305\(94\)90083-3](https://doi.org/10.1016/0964-8305(94)90083-3)
61. Buddie. *Candida keroseneae* sp. nov., a novel contaminant of aviation kerosene. *Letters in Applied Microbiology*. 2011. № 52, c. 70 <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2010.02968.x>
62. Chan K. Y., Lam J. K.-W. Water drop runoff in aircraft fuel tank vent systems. *Proceedings of the institution of mechanical engineers, part C: journal of mechanical engineering science*. 2016. Vol. 231, no. 24. P. 4548–4563. URL: <https://doi.org/10.1177/0954406216669175>
63. Passman F. J. Microbial contamination and its control in fuels and fuel systems since 1980 – a review. *International biodeterioration & biodegradation*. 2013. Vol. 81. P. 88–104. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.08.002>
64. Yeung S. S. M. World at work: aircraft cabin cleaning. *Occupational and environmental medicine*. 2005. Vol. 62, no. 1. P. 58–60. URL: <https://doi.org/10.1136/oem.2004.015461>
65. Hill E. C., Hill G. C. Microbial contamination and associated corrosion in fuels, during storage, distribution and use. *Advanced materials research*. 2008. Vol. 38. P. 257–268. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.38.257>

66. Gaylarde C. C., Bento F. M., Kelley J. Microbial contamination of stored hydrocarbon fuels and its control. *Revista de microbiologia*. 1999. Vol. 30, No. 1. P. 01–10. URL: <https://doi.org/10.1590/s0001-37141999000100001>
67. E.C. Hill and G.C. Hill: Detection and Remediation of Microbial Spoilage and Corrosion in Aviation Kerosene – from Refinery to Wing, Proc. 7th Int. Conf. on Stability and Handling of Liquid Fuels, Graz, (24-29 September 2000).
68. E.C. Hill, G.C. Hill: Investigations of Microbially Influenced Corrosion in Ships and Aircraft. *Corrosion and Materials*. Cardiff. 2002. 1 – 10.
69. Microbes in the marine industry / ed. by H. E. C, Institute of Marine Engineering. *Science and Technology*. London : IMarEST, 2003. 173 p.
70. Hill, Edward & Hill, Graham. Microbial Contamination and Associated Corrosion in Fuels, during Storage, Distribution and Use. *Advanced Materials Research*. 2008. №38. P.257-268. 10.4028/www.scientific.net/AMR.38.257.
71. Vasylchenko O.A., Aliieva O. R., Matvyeyeva O. L., Salata A. M. Biotechnological aspects of hydrocarbons biodegradation. *Біотехнологія*. 2012. Т.5. №2. С.41-50. http://nbuv.gov.ua/UJRN/biot_2012_5_2_5
72. IATA Aviation Fuel Working Group. Guidance Material on Microbiological Contamination in Aircraft Fuel Tanks. International Air Transport Association. 2005. C.1-20.
73. ASTM Standard D6469-17. Standard Guide for Microbial Contamination in Fuels and Fuel Systems; ASTM International: West Conshohocken, PA, 2017.
74. SAE AS 6401 Final Draft Initial Issue 2009-03-11 Storage, Handling and Distribution of Jet Fuels at Airports (Warrendal: Aerospace standard SAE International Group).
75. JIG (Joint Inspection Group) 1 Standard January 2016. Aviation fuel quality control and operating standards for into-plane fuelling services. Issue 12 (Montreal – Geneva : International Air Transport Association).
76. JIG (Joint Inspection Group) 2 Standard January 2016. Aviation fuel quality control & operating standards for airport depots and hydrants. Issue 12. (Montreal – Geneva: International Air Transport Association).

77. API RP 1595:2012(R2019) Current Design, Construction, Operation, Maintenance, and Inspection of Aviation Pre-Airfield Storage Terminals, 2nd Edition.
78. IATA. Episode 2: Adapting to New Circumstances TCPC; Aircraft Disinfecting; Fuel Testing & Biocide. MCC 2020 Webinar Series.
79. Fuel System Contamination & Starvation. August 2021. URL: <https://www.duncanaviation.aero/intelligence/fuel-system-contamination-starvation>.
80. What is Microbial fuel contamination URL: <https://conidia.com/what-is-microbial-fuel-contamination/>
81. Shkilniuk Iryna, Boichenko Sergii, Kondratiuk Tetyana, Lejda Kazimierz. System for Monitoring Microbiological Contamination of Jet Fuels and Fuel Systems. Cham, 2022. P. 231–245. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-06577-4_12
82. Інструкція з контролювання якості нафти і нафтопродуктів на підприємствах і організаціях України. Затверджено наказом Міністерства палива та енергетики України, Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики від 4 червня 2007 р. № 271/121. – К. : Держстандарт, 2007. – 48 с.
83. ДСТУ 4345:2004 Палива рідкі. Номенклатура показників якості. [Чинний від 2006.01.01]. Держспоживстандарт України, 2004. - 18 с. (Інформація та документація).
84. ДСТУ ГОСТ 2477:2021 Нафта та нафтопродукти. Метод визначення вмісту води (ГОСТ 2477-2014, IDT). З Поправкою. – [Чинний від 15.12.2021]. (Інформація та документація).
85. ДСТУ ГОСТ 2477:2021 Нафта та нафтопродукти. Метод визначення вмісту води (ГОСТ 2477-2014, IDT). З Поправкою. – [Чинний від 15.12.2021]. (Інформація та документація).
86. ДСТУ ISO 12937:2012. Нафтопродукти. Визначення води методом кулонометричного титрування за Карлом Фішером (ISO 12937:2000, IDT). - Київ, 2013. - 10 с. (Інформація та документація).
87. ISO 12937:2000 Petroleum products — Determination of water — Coulometric Karl Fischer titration method. [First edition 2000-11-01] URL: chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cdn.standards.

iteh.ai/samples/2730/d1f8ee11083a4fbc84aad409e4bcf40f/ISO-12937-2000.pdf .

(Інформація та документація).

88. ДСТУ ГОСТ 6370:2021 Нафта, нафтопродукти та добавки. Метод визначення механічних домішок (ГОСТ 6370-2018, IDT). – [Чинний від 15.12.2021]. (Інформація та документація).

89. ДСТУ ГОСТ 6370:2021 Нафта, нафтопродукти та добавки. Метод визначення механічних домішок (ГОСТ 6370-2018, IDT). – [Чинний від 15.12.2021]. (Інформація та документація).

90. ДСТУ EN 12662:2012 Нафтопродукти рідкі. Метод визначення домішок у середніх дистилятах (EN 12662:2008, IDT) URL: http://www.ksv.biz.ua/publ/dstu/dstu_7688_2015/3-1-0-2471/ (Інформація та документація).

91. EN ISO 12662:2008 Liquid Petroleum products - Determination of contamination in middle distillates. URL: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cdn.standards.iteh.ai/samples/27529/b6cfb9659e87498c87474aab92309a6d/SIST-EN-12662-2008.pdf](http://www.ksv.biz.ua/publ/dstu/dstu_7688_2015/3-1-0-2471/) (Інформація та документація).

92. ДСТУ EN 13132:2009 «Нафтопродукти рідкі. Бензин не етилований. Визначення органічних кисневмісних сполук та загального вмісту органічно зв'язаного кисню газохроматографічним методом з перемиканням колонок (EN 13132:2000, IDT)». [Чинний від 2006.11.12]. Київ : УкрНДНЦ, 2006. – 18 с. (Інформація та документація).

93. EN 13132:2000 D Flüssige Mineralölerzeugnisse - Unverbleite Ottokraftstoffe - Bestimmung sauerstoffhaltiger organischer Verbindungen und des Gesamtgehaltes an organisch gebundenem Sauerstoff mittels Gaschromatographie mit Säulenschaltung. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/70a8931f> URL: [ba8a-46a6-a2d7-8410deb7c165/en-13132-2000?srsId=AfmBOoorYQNpkEm1z-JD7RXM1kcf_r8KATrIU0A1T8EvtqCwWdq82D9X7](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/70a8931f) (Інформація та документація).

94. ДСТУ EN 1601:2003 Нафтопродукти рідкі. Бензини неетильовані. Визначення органічних кисневмісних сполук та загального вмісту органічно зв'язаного кисню методом газової хроматографії (О-ПІД) (EN 1601:1997, IDT). [Чинний від 2023.01.12]. Київ : УкрНДНЦ, 2023. – 23 с. (Інформація та документація).

95. EN 1601:1997 Liquid petroleum products – Unleaded petrol – Determination of organic oxygenate compounds and total organically bound oxygen content by gas chromatography (O-PID)) URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/5dd47c40-eb70-449c-bbf9-39d877194fa8/en-1601-1997?srsId=AfmBOopJYAg3RTGkyA3zLWrfmnK07GX6h8QvC6u6B7xtxWx36q6uUSwU>

96. ДСТУ EN 14517:2009 Нафтопродукти рідкі. Визначення типів вуглеводнів і кисневмісних сполук у бензині методом багатовимірної газової хроматографії. [Чинний від 2009.12.15]. Київ : УкрНДНЦ, 2009. – 17 с. (Інформація та документація).

97. EN 14517:2004 Liquid petroleum products - Determination of hydrocarbon types and oxygenates in petrol - Multidimensional gas chromatography method. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/5dd47c40-eb70-449c-bbf9-39d877194fa8/en-16011997?srsId=AfmBOopJYAg3RTGkyA3zLWrfmnK07GX6h8QvC6u6B7xtxWx36q6uUSwU>

98. ДСТУ 7683:2015 Нафтопродукти. Бензин. Визначення етерів та спиртів методом газової хроматографії. [Чинний від 2015.05.28]. Київ : УкрНДНЦ, 2015. – 19 с. (Інформація та документація).

99. ДСТУ 7686:2015 Бензин. Визначення індивідуальних компонентів методом газової хроматографії високої розділеності на 100-метровій капілярній колонці. [Чинний від 2015.05.28]. Київ : УкрНДНЦ, 2015. – 19 с. (Інформація та документація).

100. ISO 22854:2014 Liquid petroleum products — Determination of hydrocarbon types and oxygenates in automotive-motor gasoline and in ethanol (E85) automotive fuel — Multidimensional gas chromatography method. [Second edition

2014-03-01]. URL:chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/https://cdn.standards.iteh.ai/samples/60099/77b8b742cccf4f71871c2d554b20d741/ISO-22854-2014.pdf

101. ASTM D4815-13 Standard test method for determination of MTBE, ETBE, TAME, DIPE, tertiary- amyl alcohol and C1 to C4 alcohols in gasoline by gas chromatography. URL: <https://www.scribd.com/document/720261966/ASTM-D4815-For-Ethanol-Less-20>

102. ASTM D5845-01(2011) Standard test method for determination of MTBE, ETBE, TAME, DIPE, methanol, ethanol and fert-butanol in gasoline by infrared spectroscopy. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/astm/97bc824c-457f-406d-9623-e51e23786893/astm-d5845-952000e1?srsltid=AfmBOopuengRZfHISr7kiVrMigitPdTOmm12Y2ftZJg7nE-j5yyFYpW>.

103. ASTM D6729-04(2009) Standard test method for determination of individual components in spark ignition engine fuels by 100 meter capillary high resolution gas chromatography URL:https://standards.iteh.ai/catalog/standards/astm/97bc824c-457f-406d-9623-e51e23786893/astm-d5845-952000e1?srsltid=AfmBOop_uengRZfHISr7kiVrMigitPdTOmm12Y2ftZJg7nE-j5yyFYpW

104. ASTM D6730-01 (2011) Standard test method for determination of individual components in spark ignition engine fuels by 100-metre capillary (with precolumn) high-resolution gas chromatography. URL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/https://cdn.standards.iteh.ai/samples/94177/3372b8a2752541fa8a6b1d1c72bf0738/ASTM-D6730-01-2016-.pdf

105. ДСТУ 7684:2015 Нафтопродукти. Метод визначення стійкості до окиснення дистильного рідкого палива (прискорений метод) [Чинний від 2016.01.01]. Київ : УкрНДНЦ, 2016. – 19 с. (Інформація та документація).

106. ASTM D2274-03a Standard Test Method for Oxidation Stability of Distillate Fuel Oil (Accelerated Method). URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/astm/dc79be42-5a99-45da-b183-962c3c9f1f47/astm-d2274-03a2008?srsltid=AfmBOoptLRTWxVSx8ED2iYEtqtSrSQ3dWqda3eurxi1LsppHJbqzH3WM>

107. ДСТУ ISO 12205:2014 Нафтопродукти. Метод визначення стабільності щодо окиснення середніх нафтових дистилатів (ISO 12205:1995, IDT) Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=64488

108. ISO 12205:1995 Petroleum products — Determination of the oxidation stability of middle — distillate fuels). URL: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfendmkaj/https://cdn.standards.iteh.ai/samples/21187/ffea0c34a5894f7da760d72c7ba961df/ISO-12205-1995.pdf>

109. ДСТУ ISO 12156-1:2009 Паливо дизельне. Оцінювання змащувальної здатності з використанням пристрою високочастотного зворотно-поступального руху (ПВЗР). Частина 1. Метод випробування (ISO 12156-1:2006, IDT) Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=85834

110. ISO 12156-1:2006 Diesel fuel — Assessment of lubricity using the high-frequency reciprocating rig (HFRR) — Part 1: Test method.URL: <https://www.iso.org/ru/standard/39783.html>

111. ДСТУ 7686:2015 «Бензин. Визначення індивідуальних складників методом газової хроматографії високого ступеня розділеності на 100-метровій капілярній колонці». [Чинний від 2016.01.01]. Київ : УкрНДНЦ, 2016. – 19 с. (Інформація та документація).

112. ASTM D 6729-04 «Standard Test Method for Determination of Individual Components in Spark Ignition Engine Fuels by 100 Meter Capillary High Resolution Gas Chromatography».

113. ГОСТ 2177-99 Нафтопродукти. Методи визначення фракційного складу. –[Чинний від 01.07.2001].

114. EN ISO 3405:2011 Petroleum products — Determination of distillation characteristics at atmospheric pressure. URL: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfendmkaj/https://cdn.standards.iteh.ai/samples/67956/379a350656fd40f2b3e2f0d5a12e8751/ISO-3405-2019.pdf>

115. ASTM D86-12 Standard test method for distillation of petroleum products at atmospheric pressure. URL: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cdn.standards.iteh.ai/samples/83759/f82085ab76444efa9e2d50d45e9ec243/ASTM-D86-12.pdf>

116. ДСТУ EN 13016-1:2012 Нафтопродукти рідкі. Тиск насиченої пари. Частина 1. Визначення тиску насиченої пари з вмістом повітря (ASVP) і розрахування еквівалентного тиску сухої пари (DVPE). [Чинний від 2016.01.01]. Київ : УкрНДНЦ, 2016. – 19 с. (Інформація та документація).

117. EN 13016-1:2007 Liquid petroleum products - Vapour pressure - Part 1: Determination of air saturated vapour pressure (ASVP) and calculated dry vapour pressure equivalent (DVPE)/ URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/c13f62b9-9b43-4179-8484-9c49810828a9/en-13016-1-2018?srsId=AfmBOorruspcfJBelGwuNFZg0OCcna-0ZwVXs221NqjWQ-SUwrYN2Lec>

118. ДСТУ 4160-2003 Нафтопродукти. Визначення тиску насиченої пари. Метод Рейда. [Чинний від 2004.01.07]. Київ : УкрНДНЦ, 2004. – 19 с. (Інформація та документація).

119. ASTM D5482-07(2013) Standard test method for vapor pressure of petroleum products (mini method-atmospheric). URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/astm/4d6306b8-f453-42a0-9760-7aae57ee9287/astm-d5482-07-2013?srsId=AfmBOorHKJpRL1VCDHKtaIFEEaSc3ZLdcH6lJqk2c1Qcvl5TfBh6G9Q>

120. ASTM D323-08 Standard test method for vapor pressure of petroleum products (Reid method) URL: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/66561/79093b9e91c048c88da72deb602e751e/ASTM-D323-08.pdf>

121. ГОСТ 5985-79 (СТ РЕВ 3963-83) Нафтопродукти. Метод визначення кислотності та кислотного числа. Зі змінами № 1 (ІВД № VIII-84), № 2 (ІВД № IV-92) та Поправками.

122. ASTM D 3242-01 Standard Test Method for Acidity in Aviation Turbine Fuel (Метод визначення кислотного числа в авіаційних турбінних паливах)/URL:

<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/4560/a76d4e029aa045c9b3681a0a3dd82c35/ASTM-D3242-01.pdf>

123. IP 354 Determination of the Acid Number of Aviation Turbine Fuels — Colour-Indicator Titration Method (Визначення загальної кислотності авіаційних турбінних палив. Метод титрування з кольоровим індикатором).

124. DOC 9977 Guide to the supply of aviation fuel in civil aviation. – ICAO, 2012. – 46 p URL: <https://skybrary.aero/bookshelf/doc-9977-manual-civil-aviation-jet-fuel-supply-first-ed-2012>

125. ECHA. MicrobeMonitor2. For detection and Enumeration of contaminating microbes in fuels, lubricants and water. Instruction for use. 2021 URL: https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/media.echamicrobiology.co.uk/2021/01/EP066_MM2-Instruction-Leaflet_130318.pdf

126. ASTM D1655-21c. Standard Specification for Aviation Turbine Fuels. 2022. [Last updated July 26 2022]. URL: <https://www.astm.org/d1655-21c.html>.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Акти впровадження результатів наукових досліджень

«УЗГОДЖЕНО»

Проректор з навчальної роботи

Анатолій ПОЛУХІН

«22» 10 2024 р.



В.о. ректора НАУ

Ксенія СЕМЕНОВА

«22» 10 2024 р.

АКТ

упровадження виконаної науково-дослідної та
дослідно-конструкторської роботи у навчальний
процес Національного авіаційного університету

Ми, що нижче підписались, в.о. декана факультету екологічної безпеки, інженерії та технологій кандидат технічних наук Зозуля С.В., завідувач кафедри хімії і хімічної технології, кандидат хімічних наук, доцент Кустовська А. Д., кандидат технічних наук, професор Матвеева О.Л., аспірантка кафедри хімії і хімічної технології Вовк Ю.О. склали цей акт про те, що результати наукових випробувань за темою: «Зміна якості світлих нафтопродуктів в умовах тривалого зберігання» використовуються в навчальному процесі на кафедрі хімії і хімічної технології факультету екологічної безпеки, інженерії та технологій Національного авіаційного університету при викладанні дисциплін «Технологічне обладнання паливо-заправних комплексів», «Альтернативні авіаційні паливно-мастильні матеріали», «Мікробіологічне ураження альтернативних моторних палив та паливних систем».

Назва наукового дослідження, що впроваджується	Форма впровадження	Результати впровадження
Зміна якості світлих нафтопродуктів в умовах тривалого зберігання	Лекції, лабораторні роботи Кваліфікаційні роботи	Дозволяє поглибити процес наукового пізнання та сутність процесів, які впливають на якість палив. Результати досліджень використовуються при підготовці кваліфікаційних робіт

Декан факультету екологічної безпеки,
інженерії та технологій, к.т.н.

Сергій ЗОЗУЛЯ

Завідувач кафедри хімії і хімічної технології, к.х.н.

Антоніна КУСТОВСЬКА

Професор кафедри хімії і хімічної технології, к.т.н.,

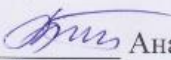
Олена МАТВЄЄВА

Аспірантка кафедри хімії і хімічної технології

Юлія ВОВК

«УЗГОДЖЕНО»

Проректор з навчальної роботи

 Анатолій ПОЛУХІН
«28» листопада 2022 р.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Ректор НАУ

 Максим ЛУЦЬКИЙ
«28» листопада 2022 р.



АКТ

упровадження виконаної науково-дослідної та
дослідно-конструкторської роботи у навчальний процес
Національного авіаційного університету

Ми, що нижче підписались, декан факультету екологічної безпеки, інженерії та технологій доктор технічних наук, професор Матвєєва І.В., завідувач кафедри хімії і хімічної технології, кандидат хімічних наук, доцент Кустовська А. Д., кандидат технічних наук, професор Матвєєва О.Л., аспірантка кафедри хімії і хімічної технології Вовк Ю.О., склали цей акт про те, що результати наукових випробувань за темою: «Зміна якості світлих нафтопродуктів в умовах тривалого зберігання» використовуються в навчальному процесі на кафедрі хімії і хімічної технології факультету екологічної безпеки, інженерії та технологій Національного авіаційного університету при викладанні дисциплін «Альтернативні паливно-мастильні матеріали» та «Технології модифікації та оптимізації складу й експлуатаційних властивостей альтернативних моторних палив».

Назва наукового дослідження, що впроваджується	Форма впровадження	Результати впровадження
Зміна якості світлих нафтопродуктів в умовах тривалого зберігання	Лекції, лабораторні роботи	Дозволяє поглибити процес наукового пізнання та сутність процесів, які впливають на якість палив

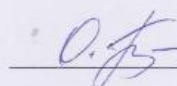
Декан факультету екологічної безпеки,
інженерії та технологій д.т.н, професор

 Ірина МАТВЄЄВА

Зав. кафедри хімії і хімічної
технології, к.х.н., доцент

 Антоніна КУСТОВСЬКА

К.т.н., професор кафедри хімії і
хімічної технології

 Олена МАТВЄЄВА

Аспірантка кафедри хімії і хімічної технології

 Юлія ВОВК

ДОДАТОК Б

Реалізація результатів наукових досліджень

Чанко Н.В.
Вашенко В.В.
До Всього
26.03.2024



ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО РЕЗЕРВУ УКРАЇНИ

вул. Сагена Чикаленка (Пушкінська), 28, м. Київ, 01024 тел.: (044) 234-01-03, (044) 234-63-47
E-mail: info@rezerv.gov.ua, сайт: <https://rezerv.gov.ua>, код згідно з ЄДРПОУ 37472392

В.о. директора Українського державного
науково-дослідного інституту «Ресурс»
д.н.держ.упр., к. е. н.
Юрію ЛИТВИНУ

Державним агентством резерву України розглянуті надані Українським державним науково-дослідним інститутом «Ресурс» звіти про науково-дослідні роботи «Дослідження динаміки змін якості бензину автомобільного в умовах зберігання в системі Держрезерву України» та «Дослідження динаміки змін якості палива дизельного в умовах зберігання в системі Держрезерву України» (авторський колектив: Олександр Нілов, Юлія БОВК), підготовлені в рамках бюджетних НДР.

За результатами розгляду матеріалів НДР, варто відзначити їх актуальність і практичну значущість для управління запасами нафтопродуктів у державному резерві.

Питання, розглянуті в науково-дослідних роботах дозволяють формувати запаси державного матеріального резерву з урахуванням якісних показників палив при їх закладанні до державного резерву з метою забезпечення необхідного ресурсу якості палив, визначати граничні можливості зберігання палив понад гарантійний строк, що визначений у нормативних документах.

Практичне використання результатів роботи дає можливість виявити фактори, які суттєво впливають на процеси зміни фізико-хімічних показників палив при довгостроковому зберіганні та надає можливість отримання такої інформації, що є об'єктивною та певною мірою достатньою для ефективного керування запасами палив довготривалого зберігання.

Надані матеріали в подальшому будуть використані в роботі Державного агентства резерву України.

Т.в.о Голови

Яніна КРИВДА

Вик. Бурмінський Ю.
тел. 234-01-21

0.63
Бурмінський Юрій Олександрович

ДЕРЖРЕЗЕРВ
ВІХ №852/0/4-24 від 25.03.2024



Л.к. 136
26.03.2024