

ВОВК ЮЛІЯ

Національний авіаційний університет

<https://orcid.org/0000-0002-1337-3485>e-mail: yuliiaovovk@gmail.com

МАТВЄЄВА ОЛЕНА

Національний авіаційний університет

<https://orcid.org/0000-0001-7450-0479>e-mail: mollvovna12@gmail.com

ЗМІНА ЯКОСТІ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА В УМОВАХ ДОВГОТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ

Наведено результати досліджень зміни фізико-хімічних показників якості палива дизельного, що знаходилося на довготривалому зберіганні на підприємствах нафтопродуктозабезпечення. Показано, що за п'ятирічний час зберігання зміни його якості не перевищили нормативні вимоги. Встановлено динаміку зміни обводнення палива, вмісту механічних домішок, окиснювальної та змащувальної здатності палива. Виявлено покращення змащувальної здатності палива, зменшення зносу пар тертя, що корелює із відповідними даними щодо збільшення продуктів окиснення палива. Отримані науково-практичні результати будуть враховані при підготовці Рекомендацій щодо технології тривалого зберігання світлих нафтопродуктів для підприємств нафтопродуктозабезпечення, що сприятиме раціональному використанню та покращенню екологічних властивостей вуглеводневих палив

Ключові слова: дизельне паливо, фізико-хімічні властивості, паливно-мастильні матеріали, зберігання, стабільність, окиснення, змащувальний шар, зношування, тертя, раціональне використання, екологічні властивості

VOVK YULIIA, MATVYEVYeva OLENA

National Aviation University

CHANGE IN THE QUALITY OF DIESEL FUEL UNDER LONG-TERM STORAGE CONDITIONS

The results of research on changes in the physical and chemical quality indicators of diesel fuel, which was in long-term storage at petroleum product supply enterprises, are presented. The practical experience of operation has shown that sources of pollution can be: technological equipment and air with which the fuel is in contact, as well as products of the vital activity of microorganisms. It is shown that during the five-year storage period, changes in its quality did not exceed regulatory requirements. The dynamics of changes in fuel water content, the content of mechanical impurities, and the oxidizing and lubricating capacity of fuel have been established. Studies of fuel contamination have shown a fourfold increase (from 3.2 to 13 mg/kg) of the mass fraction of mechanical impurities in fuel when it is stored in storage tanks.

The article presents experimental and practical data on changes in the oxidative stability of diesel fuel over a five-year storage period. The results indicate the constant action of physical and chemical processes in the fuel, which intensify the oxidation processes. This is confirmed by a 3.3-fold increase in the oxidation stability of the fuel. An improvement in the lubricating ability of the fuel, a reduction in the wear of the friction pairs was revealed, which correlates with the relevant data on the increase in fuel oxidation products. The obtained scientific and practical results will be taken into account in the preparation of Recommendations on the technology of long-term storage of light petroleum products for petroleum product supply enterprises

Keywords: diesel fuel, physical and chemical properties, fuel and lubricants, storage, stability, oxidation, lubricating layer, wear, friction, rational use, ecological properties.

Постановка проблеми

Сучасні транспортні засоби та спецтехніка потребують якісних паливно-мастильних матеріалів для їх надійної, безвідмовної експлуатації, особливо в умовах надзвичайних ситуацій. Тому увага до якості дизельного палива, як найпоширенішого виду палива у цій галузі, очевидна. Також зазначимо, що дизпаливо відноситься до тих нафтопродуктів, які мають знаходитися на тривалому зберіганні, відповідно до Директиви Ради ЄС 2009/119/ЄС щодо створення мінімальних запасів нафти і нафтопродуктів, що дає змогу протистояти можливим кризовим явищам на внутрішньому ринку нафти та нафтопродуктів. Не є виключенням і наша країна, яка взяла відповідні зобов'язання [1–3].

На даний час дизельне паливо повинно задовольняти вимогам «Технічного регламенту щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, суднових та котельних палив» а також ДСТУ 7688:2015 «Паливо дизельне Євро. Технічні умови». В умовах тривалого зберігання дизельне паливо повинно відповідати ДСТУ 8705:2017 «Паливо дизельне довготривалого зберігання» [4–6].

Стандарт ДСТУ 8705:2017 поширюється на дизельне паливо довготривалого зберігання, що виробляють та/або постачають для зберігання на підприємства державного матеріального резерву, а також для потреб оборони держави, ліквідації надзвичайних ситуацій та на експорт.

Тому задача збереження якості дизельного палива при тривалому зберіганні є і буде в подальшому актуальною, і потребує додаткових досліджень для унеможливлення виходу пального за межі кондиції протягом тривалого часу.

Аналіз останніх джерел

Нафтове паливо являє собою складну суміш різних вуглеводнів, при тривалому зберіганні якої можна виділити наявність різних процесів, зокрема таких, як окиснення, конденсація, випаровування, швидкість перебігу яких залежить від умов зберігання палива [7, 8].

Відомо, що дизельне паливо – це складна суміш, отримана шляхом фракційної перегонки сирової нафти при температурах від 200 °С до 350 °С з температурою кипіння в діапазоні 180–350 °С. Приблизний склад дизельного палива, це: 64% аліфатичних вуглеводнів (кількість атомів вуглецю переважно в діапазоні C9–C20), 35% ароматичних вуглеводнів (включаючи бензол і поліциклічні ароматичні вуглеводні), 1-2% олефінових вуглеводнів [9].

Оскільки дизельне паливо містить певну кількість високоактивних ненасичених сполук, хімічний склад палива під час тривалого зберігання змінюється, зокрема і за рахунок мікробіологічного ураження. Деградація окремих компонентів може негативно вплинути на фізико-хімічні показники, що, у свою чергу, може спричинити деякі проблеми з ефективністю роботи двигунів внутрішнього згорання [10]. Крім того, старіння палив призводить до утворення високомолекулярних полімерних частинок, які утворюють відкладення, що покривають дно паливного баку, і порушують вприскування палива в камеру згорання, а також процес згорання [11]. Продукти окиснення вуглеводнів прискорюють руйнування технологічних елементів обладнання, спричинюючи їх корозію та скорочуючи термін служби [15].

Проведеними науковими дослідженнями [12, 13] показано, що кінетика хімічних перетворень середньодистилятного палива визначається його складом та умовами зберігання:

- кількістю хімічно-активних органічних форм;
- вмістом біокомпонентів, особливо з гетероатомами, тобто O- та N-сполуками;
- присутність води та мікроорганізмів, які легко розвиваються на межі розділу водно-паливної фази;
- контакт з металами, такими як Cu, Zn або їх сплавами, тобто латунню;
- наявність різноманітних добавок (антиоксиданти, біоциди тощо);
- вплив світла, особливо в діапазоні УФ-випромінювання;
- середня температура зберігання.

Відповідно проведених досліджень [13] дизельне паливо вважається придатним для експлуатації не більше 12 місяців при зберіганні його за температури 20°C і вище. Це підтверджує активність перебігу фізико-хімічних процесів, які негативно впливають на показники якості палива.

Відомо, що здебільшого при зберіганні палив менш стабільними є показники, що нормують його чистоту (вміст механічних домішок і води), хімічну стабільність (вміст смол) і випаровуваність (тиск насичених парів і фракційний склад) [15].

Практичний досвід експлуатації підприємств паливозабезпечення показав, що джерелами забруднення можуть слугувати: технологічне обладнання і повітря, з яким контактує паливо а також продукти життєдіяльності мікроорганізмів. Технологічне обладнання забруднює паливо продуктами корозії, продуктами руйнування матеріалів ущільнень, фільтрів, матеріалів пар тертя насосів тощо. Основними джерелами твердих забруднень є повітря і корозія металевого обладнання. Статистичні дані свідчать, що при зберіганні палив в резервуарах з часом збільшується кількість заліза. Аналогічна ситуація спостерігається і при зберіганні палив в оцинкованих ємностях, де також відбувається корозійне руйнування і збільшення кількості цинку. Залізо входить до складу забруднень у вигляді різних окислів, гідратів окислів, гідратованих сульфідів і солей сульфокислот. Склад з'єднань заліза свідчить про те, що вони являються не лише продуктами корозійних процесів, а й продуктами гетерофазних хімічних реакцій сірчистих з'єднань з металами. В результаті корозійних і хімічних процесів в паливі при зберіганні поступово накопчується тверда фаза з високим вмістом заліза [14, 15].

Метою роботи є дослідження зміни якості палива дизельного в умовах довготривалого зберігання на підприємствах нафтопродуктозабезпечення державного підпорядкування.

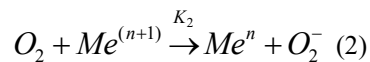
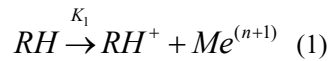
Виклад основного матеріалу

Як було показано вище, такі чинники при зберіганні палив на підприємствах паливозабезпечення, як чистота атмосферного повітря, метеоумови, у т. ч. вологість повітря, стан технологічного обладнання (корозійні процеси) тощо можуть суттєво впливати на погіршення якісних показників палива. Наприклад, поряд із корозією обладнання, мікробіологічним ураженням палива [14–18] джерелом його забруднення також є повітря, в якому завжди містяться у зваженому стані частки пилу та ґрунту. Особливо велика їх кількість у місцях із сильним вітрами та інтенсивним автомобільним рухом. Склад пилу залежить від складу ґрунтів, де знаходиться об'єкт зберігання нафтопродуктів. З точки зору впливу на властивості палив при їх зберіганні особливо небажаним є пил піщаних і супіщаних ґрунтів, що збільшує в паливі вміст твердих окислів кремнію, які призводять до зношення обладнання і агрегатів паливної системи.

Паливо є гігроскопічним і в процесі зберігання насичується водою. Її джерело – повітря. Відомо, що швидкість насичення нафтопродуктів вологою в резервуарі залежить від площі контакту палива з атмосферним повітрям. Однак при тривалому зберіганні все паливо максимально насичується водою. В результаті фазових переходів молекулярної води з часом в паливі виникає емульгована вода і, навіть, відстійна. Через це повітря надпаливного простору резервуарів з паливом при довготривалому зберіганні практично завжди є вологішим ніж атмосферне повітря. Відстійну воду зазвичай періодично зливають як

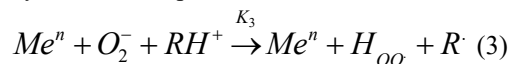
частину донних відкладень. Вода є шкідливим забрудненням, оскільки в її присутності різко зростає інтенсивність корозійних та смолоутворюючих процесів у паливі.

Надійність зберігання палива визначається також його здатністю до окиснення та смолоутворення. Окиснення палива є результатом взаємодії розчиненого кисню і найменш стабільних вуглеводнів та гетероорганічних з'єднань. Пришвиджуючими факторами в процесах смолоутворення при зберіганні палива є площа дотику палива з металом, співвідношення об'ємів палива і повітря, температура і наявність підтоварної (емульгованої) води. Пришвиджена дія металу на смолоутворення пояснюється його каталітичним впливом. Цей 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.

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



Утворенні вільні радикали дають початок ланцюговій реакції окиснення палива, що знаходиться на тривалому зберіганні.

Феноли, нафтоли і ароматичні аміни, характеризуються більш низькими значеннями потенціалу іонізації молекули по відношенню до інших з'єднань, це пояснюється наявністю у молекулах полярних груп. Наявність лінійних залежностей свідчить про ідентичний механізм їх перетворення при контакті з металами.

Інтенсивність каталітичної дії металу на паливо при зберіганні визначається кількістю палива, що припадає на одиницю площі резервуару. Це співвідношення для забезпечення збереженості якості палива при зберіганні повинно бути найбільшим. Значний вплив на осмолення палива має температура, оскільки в основі процесу лежать явища хімічних процесів.

При зберіганні палив окисненню піддаються сірчисті, ненасичені та ароматичні з ненасиченими боковими ланцюгами з'єднання. В результаті окиснення спостерігається ланцюг послідовних перетворень і реакцій етерифікації, поліконденсації і полімеризації, що приводять до утворення смол, властивості і склад яких постійно змінюються. Зі збільшенням терміну зберігання смоли стають все більш кислими, у них збільшується вміст кисню, поступово росте молекулярна маса і густина, що призводить до розшарування розчину.

Хімічну стабільність дизельного палива можна певною мірою покращити за рахунок використання невеликих кількостей відповідних присадок для стабілізації палива, які можна загалом класифікувати на три наступні групи:

- дезактиватори металів; їх роль полягає в секвестрації небажаних іонів металів шляхом хелатоутворення;
- антиоксиданти, які пригнічують/припиняють реакції окислення активних компонентів дизеля;
- біоциди, роль яких полягає в запобіганні росту грибків і бактерій у паливі.

Крім того, стабільність може бути подовжена за допомогою стабілізаторів, тобто деемульгаторів, що використовуються для руйнування водо-паливних емульсій і диспергаторів, які запобігають утворенню твердофазних агломератів і відкладень. Цікавим також рішенням для підвищення стабільності дизеля було використання так званої піни для підвищення стабільності палива, запропонованої Пауером та співавторами [15, 16]. Цей оригінальний винахід був заснований на адсорбційному видаленні полярних сполук, що утворюються під час зберігання палива, на поліуретанових пінах, занурених у паливо.

Для дослідження обрано паливо дизельне ДП-Арк-Євро5-В0 згідно ДСТУ 7688:2015 із гарантійним терміном зберігання 5 років з моменту виробництва та згідно ст. 269 Господарського кодексу України, щодо збільшення тривалості гарантійних строків зберігання товарів, призначених для тривалого зберігання. Проби відбиралися з резервуарів для зберігання відповідних підприємств нафтопродуктозабезпечення протягом обраного часу у співвідношенні 1:3:1 згідно стандартизованих методик [19]. При дослідженні дизельного палива застосовані методи контролю фізико-хімічних показників, що визначені ДСТУ 7687:2015.

На рис. 1–3 наведено результати змін таких показників якості дизельного палива, як масова частка води, механічних домішок, окиснювальна стабільність палива та змашувальна здатність.

Аналіз отриманих даних підтверджує наявність постійного перебігу обводнення палива при його зберіганні завдяки доступу атмосферного повітря у резервуар через дихальні клапани та вентиляцію газового простору. Найбільше значення 0,01 % масової частки можна пояснити наявністю «вільної», підтоварної води в транспортних цистернах, подальшим її розповсюдженням у дисперсійному стані по всьому об'єму палива в результаті турбулентності паливного потоку при перезавантаженні до резервуару зберігання.

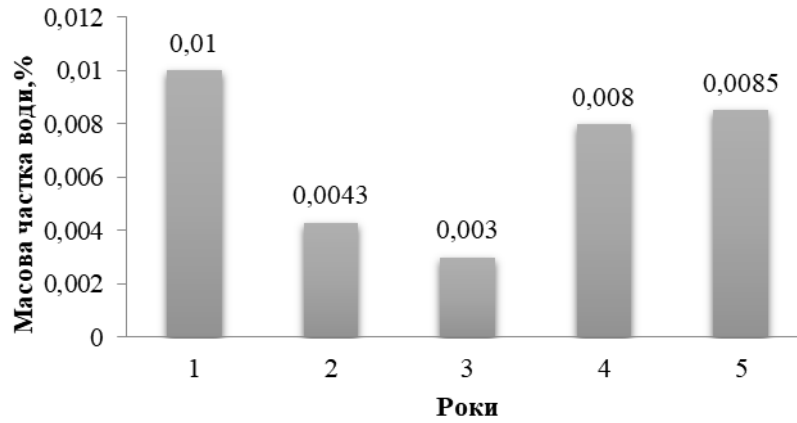


Рис. 1. Зміна масової частки води при зберіганні палива дизельного ДП-Арк-Євро5-В0

У порівнянні з наступними роками зберігання палива у статичному періоді, кількість «вільної води» у паливі має тенденцію до зростання, враховуючи, що методикою відбору проб для даного аналізу передбачено такі рівні забору проб, які не входять у зону «відстояної підтоварної води» біля днища резервуару.

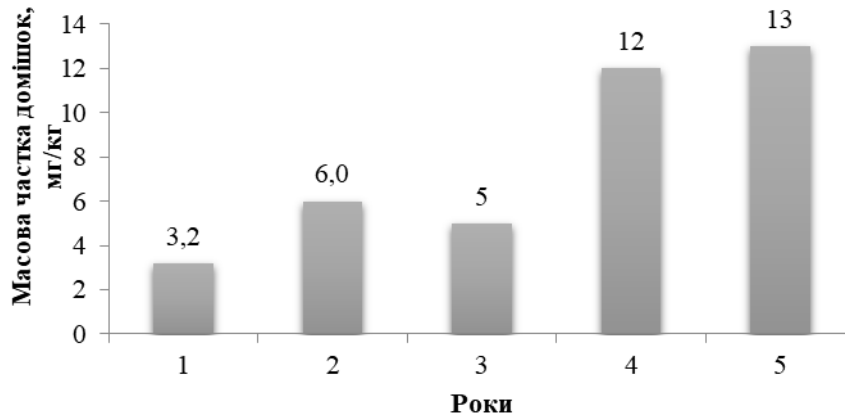


Рис. 2. Зміна масової частки механічних домішок палива дизельного ДП-Арк-Євро5-В0

Дослідження забруднення палива в реальних умовах зберігання твердою дисперсною фазою на підприємстві нафтопродуктозабезпечення підтвердили зростання у чотири рази (з 3,2 до 13 мг/кг) масової частки механічних домішок у паливі при його зберіганні у резервуарних ємностях. Зазначимо, що наявність механічних домішок у зваженому стані в паливному середовищі інтенсифікує хімічні процеси, що призводять до зростання продуктів його окиснення.

На рис. 3 наведені експериментально-практичні дані зміни окиснювальної стабільності дизельного палива ДП-Арк-Євро5-В0 за п'ятирічний період зберігання. Отримані дані свідчать про постійний перебіг фізико-хімічних процесів у паливі, які інтенсифікують процеси окиснення, що підтверджується зростанням окиснювальної стабільності палива у 3,3 рази (з 3 до 10 г/м³). Хоча згідно ДСТУ 7688:2015 «Паливо дизельне Євро».

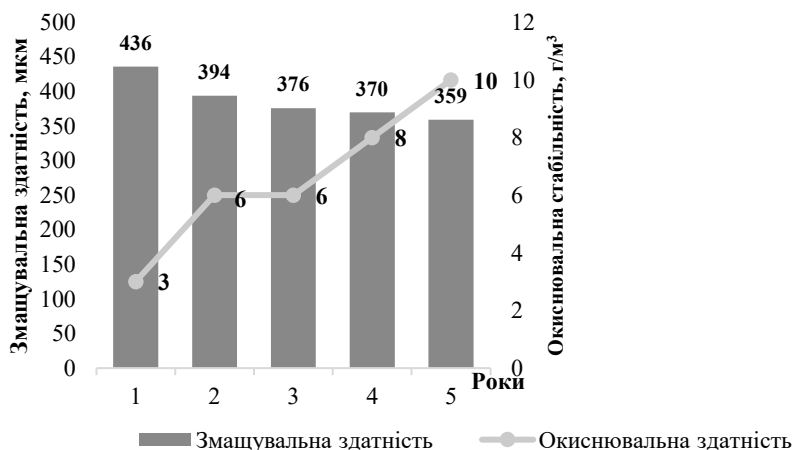


Рис. 3. Порівняльна оцінка динаміки змін окиснювальної та змащувальної здатності палива ДП-Арк-Євро5-В0

Технічні умови» [4] окиснювальна стабільність ДП-Арк-Євро5-В0 не має перевищувати 25 г/м³, як було показано дослідженнями [21], наявність продуктів окиснення у вуглеводневих паливах негативно впливає на їх енергетичні властивості, зокрема повноту згорання, витрату палива, раціональне його використання та екологічні властивості.

Отримані результати зміни показника змащувальної здатності дизельного палива при довгостроковому зберіганні дизельного палива (рис. 3) показали покращення його трибологічних властивостей, зменшення зносу за рахунок фізико-хімічних змін у змащувальному шарі.

За нормативних вимог діаметр плями зносу пар тертя у середовищі дизельного палива не має перевищувати значення 460 мкм. Як свідчить порівняльна оцінка отриманих змін показників якості палива, наведена на рис. 3, зменшення плями зносу до 18 %, у даному випадку, можна пояснити підвищенням кількості наявних продуктів окиснення палива (з 3 до 10 г/м³), у т. ч. продуктів високомолекулярного окиснення, тобто смол, яким притаманні гарні протизносні властивості.

Висновки

Загальний аналіз динаміка зміни показників якості палива свідчить, що за час зберігання змін його якості, які би мали вплив на придатність до подальшого зберігання, не відбулося. Паливо дизельне має достатній запас якості та придатне до подальшого зберігання при дотриманні вимог щодо зберігання.

Проте аналіз результатів дослідження виявив як негативні, так і позитивні наслідки довгострокового зберігання вуглеводневого палива. Присутність «вільної» води в дизельному паливі, підтвердила прояв властивості гігроскопічності. Також прослідковується збільшення вмісту механічних домішок, що можуть потрапляти як через дихальні клапани, так і внаслідок перебігу корозійних процесів, що відбуваються у резервуарних ємностях. Зміна цих показників свідчить про необхідність проведення процедур по видаленню підтоварної води з донної частини резервуара задля попередження погіршення якості палива в результаті постійного перебігу процесів окиснення та пошкодження конструкційних матеріалів у процесі корозії. Це необхідно також і для попередження активного розвитку мікроорганізмів у паливі, які можуть негативно впливати на якість палива та посилювати корозійні процеси.

Натомість, як показали результати проведених експериментальних досліджень, постійно діючий процес окиснення палива, особливо в умовах довготривалого зберігання, виявив покращення його змащувальної здатності, зменшення зносу пар тертя, що корелює із відповідним збільшенням продуктів окиснення палива.

Отримані науково-практичні результати будуть враховані при підготовці Рекомендацій щодо технології тривалого зберігання світлих нафтопродуктів для підприємств нафтопродуктозабезпечення, що сприятиме раціональному використанню та покращенню екологічних властивостей вуглеводневих палив.

Література

1. Директива Ради 2009/119/ЄС від 14 вересня 2009 року про зобов'язання держав-членів підтримувати мінімальний рівень резервів сирої нафти та/або нафтопродуктів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://enref.org/wp-content/uploads/2015/01/dir-2009-119-ua.pdf>
2. Потетюєва М.В. Мобілізаційний резерв як складова системи забезпечення безпеки держави / М.В. Потетюєва // Соціальний розвиток та безпека. – 2018. – 3(5). – С. 66–75. – DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.1403775>.
3. Рябцев Г. Л. Основні підходи до формування в Україні запасів нафти і нафтопродуктів відповідно до вимог Європейського енергетичного співтовариства / Г. Л. Рябцев // Вісн. НАДУ. – 2015. – № 1. – С. 107-112.
4. Паливо дизельне довготривалого зберігання. Технічні умови : ДСТУ 8705:2017. – [Чинний від 2016-09-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 18 с. – (Національний стандарт України).
5. Паливо дизельне Євро. Технічні умови : ДСТУ 7688:2015. – [Чинний від 2016-01-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. – 18 с. – (Національний стандарт України).
6. Про затвердження Технічного регламенту щодо автомобільних бензинів, дизельного, судових та котельних палив [Електронний ресурс] : постанова Кабінету Міністрів України від 01.08.2013 № 927. – 20013. – № 927. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/927-2013-%D0%BF#Text>
7. Marlena Owczuk and Krzysztof Kolodziejczyk. Liquid Fuel Ageing Processes in Long-term Storage Conditions, Storage Stability of Fuels, Krzysztof Biernat, IntechOpen, February 4th 2015. DOI: <https://doi.org/10.5772/59799>. (дата звернення 20.04.2024)
8. Jeon C.-H., Park C.-K., Na B.-K., Kim J.-K. Properties of Gasoline Stored in Various Containers. *Energies*, 2017. 10, 1307.
9. Parkash, Surinder. *Petroleum fuels manufacturing handbook: including specialty products and sustainable manufacturing techniques*. McGraw-Hill Education, 2010.
10. Janus, Rafał, et al. Degradation of petroleum diesel fuel accelerated by UV irradiation: The impact of ageing on chemical composition and selected physicochemical properties. *E3S Web of Conferences*. Vol. 108. EDP Sciences, 2019.
11. Banavali, R., & Chheda, B. Chemical basis of diesel fuel stabilization by tertiary alkyl primary amines. Rohm and Haas Company, Deer Park, Texas, 77536, 1998.

12. M. Wądrzyk, R. Janus, M.P. Vos, D.W.F. Brilman, J. Anal. Appl. Pyrolysis 134, 415, 2018.
13. Long term storage of diesel, Fuels News, BP, Australia, 2005. <https://www.bp.com/>.
14. Матвєєва О.Л. Моніторинг змін якості бензину автомобільного в умовах довготривалого зберігання / О.Л. Матвєєва, Ю.О. Вовк, О.С. Тітова // Journal of Chemistry and Technologies. – 2022. – 30(3). – С. 410-418. – DOI: <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v30i3.261958>
15. Power A.J., Arfelli W., Solly R.K. Fuel stability foam, Report – Department of Defence, Defence Science and Technology Organisation, Materials Research Laboratory, Melbourne, Victoria.
16. Вовк Ю. Біошкодження палив та об'єктів підприємств паливо забезпечення / Ю. Вовк, О. Матвєєва // Science-based technologies. – 2023. – 57(1). – С. 86-92. – DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.57.17448>.
17. Матвєєва О.Л. Вплив забруднення на процеси окиснення вуглеводневих палив / О.Л. Матвєєва // Системи озброєння і військова техніка. –2013. – Вип. 1(00). – С. 45 – 49.
18. 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. Volume 6, Issue 1, June 2022 , pp. 14-25. DOI: <https://doi:10.11648/j.pse.20220601.12>
19. Нафта і нафтопродукти. Методи відбирання проб : ДСТУ 4488:2005. – [Чинний від 01.10.2006]. – Київ : Управління Держспоживстандарту, 2006. – 34 с. – (Національний стандарт України).
20. Мікосянчик О.О. Вплив ступеня окислення на протизношувальні властивості авіаційних олив / О.О. Мікосянчик, О.Є. Якобчук, Е.В. Педан, Н.М. Березівський // Проблеми тертя та зношування. – 2023. – № 2 (99). – С. 4-13. – DOI: [https://doi.org/10.18372/0370-2197.2\(99\).17611](https://doi.org/10.18372/0370-2197.2(99).17611).

References

1. Dyrektyva Rady 2009/119/JeS vid 14 veresnia 2009 roku pro zoboviazannia derzhav-chleniv pidtrymuvaty minimalnyi riven rezerviv syroi nafty ta/abo naftoproduktiv [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://enref.org/wp-content/uploads/2015/01/dir-2009-119-ua.pdf>
2. Potetiueva M.V. Mobilizatsiyni rezerv yak skladova systemy zabezpechennia bezpeky derzhavy / Potetiueva M.V. // Sotsialnyi rozvytok ta bezpeka. – 2018. – 3(5). – S. 66–75. DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.1403775>
3. Riabtsev H. L. Osnovni pidkhody do formuvannia v Ukraini zapasiv nafty i naftoproduktiv vidpovidno do vymoh Yevropeiskoho enerhetychnoho spivtovarystva / H. L. Riabtsev // Visn. NADU. – 2015. – № 1. – S. 107-112.
4. Palyvo dyzельne dovhotryvaloho zberihannia. Tekhnichni umovy: DSTU 8705:2017– [Chynnyi vid 2016-09-01]. – Kyiv : DP «UkrNDNTs», 2017. – 18 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).
5. Palyvo dyzельne Yevro. Tekhnichni umovy: DSTU 7688:2015– [Chynnyi vid 2016-01-01]. – Kyiv: DP «UkrNDNTs», 2015. – 18 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).
6. Pro zatverdzhennia Tekhnichnogo rehlamentu shchodo avtomobilnykh benzyniv, dyzельnogo, sudnovykh ta kotelynykh palyv: [Elektronnyi resurs] : postanova: [Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 01.08.2013 № 927]. – 20013. – № 927. Rezhym dostupu : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/927-2013-%D0%BF#Text>
7. Marlena Owczuk and Krzysztof Kolodziejczyk. Liquid Fuel Ageing Processes in Long-term Storage Conditions, Storage Stability of Fuels, Krzysztof Biernat, IntechOpen, February 4th 2015. DOI: <https://doi.org/10.5772/59799>. (accessed: 20 April 2024)
8. Jeon, C.-H.; Park, C.-K.; Na, B.-K.; Kim, J.-K.. Properties of Gasoline Stored in Various Containers. Energies, 2017., 10, 1307.
9. Parkash, Surinder. Petroleum fuels manufacturing handbook: including specialty products and sustainable manufacturing techniques. McGraw-Hill Education, 2010.
10. Janus, Rafał, et al. Degradation of petroleum diesel fuel accelerated by UV irradiation: The impact of ageing on chemical composition and selected physicochemical properties. E3S Web of Conferences. Vol. 108. EDP Sciences, 2019.
11. Banavali, R., & Chheda, B. Chemical basis of diesel fuel stabilization by tertiary alkyl primary amines. Rohm and Haas Company, Deer Park, Texas, 77536, 1998.
12. M. Wądrzyk, R. Janus, M.P. Vos, D.W.F. Brilman, J. Anal. Appl. Pyrolysis 134, 415, 2018.
13. Long term storage of diesel, Fuels News, BP, Australia, 2005. <https://www.bp.com/> (accessed: 25 April 2024).
14. Matvieieva O.L., Monitorynh zmin yakosti benzynu avtomobilnoho v umovakh dovhotryvaloho zberihannia / O.L. Matvieieva, Yu.O.Vovk, O.S. Titova // Journal of Chemistry and Technologies. – 2022. – 30(3). – S.410-418. DOI: <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v30i3.261958>
15. A.J. Power, W. Arfelli, R.K. Solly, Fuel stability foam, Report – Department of Defence, Defence Science and Technology Organisation, Materials Research Laboratory, Melbourne, Victoria
16. Vovk Yu. Biushkodzhennia palyv ta ob'ektiv pidpriemstv palyvozabezpechennia/ Yu. Vovk, O. Matvieieva// Science-based technologies. – 2023. – 57(1). – S.86-92. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.57.17448>.
17. Matvieieva O.L. Vplyv zabrudnennia na protsesy oksyennia vuhlevodnevnykh palyv / O.L. Matvieieva // Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika. –2013. – Vyp. 1(00). – S. 45 – 49.
18. 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. Volume 6, Issue 1, June 2022 , pp. 14-25. <https://doi:10.11648/j.pse.20220601.12>
19. Нафта і нафтопродукты. Методы відбирання проб: DSTU 4488:2005. – [Чинний від 01.10.2006]. – Київ : Управління Держспоживстандарту, 2006. – 34 с. – (Национальный стандарт Украины).
20. Mikosianchyk O.O. Vplyv stupenia oksyennia na protyznoshuvalni vlastyvyosti aviatsiynykh olyv. / O.O. Mikosianchyk, O.Є. Yakobchuk., E.V. Pedan, N.M. Berезivskiy // Problemy tertia ta znoshuvannia. – 2023. – № 2 (99). – S. 4-13. DOI: [https://doi.org/10.18372/0370-2197.2\(99\).17611](https://doi.org/10.18372/0370-2197.2(99).17611).