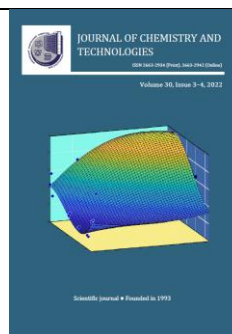




Journal of Chemistry and Technologies

pISSN 2663-2934 (Print), ISSN 2663-2942 (Online).

journal homepage: <http://chemistry.dnu.dp.ua>



UDC 665.633

MONITORING OF CHANGES IN THE QUALITY OF GASOLINE IN LONG-TERM STORAGE CONDITIONS

Olena L. Matvyeyeva, Yuliia O. Vovk*, Olga S. Titova

National Aviation University, 1 Liubomyra Huzara ave., Kyiv 03058, Ukraine

Received 25 July 2022; accepted 7 October 2022; available online 31 October 2022

Abstract

The purpose of this work is to study the dynamics of fuel quality changes during long-term storage. This will prevent a change in fuel quality and ensure environmental safety. Monitoring and analysis of the dynamics of changes in the quality of gasoline during long-term storage was carried out. It was shown and experimentally confirmed that changes in its group composition, physical and chemical stability occur during two-year fuel storage. The obtained research results indicate that evaporation of light fractions, oxidation, polymerization and interaction with the solid dispersed phase are constantly occurring. It was established that the fuel quality indicators were within the limits of compliance with DSTU 7687:2015 (more than 24 months of storage), therefore, its further storage or realization as intended is possible. The article draws attention to the fact that the rate of changes in the physical and chemical stability of gasoline depends on the conditions of long-term storage and the state of technological equipment. The research results make it possible to focus attention on the need to re-equip fuel companies and ensure the environmental safety of their activities.

Keywords: monitoring; gasoline; change in quality; stability; properties; long-term storage.

МОНІТОРИНГ ЗМІН ЯКОСТІ БЕНЗИНУ АВТОМОБІЛЬНОГО В УМОВАХ ДОВГОТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ

Олена Л. Матвєєва, Юлія О. Вовк, Ольга С. Тітова

Національний авіаційний університет, просп. Любомира Гузара, 1 Київ, 03058, Україна

Анотація

Метою даної роботи є дослідження динаміки змін якості палив, що знаходяться на довготривалому зберіганні, для унеможливлення виходу останніх за межі кондиції та забезпечення екологічної безпеки. Проведено моніторинг та аналіз динаміки змін якості бензину автомобільного під час тривалого зберігання. Показано та експериментально підтверджено, що протягом дворічного зберігання палива відбуваються зміни його групового складу, фізичної та хімічної стабільності. Отримані результати дослідження вказують на постійний перебіг процесів випаровування легких фракцій, окиснення, полімеризації та взаємодії з твердою дисперсною фазою. Встановлено, що показники якості палива при його зберіганні понад 24 місяці залишилися в межах відповідності ДСТУ 7687:2015, тому можливе подальше його зберігання чи реалізація за призначенням. У роботі звертається увага на вплив умов довгострокового зберігання бензинів, стану технологічного обладнання на швидкість змін фізичної та хімічної стабільності палив. Отримані дані дають можливість акцентувати увагу на необхідності переоснащення підприємств паливозабезпечення галузі, створення екобезпечних умов їх діяльності. Рекомендовано зберігання бензинів у підземних, повністю заповнених резервуарах із відповідним антикорозійним покриттям, чи у наземних резервуарах із системою рекуперації парів, обладнаних пристроями видалення підтоварної води.

Ключові слова: моніторинг; бензин; зміна якості; стабільність; властивості; довготривале зберігання.

*Corresponding author: e-mail address: yuliiaovovk@gmail.com

© 2022 Oles Honchar Dnipro National University;

doi: 10.15421/jchemtech.v30i3.261958

Вступ

Україна має незначні запаси нафти і нафтопродуктів у порівнянні з тими обсягами, що необхідні для безперервного функціонування всіх галузей господарства. Тому, для забезпечення необхідної кількості нафтопродуктів, які необхідні для налагодженої роботи, досить велика їх кількість імпортується. Проблеми з поставками нафтопродуктів можуть дестабілізувати ситуацію в країні і призвести до колапсу всіх сфер життєдіяльності. Актуальним також є забезпечення збереження якості палив та екологічної безпеки під час їх транспортування, зберігання та видачі.

Відомо, що для запобігання наслідків можливого припинення постачання моторних палив у розвинених країнах створюються системи мінімальних запасів нафти і нафтопродуктів відповідно до Директиви 2009/119/ЄС. Україна не є виключенням і взяла на себе зобов'язання стосовно створення таких запасів [1–3]. Одним із палив, що входять до державної системи мінімальних запасів нафти і нафтопродуктів, є бензин автомобільний. Як відомо, бензин, що знаходиться у вільному обігу, має задовольняти вимогам «Технічного регламенту щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, судових та котельних палив» [4] та ДСТУ 7687:2015 «Бензини автомобільні Євро. Технічні умови» [5]. Однак, тривале зберігання даного виду палива зумовлює необхідність його відповідності також вимогам ДСТУ 8704:2017 «Бензини автомобільні довготривалого зберігання. Технічні умови» [6], зокрема гарантійний термін зберігання – три роки з моменту виробництва. Даний стандарт поширюється на бензини, які виробляють та/або постачають для зберігання на підприємства державного матеріального резерву, а також для потреб оборони держави та на експорт.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Ефективність зберігання та використання нафтопродуктів значною мірою пов'язана з глибиною вивчення та можливостями регулювання фізико-хімічних процесів, що перебігають в системах подачі палива, в камерах згоряння, а також за їх взаємодії з конструкційними матеріалами і зовнішнім середовищем в період їх зберігання та транспортування.

Зміна якості палива під час зберігання обумовлена фізико-хімічними та біологічними процесами, а саме: випаровуванням, забрудненням механічними домішками та обводненням, біодеградацією вуглеводнів, корозією з утворенням нерозчинних продуктів, окисненням із утворенням смол та осадів. Ці процеси перебігають із різною швидкістю та залежать від вуглеводневого складу палив, рівня заповнення резервуарів, запиленості і вологості повітря, вмісту присадок, технології зберігання тощо [7–11].

Безумовно, у процесі зберігання бензинів велике значення має їх хімічна стабільність, як одна з найважливіших ознак якості. Це пов'язано з тим, що бензини автомобільні, які закладаються для створення запасів нафтопродуктів, зберігають протягом тривалих термінів.

Дослідження авторів [12] свідчать, що сировинна база для виробництва бензинів характеризується збільшеним вмістом продуктів каталітичних процесів переробки нафти. Це призводить до підвищення вмісту легко киплячих компонентів та зниження початкової температури кипіння. Саме низько киплячі компоненти (вуглеводні C_1-C_6) складають основну частину (до 98–99 %) компонентів, що й випаровуються під час транспортування та зберігання. Випаровування впливає, у свою чергу, на октанове число, призводить до зниження тиску насичених парів, збільшення густини та в'язкості, обтяження фракційного складу. Також в процесі зберігання необхідно враховувати те, що для виробництва бензинів можуть використовувати компоненти, які легко вступають у реакцію з киснем та вільними радикалами вуглеводнів.

Слід зазначити, що зміни властивостей автомобільного бензину обумовлені зміною їх групового складу, тому це питання розглянемо більш детально. Так, парафіни є вуглеводнями лінійної або ізобудови, що мають досить слабку схильність до взаємодії з іншими речовинами. За звичайної температури вони не окиснюються і не піддаються дії лугів. Їх вміст в автомобільних бензинах становить від 25 до 60 %. Ізопарафіни характеризуються більш високими антидетонаційними властивостями. Олефіни – ненасичені вуглеводні – містять один подвійний зв'язок $C=C$ і легко окиснюються, утворюючи оксиди і смоли. Нафтени – вуглеводні, антидетонаційні

властивості яких нижчі ізопарафінових, але вищі від нормальних парафінових; мають високу стабільність до окиснення. Їх октанові числа досягають 70–78. Арени – вуглеводні, що характеризуються високими антидетонаційними властивостями, тому застосовуються в якості високооктанових компонентів бензинів. Також відомо, що наявність ароматичних вуглеводнів взаємопов'язана з якістю бензинів і може впливати на їх фізико-хімічні, експлуатаційні та екологічні властивості [13; 14]. Зокрема, підвищуються в'язкість і температура застигання бензинів, знижується їх випаровуваність, яка погіршує пускові властивості, збільшується гігроскопічність, токсичність (отруйність), схильність до нагароутворення і самозаймання [8].

Аналіз літературних джерел [13; 15] свідчить, що хімічна стабільність бензинів визначається швидкістю реакцій окиснення і залежить від умов процесу і будови вуглеводнів. Внаслідок окиснення в паливі накопичуються органічні кислоти, відбувається ущільнення, полімеризація, конденсація продуктів окиснення, накопичуються смоли та осади. Процес окиснення бензину залежить від вуглеводневого, групового складу і технології виробництва палива, а також від температури зберігання. Відомим є також те, що в разі підвищення температури всі вказані фізико-хімічні перетворення інтенсифікуються.

Оскільки з часом в бензині відбуваються процеси окиснення, ущільнення і розкладання, його хімічна стабільність може порушуватися.

Авторами [16–19] встановлено, що внаслідок процесів окиснення палива погіршуються його властивості: збільшується кількість смол, зменшується вміст олефінів, більш легкі фракції випаровуються, що впливає на зміну якісних показників продукту в цілому. Слід зазначити, що окиснення призводить до зниження октанового числа бензинів і підвищення його схильності до нагароутворення.

Окиснення і смолоутворення бензину за зберігання характеризуються такими показниками як індукційний період і вміст фактичних смол. Як відомо, індукційний період – це час, протягом якого бензин, що знаходиться в контакті з повітрям під тиском 0.7 МПа за температури 100 °С, практично не окиснюється. Тому, чим вище індукційний

період бензину, тим вище його хімічна стабільність [19–21].

Наявність смол призводить до відкладень на технологічних деталях системи паливозабезпечення транспортних засобів. Відомо, що на інтенсивність смолоутворення впливає площа контакту палива з повітрям за зберігання, а також об'єм газової фази. Тому доцільно заповнювати ємності зберігання палив до максимального рівня, що дозволений нормативною документацією на резервуари. Кількість смол визначається показником вмісту фактичних смол, що нормується нормативними документами і становить не більше 5 мг/100 см³.

Швидке утворення смол в паливах пояснюється нагріванням засобів зберігання палив за рахунок умов навколишнього середовища [19; 22; 23], а також більш інтенсивним «диханням» резервуарів. Неприятливо впливає на якість палив їх зберігання на «водяній подушці», оскільки наявність води також прискорює процеси смолоутворення. При заповненні резервуарів, неочищених від залишків смолистих речовин, процеси окиснення та утворення смол також будуть значно пришвидшуватися.

Швидкість утворення смолистих речовин за інших рівних умов залежить від вмісту алканів, цикланів, ароматичних вуглеводнів, а також гетероорганічних сполук. Так, парафіни і нафтени утворюють розчинні в паливах сполуки, такі як смоли, спирти, кислоти, а біциклічні ароматичні вуглеводні – нерозчинні осади і смоли. Варто зазначити, що найменша кількість осадів утворюється в процесі окиснення алканоцикланових вуглеводнів.

Як показано вище, утворення смолистих речовин і осадів під час зберігання нафтопродуктів є результатом процесу їх окиснення, запобігти якому можна шляхом зберігання дегазованих нафтопродуктів в інертному середовищі, наприклад, в азоті. Однак, таке зберігання нафтопродуктів не знайшло широкого застосування. Тому зменшення інтенсивності смолоутворення може бути реалізоване шляхом зменшення відношення парової й рідкої фаз у резервуарі зберігання палива, площі контакту нафтопродукту з повітрям, кількості перекачувань тощо.

Враховуючи, що процеси утворення осадів перебігають менш інтенсивно під час зберігання палив в умовах знижених температур навколишнього середовища,

найкращим для збереження якості бензинів є їх зберігання в підземних, повністю заповнених резервуарах, на дні яких відсутня вода й забруднення. Загальмувати утворення смол і осадів можна також застосуванням добавок і підбором оптимального хімічного складу нафтопродуктів. Причому останні не повинні містити ненасичених вуглеводнів та гетероорганічних домішок [16–18]. Також слід зазначити, що паливо у складі якого при зберіганні можуть з'являтися шкідливі речовини, має корозійну дію на матеріали, з якими вони контактують на кожному етапі свого життєвого циклу, зокрема і за зберігання в резервуарних ємностях. Вплив нафтопродуктів на корозію металевих резервуарів під час зберігання висвітлено в [24].

Саме тому палива, призначені для формування довготривалого запасу, повинні мати властивості, що забезпечуватимуть зменшення втрат від випаровування під час довготривалого зберігання; зменшення процесів окиснення та осмолення під час зберігання; збереження показників якості, не бути корозійноактивними.

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

Матеріали та методи досліджень

Під час тривалого зберігання бензину автомобільного важливим є його стабільність (хімічна та фізична), що залежить від фізико-хімічних властивостей продукту, наявності різних домішок, тощо. В експлуатаційних умовах, коли паливо піддається впливу таких зовнішніх факторів, як кисень повітря, нестабільна температура, забруднення вологою та механічними домішками, погіршуються його фракційний та хімічний склад.

Метою даної роботи було дослідження якості бензину автомобільного, що знаходився на довготривалому зберіганні на підприємствах державного матеріального резерву. Відповідно до поставленої мети у роботі вирішується завдання щодо розроблення методики комплексного оцінювання стабільності показників якості бензину автомобільного. Для дослідження обрано бензин автомобільний А-92-Євро5-Е5 однієї партії згідно ДСТУ 7687:2015 «Бензини

автомобільні ЄВРО. Технічні умови» із гарантійним терміном зберігання – три роки з моменту виробництва. Дата виготовлення – серпень 2019 р. Проби відбиралися з одного резервуару зберігання протягом обраного часу.

Під час дослідження бензину застосовані методи контролю фізико-хімічних показників, що визначені ДСТУ 7687:2015. Проведено аналіз результатів досліджень зразків, що були випробуванні згідно з затвердженим графіком проведення періодичних випробувань державних підприємств нафтопродуктозабезпечення протягом 2019–2021 років за допомогою аналітичних та статистичних методів досліджень.

Результати та їх обговорення

Періодичний контроль якості палив, що знаходяться на цільовому довготривалому зберіганні у підприємствах нафтопродуктозабезпечення проводився згідно з нормативними вимогами. Результати досліджень наведені на рис. 1–8.

Фізична стабільність бензину автомобільного оцінювалася за такими показниками як «Фракційний склад» та «Тиск насиченої пари». Аналіз отриманих даних показує, що протягом зберігання бензину автомобільного тиск насичених парів (рис.1) зменшився на 8.9 % та знаходиться в межах відповідності ДСТУ 7687:2015 (45–80 кПа). Зниження тиску насичених парів свідчить про зменшення вмісту легко киплячих фракцій палива, яке відбувається внаслідок процесів випаровування за тривалого зберігання бензину автомобільного.

Динаміка змін якості бензину автомобільного протягом дворічного зберігання (рис. 2) показує незначні зміни фракційного складу нафтопродукту (до 3 °С), що відповідає межах ДСТУ 7687:2015 (за температури 100 °С випаровується в межах 46–71 % об.; за температури 150 °С випаровується не менше 75 % об.). Це можна пояснити результатом перебігу процесів випаровування та втрати легких фракцій продукту, змінами у вуглеводневому складі палив. Слід зазначити, що зміни фракційного складу палива взаємопов'язані з його експлуатаційними властивостями. Важливим є також те, що за обтяження фракційного складу палива зменшується октанове число і, як наслідок, погіршується детонаційна стійкість.

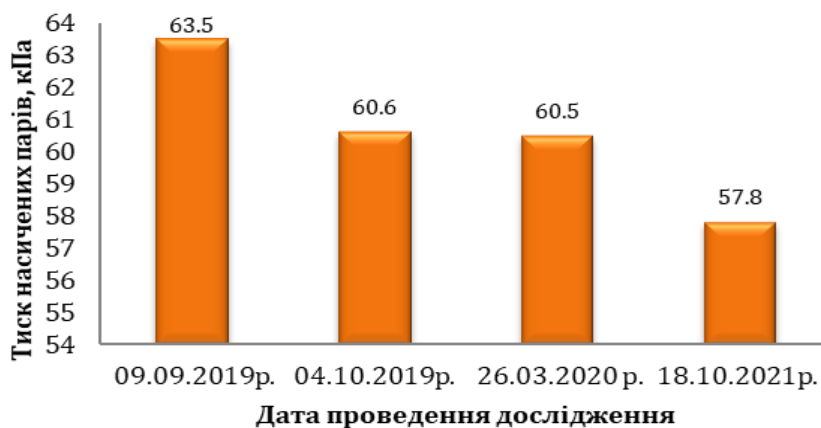


Рис. 1. Зміна тиску насиченої пари за тривалого зберігання А-92-Євро5-Е5, кПа

Fig. 1. Change in vapor pressure during long-term storage of A-92-Euro5-E5, kPa

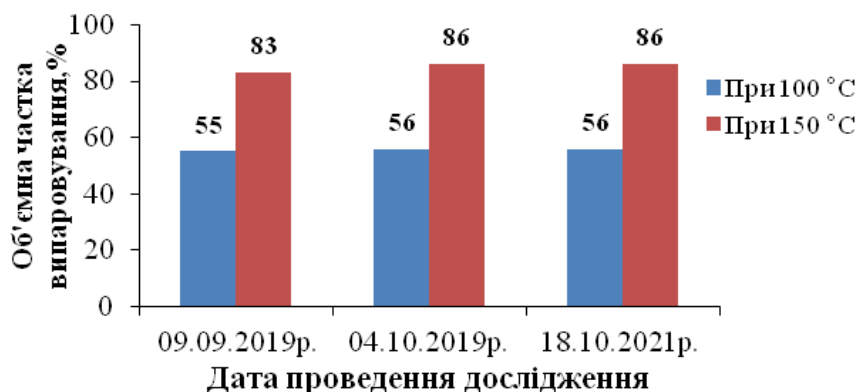


Рис. 2. Зміна фракційного складу за тривалого зберігання А-92-Євро5-Е5, %

Fig. 2. Change in fractional composition during long-term storage of A-92-Euro5-E5, %

Хімічна стабільність, що характеризує здатність бензину зберігати свій первісний хімічний склад без змін за тривалого зберігання, перекачуванні та транспортуванні, пов'язана з наявністю в їхньому складі ненасичених вуглеводнів та інших сполук, які характеризуються підвищеною схильністю до окиснення.

У даній роботі були досліджені такі показники якості як: «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)».

Аналізуючи отримані дані можна зазначити, що вміст ароматичних вуглеводнів за період зберігання підвищився на 2.6 % та знаходиться в межах відповідності ДСТУ

7687:2015 (не більше 35 % об.) (рис. 3). Збільшення кількості ароматичних сполук негативно позначається на фізико-хімічних і експлуатаційних властивостях. За умови підвищення вмісту аренів, підвищуються в'язкість і температура застигання бензинів, знижується їх випаровуваність, яка погіршує пускові властивості, збільшується гігроскопічність, токсичність (отруйність), схильність до нагароутворення і самозаймання. Відповідно збільшення вмісту аренів також може бути однією з причин зниження тиску насиченої пари, що й спостерігається на рис. 1. Також вони можуть агресивно впливати на гумові та полімерні деталі (фільтри, трубки, ущільнення тощо), оскільки, по суті, ці речовини є розчинниками.

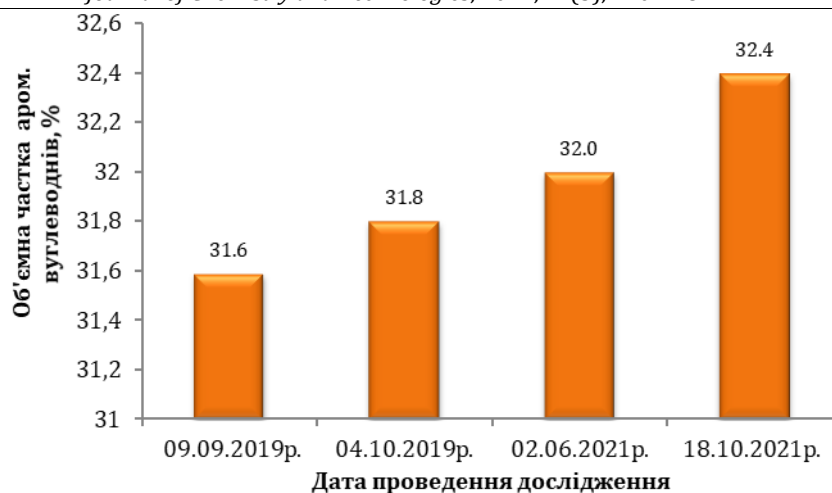


Рис. 3. Зміна об'ємної частки ароматичних вуглеводнів за тривалого зберігання А-92-Євро5-Е5, %
 Fig. 3. Change in volume fraction of aromatic hydrocarbons during long-term storage of A-92-Euro5-E5, %

Вміст олефінових вуглеводнів у бензині автомобільному (рис. 4) за період зберігання зменшився на 0.2 % і відповідає допустимим межах згідно ДСТУ 7687:2015 (не більше 18 % об.). Зменшення вмісту олефінових

вуглеводнів може пояснюватися їх здатністю до окиснення та полімеризації протягом зберігання, з подальшим утворенням фактичних смол.



Рис. 4. Зміна об'ємної частки олефінових вуглеводнів за тривалого зберігання А-92-Євро5-Е5
 Fig. 4. Change in volume fraction of olefinic hydrocarbons during long-term storage of A-92-Euro5-E5

Проведеними дослідженнями встановлена залежність змін між вмістом ароматичних вуглеводнів та вмістом бензолу. При підвищенні показника «об'ємна частка ароматичних вуглеводнів» відповідно зростає «об'ємна частка бензолу» (рис. 3, 5). Це екологічна, а точніше, токсична небезпека палива, оскільки в процесі згоряння утворюється небезпечна канцерогенна речовина – бензапирен. Тому, чим більше бензолу в складі палива, тим токсичнішим стає бензин та продукти його згоряння. Оскільки бензол є гігроскопічним, то збільшення його вмісту може призводити також до інтенсивнішого поглинання води з навколишнього середовища та, як наслідок,

підвищення корозійної активності палива, що за тривалого зберігання негативно впливатиме на конструкційні матеріали.

Вміст бензолу у зразку визначався за ДСТУ 7686:2015 «Бензин. Визначення індивідуальних складників методом газової хроматографії високого ступеня розділеності на 100-метровій капілярній колонці». Враховуючи те, що відношення стандартного відхилення повторюваності до середнього значення для кожного компонента має бути меншим або рівним 0.1, можна сказати, що об'ємна частка бензолу за тривалого зберігання бензину суттєво не змінилася і залишається в допустимих межах ДСТУ 7687:2015 (не більше 1 % об.).

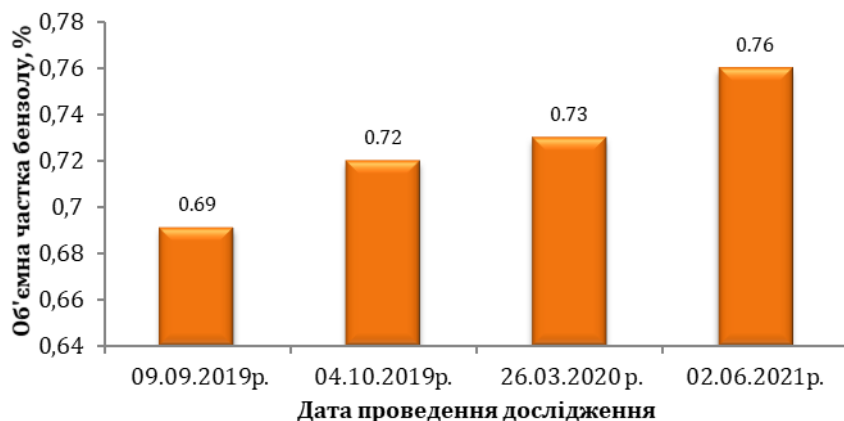


Рис. 5. Зміна об'ємної частки бензолу за тривалого зберігання А-92-Євро5-Е5, %
 Fig. 5. Change in volume fraction of benzene during long-term storage A-92-Euro5-E5, %

Показник «Об'ємна частка кисню» (рис. 6) демонструє чітку динаміку зменшення, що можна пояснити взаємодією розчиненого кисню з найменш стабільними вуглеводнями і гетероорганічними сполуками. Окрім цього, в якості каталізаторів окиснення вуглеводнів виступають металеві поверхні технологічного обладнання, підтоварна вода, мікробіологічне забруднення та наявна тверда дисперсна фаза

механічних забруднень, що постійно контактують з паливом. Тому ланцюгова реакція окиснення вуглеводнів призводить до утворення продуктів окиснення і спричинює погіршення якості палива в цілому. Об'ємна частка кисню за тривалого зберігання відповідає допустимим межах згідно ДСТУ 7687:2015 (не більше 2.7 % об.)

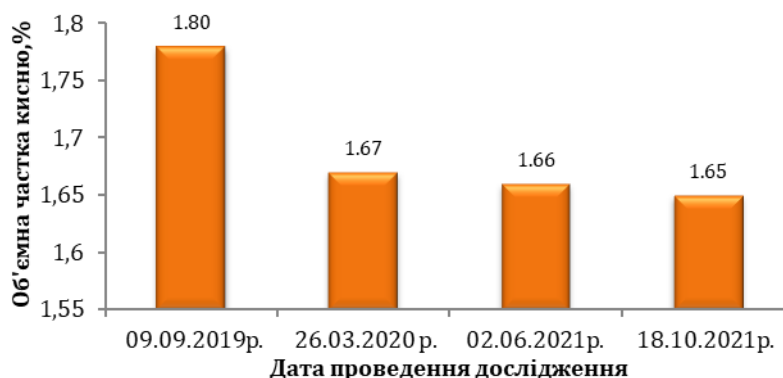


Рис. 6. Зміна об'ємної частки кисню за тривалого зберігання А-92-Євро5-Е5, %
 Fig. 6. Change in volume fraction of oxygen during long-term storage of A-92-Euro5-E5, %

Показник «об'ємна частка етерів» показує чітку динаміку зменшення з подальшою стабілізацією та знаходиться в межах відповідності вимог ДСТУ 7687:2015 (не більше 15 % об.) (рис. 7). Відомо, що етери використовуються у якості оксигенатів, їм притаманне високе значенням октанового числа (106–125 од. за дослідницьким методом і 94–110 од. – за моторним) [25], тому зменшення вмісту етерів у бензині автомобільному може призводити до зниження октанового числа та тиску насичених парів.

Октанове число (ОЧ) бензину характеризує його детонаційну стійкість і є основним показником, що встановлює можливість застосування палива у двигунах внутрішнього

згоряння. Проведене дослідження динаміки змін якості палива (рис. 8) показує, що ОЧ за період 26 місяців підвищується, що може пояснюватися збільшенням вмісту ароматичних вуглеводнів, бензолу (рис. 3, 5), які здатні підвищувати детонаційну стійкість бензинів. У подальшому ОЧ зменшується, що може свідчити про наявність процесів окиснення та полімеризації, які переважають октанопідвищуючу дію аренів. Зниження даного показника також може пояснюватися втратою легких фракцій бензину внаслідок процесів випаровування. В цілому значення показника ОЧ відповідають ДСТУ 7687:2015 (октанове число за дослідним методом не менше 92).

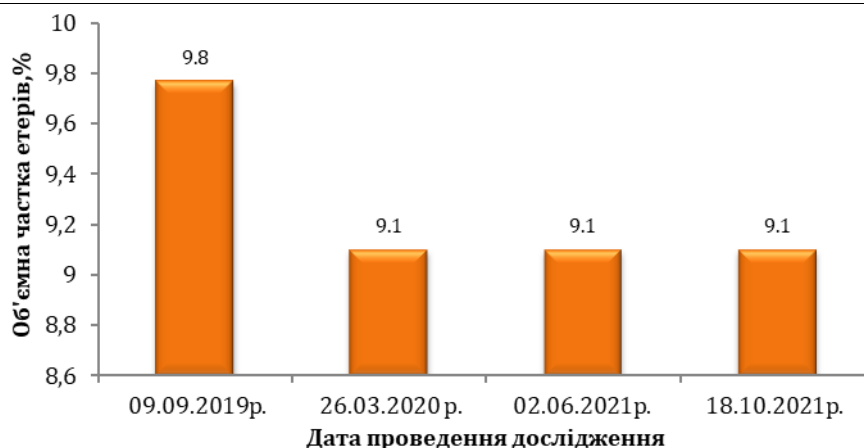


Рис. 7. Зміна об'ємної частки етерів за тривалого зберігання А-92-Євро5-Е5, %
Fig. 7. Change in volume fraction of ethers during long-term storage of A-92-Euro5-E5, %

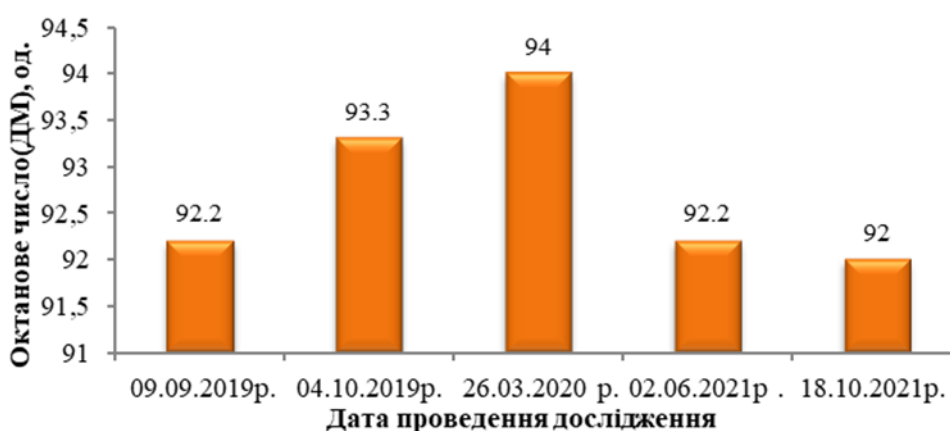


Рис. 8. Зміна октанового числа (дослідний метод) за тривалого зберігання А-92-Євро5-Е5
Fig. 8. Change in research octane number during long-term storage of A-92-Euro5-E5

Висновки

Створення та підтримання запасів нафтопродуктів у належному стані є одним з стратегічних завдань і вимагає знання та розуміння фізико-хімічних процесів, що можуть відбуватися в процесі транспортування та зберіганні моторних палив, зокрема за тривалого зберігання. Проведений моніторинг та аналіз динаміки змін якості бензину автомобільного показав, що протягом дворічного зберігання палива відбуваються зміни його групового складу, фізичної та хімічної стабільності. Однак, варто зазначити, що під час заданого терміну зберігання моторного палива змін якості бензину автомобільного, які б впливали на його придатність до подальшого зберігання та використання, не відбулося, показники

якості знаходилися в межах відповідності ДСТУ 7687:2015.

Отримані результати дослідження вказують на постійний перебіг процесів випаровування легких фракцій, окиснення, полімеризації та взаємодії з твердою дисперсною фазою. Зниження втрат палива від випаровування та запобігання погіршення їх якості є одним з провідних завдань щодо забезпечення екологічної безпеки підприємств паливозабезпечення. Тому найкращим для збереження якості бензинів є їх зберігання у підземних, повністю заповнених резервуарах із відповідним антикорозійним покриттям, чи у наземних резервуарах із системою рекуперації парів, обладнаних пристроями видалення підтоварної води.

References

- [1] [Member States' obligation to maintain a minimum level of reserves of crude oil and/or petroleum products: Directive 2009/119/EC of 14 September 2009] <http://enref.org/wp-content/uploads/2015/01/dir-2009-119-ua.pdf>. (in Ukrainian)
- [2] Potetiuiieva, M. (2018). [Mobilization reserve as a component of the state security system]. *Sotsialnyi rozvytok ta bezpeka*, 5, 66–75 (in Ukrainian)

- [3] Riabtsev H. L. (2015). [The main approaches to the formation of reserves of oil and petroleum products in Ukraine in accordance with the requirements of the European Energy Community]. *Visnyk Natsionalnoi akademii derzhavnoho upravlinnia pry Prezydentovi Ukrainy*, 1, 107–112. (in Ukrainian).
- [4] [Pro zatverdzhennia Tekhnichnoho rehlamentu shchodo vymoh do avtomobilnykh benzyniv, dyzelnoho, sudnovykh ta kotelnykh palyv], 927. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/927-2013%D0%BF#Text>
- [5] [Tekhnichnyj reglament shhodo vymog do avtomobil'nyh benzyniv, dyzel'nogo, sudnovykh ta kotel'nyh palyv, zatverdzhenyj Postanovoju Kabinetu Ministriv Ukraïny vid 1 serpnja 2013 r. № 927]
- [6] DSTU 7687:2015. (2015) Benzyny avtomobil'ni Yevro. Tekhnichni umovy [DSTU 7687:2015 Car gasoline Euro. Specifications].
- [7] DSTU 8704:2017. (2017) Benzyny avtomobil'ni dovhotryvaloho zberihannya. Tekhnichni umovy [DSTU 8704:2017 Car gasoline for long-term storage. Specifications].
- [8] Matvyeyeva, O. L. (2013). [Change in the quality of hydrocarbon fuels for gas turbine engines in the conditions of the life cycle]. *Systemy obrobky informatsiyi*, (1), 97–100. (in Ukrainian).
- [9] Boychenko, S. V., Kalmykova, N. G. (2020). [Cause and consequence analysis of losses of petroleum products in the tank park]. *Naukoyemni tekhnolohiyi – Science-intensive technologies*. (2). 218–235. <https://doi.org/10.18372/2310-5461.46.14810>. (In Ukrainian)
- [10] Matvyeyeva, O., Vovk, Y., Nilov O. (2021). Microbiological Contamination of Motor Fuels: Analysis and Identification in Fuelling Companies. *Proceedings of the National Aviation University*, 1(86). 49–56. <https://doi.org/10.18372/2306-1472.86.15444>
- [11] Matvyeyeva, O. L. (2013). [The influence of pollution on the oxidation processes of hydrocarbon fuels]. *Systemy ozbroyennya i viys'kova tekhnika*, (1), 100–102. (in Ukrainian)
- [12] Matvyeyeva, O. L., Stolinet, S. L. (2004). [Study of changes in the quality of jet fuels in operational conditions]. *Problemy tekhniky*, (3), 70–74. (in Ukrainian)
- [13] Jeon, Cheol-Hwan, Cheon-Kyu Park, Byung-Ki Na, Jae-Kon Kim. (2017). Properties of Gasoline Stored in Various Containers. *Energies*, 10(9), 1307. <https://doi.org/10.3390/en10091307>
- [14] Cai, G., Liu, Z., Zhang, L., Shi, Q., Zhao, S., Xu, C. (2021). Systematic performance evaluation of gasoline molecules based on quantitative structure-property relationship models. *Chemical Engineering Science*, 229, 116077. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.116077>
- [15] Sydorenko, N. O. (2009). The influence of the component composition of automobile gasolines on their physical stability. *Proceedings of the National Aviation University*, 38(1), 173–176.
- [16] Boryaev, A. A. (2020). Development of advanced methods of determining the chemical stability of hydrocarbon fuels. *Thermochimica Acta*, 685, 178508. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2020.178508>
- [17] Kumar, T., Mohsin, R., Abdul Ghafir, M. F., Kumar, I., Wash, A. M. (2018). Concerns over Use of Leaded Aviation Gasoline (AVGAS) Fuel. *Chemical Engineering Transactions*, 63, 181–186. <https://doi.org/10.3303/CET1863031>
- [18] Owczuk, M., Kołodziejczyk, K. (2015). *Liquid Fuel Ageing Processes in Long-term Storage Conditions*. In (Ed.), *Storage Stability of Fuels*. Intech. Open, <https://doi.org/10.5772/59799>
- [19] Borecki, M., Gęca, M., Korwin-Pawlowski, M. L., Prus P. (2017). Capillary Sensor with UV-forced Degradation and Examination of Fluorescence for Determination of Chemical Stability of Diesel and Biodiesel Fuels, *Sensors & Transducers*, 220, 20–30.
- [20] Larin, O. M., Lypovyy, V. O., Udyans'kyy, M. M. (2014). Analysis of the composition and properties of residual contamination of oil storage tanks. *Naukovyy visnyk UkrNDIPB–Scientific Bulletin of UkrNDIPB*. 2, 41–47.
- [21] Ershov, M. A., Potanin, D. A., Grigorieva, E. V., Abdellatief, T. M., Kapustin, V. M. (2020). Discovery of a high-octane environmental gasoline based on the gasoline Fischer-Tropsch process. *Energy & Fuels*, 34(4), 4221–4229. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c00009>
- [22] Koyunoglu, C. (2021). Preventing Gasoline Thermal Decomposition. *Uluslararası Yakıtlar Yanma Ve Yangın Dergisi*, 9(1), 1–8. <https://doi.org/10.52702/fce.541042>
- [23] Pradelle, F., Braga, S. L., de Aguiar Martins, A. R. F., Turkovics, F., Pradelle, R. N. C. (2017). Certainties and challenges in modeling unwashed and washed gums formation in Brazilian gasoline-ethanol blends. *Chemical Engineering Research and Design*, 122, 77–96. <https://doi.org/10.1016/j.CHERD.2017.03.037>
- [24] Sultanbekov, R., & Nazarova, M. (2019). The influence of total sediment of petroleum products on the corrosiveness of the metal of the tanks during storage. In *E3S Web of Conferences*, 121, 01015.
- [25] Sultanbekov, R., Nazarova, M. (2019). The influence of total sediment of petroleum products on the corrosiveness of the metal of the tanks during storage. In *E3S Web of Conferences*, 121, 01015. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912101015>
- [26] Yarmolyuk, B. M., Korotkova, N. P., Bereza, L. I. (2006). Trends in the application of gasoline additives. *Kataliz i neftekhimiya*, 14, 53–70.