

С.В. Бойченко¹, д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0002-2489-4980

І.О. Шкільнюк, канд. техн. наук, ORCID 0000-0002-8808-3570

А.В. Яковлєва¹, канд. техн. наук, доцент, ORCID 0000-0002-7618-7129

С.Ю. Докшина¹, аспірант, ORCID 0000-0001-8136-8779

І.О. Куберський¹, аспірант, ORCID 0000-0002-3800-8484

О.В. Сібілєва², канд. вет. наук, ORCID 0000-0001-5339-7214

¹Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

²Державна екологічна інспекція України

СИСТЕМАТИЗОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА БАЗА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ДОДАТКІВ ДЛЯ АВІАЦІЙНИХ БЕНЗИНІВ

Додатки у складі бензинів почали використовувати ще у першій половині ХХ ст. Наприкінці 70-х років відбулася якісна концептуальна зміна розвитку цього напрямку науки та практики. Вона була зумовлена забрудненням довкілля шкідливими викидами. Саме екологічні мотиви викликали модифікацію рецептури бензинів і конструкційні удосконалення двигунів. Проблему покращення якості бензинів і палив для повітряно-реактивних двигунів (ПРД) прийнято вирішувати двома способами: розроблення якісних нових продуктів та ефективного використання традиційних.

У запропонованій роботі виконано аналіз наукової літератури стосовно енергоефективних додатків до авіаційних бензинів, та на основі цього створена систематизована інформаційна база, а саме: виконано класифікацію асортименту додатків до бензинів (за наступними ознаками: що підвищують хімічну, фізичну та біологічну стабільність; модифікатори спалахування; модифікатори горіння; миючі; присадки, що сприяють ефективній експлуатації палив за низьких температур; модифікатори тертя; маркуючі; антикорозійні; що підвищують безпеку використання; модифікатори поверхнево-активних властивостей), та асортименту антидетонаційних і екологічних (антиемісійних) додатків у складі авіаційних бензинів.

В Україні виготовляються та допущені до використання: полі-функціональні додатки, що представляють складну суміш сполук мангану та суміші парафінових і нафтових вуглеводнів (ТУ 30218597.001 «Присадки поліфункціональні «Екооктан». Технічні умови»); залізомісткі базатофункціональні добавки «Стандарт»; також, відомі розробки оксигенатів на основі метанолу, етанолу та інших спиртів, продуктів перероблення спиртів, етерів і інших кисеньвмісних сполук.

Дослідження виконуються у рамках проекту «Розроблення технології виробництва нових екологічно безпечних високооктанових авіаційних бензинів із вітчизняної сировини» за рахунок державного бюджету згідно Розпорядження Кабінету Міністрів України від 12 серпня 2022 р. № 713-р «Про затвердження переліку науково-технічних (експериментальних) розробок в рамках виконання державного замовлення на найважливіші науково-технічні (експериментальні) розробки та науково-технічну продукцію у 2022 році» (реєстраційний номер 2020.01/0242).

Ключові слова: авіаційні бензини, якість, енергоефективність, додатки до авіаційних бензинів, присадки до авіаційних бензинів, інформація, база.

Вступ

Додатки у складі бензинів почали використовувати ще у першій половині ХХ ст. Наприкінці 70-х років відбулася якісна концептуальна зміна розвитку цього напрямку науки та практики. Вона була зумовлена забрудненням довкілля шкідливими викидами. Саме екологічні мотиви, як відомо [1–13] викликали модифікацію рецептури бензинів і конструкційні удосконалення двигунів.

Мета та завдання

Метою даної роботи є створення систематизованої інформаційної бази енергоефективних додатків для авіаційних бензинів. **Завдання:** виконати аналіз наукової літератури стосовно енергоефективних додатків до авіаційних бензинів.

Матеріал і результат досліджень

Розвиток паливної галузі взагалі та паливного матеріалознавства авіаційної техніки зокрема тісно пов'язаний із проблемою покращення якості бензинів і палив для повітряно-реактивних двигунів (ПРД) [1, 4–6, 13]. Цю завжди актуальну проблему [13], що постає перманентно перед галуззю, прийнято вирішувати за двома напрямками розроблення якісних нових і ефективного використання традиційних продуктів необхідного та поновлювального асортименту, зокрема:

- спеціальних за складом і будовою речовин і сполук – так званих додатків (присадок) (до 0,5% мас.) та добавок (до 2% мас. і більше), що виявляючи цілеспрямовані функціональні властивості, покращують експлуатаційні показники палив;

- нових, синтетичного або біосинтетичного походження сполук – потенційних палив як компонентів (більше 2% мас.) для створення найсучаснішого типу палив – композиційних, що одержують компаундуванням традиційних (мінеральних або (і) синтетичних) і нових паливних компонентів і відповідних додатків і (або) добавок, або цілий їх пакет.

Визначально важливими питаннями даної проблеми є урахування:

а) енерго- і ресурсозберігаючих аспектів; б) екологічної безпеки для довкілля та людини додатків, добавок і всіх інших можливих компонентів; в) техніко-економічних переваг і доцільності відбирання окремих складників композиційних палив [1–11].

Асортимент додатків і добавок до палив взагалі перевищує тридцять типів.

Найбільш поширеними додатками є антидетонатори, що призначені для покращення процесів згорання палив і корегування їх октанового числа (ОЧ) [4, 9–17].

Відомі два методи запобігання детонації моторного палива:

1) зміна складу палива, що складно та вартісно;

2) підбір додатків, що руйнують вибухонебезпечні продукти горіння.

Серед таких додатків, що одержали назву антидетонатори, найбільшого розповсюдження одержав тетраетил-свинець (ТЕС), що нині заборонений до використання у більшості країн світу через його високу токсичність. На сьогодні відомо три добавки, що розроблені на основі ТЕС: Р-9, П-2 та 1-ТС [2–4].

Бензин, що містить ТЕС, відноситься до 2 класу небезпеки та є отруйним, у першу чергу тому, що сполуки свинцю (Pb^{+2} , Pb^{+4}) є нервовими отрутами та викликають у людей розсіяний склероз.

Заборона ТЕС з екологічної та санітарно-гігієнічної точок зору створила немало проблем. Собівартість бензинів зросла, оскільки будь-який інший спосіб підвищення ОЧ дорожчий, ніж використання ТЕС, а об'єм виробництва альтернативних антидетонаторів нині є недостатнім, внаслідок чого ОЧ неетильованих бензинів більшості європейських країн знизилась до критичного рівня.

На сьогодні розроблення антидетонаторів здійснюється двома напрямками. Перший передбачає пошук нових нетоксичних металомістких антидетонаторів, другий (головний) – модифікація складу бензинів додаванням ароматичних вуглеводнів, безольних антидетонаторів (амінів), алкілатів, кисеньвмісних сполук – оксигенатів (спирти, ефіри), інших високооктанових компонентів. Перевірена антидетонаційна ефективність багатьох металів. Широко досліджувалися сполуки мангану – циклопентадієніл-трилкарбоніл-манган (ЦТМ) та метил-циклопентадієніл-трилкарбоніл-манган (МЦТМ), що за своєю ефективністю навіть перевершували ТЕС. Проте надії на ці сполуки як функціонально ефективні та екологічно безпечні не збулись тому, що, як показала практика їх використання, розчин ЦТМ виявився досить нестабільним, а продукти розпаду МЦТМ виявилися отрутою для каталізаторів очищення відпрацьованих газів. Багаточисельні дорожні випробування на сучасних автомобілях показали, що детонаційна стійкість бензинів із МЦТМ в умовах експлуатації більше відповідає ОЧд, ніж за ОЧм (табл. 1).

Ефективність алкоксиметилпохідних ЦТМ залежно від складу алкоксигруп знижується у такому порядку: $CH_3OR > C_2H_5OR > C_3H_7OR > ROCH=CH_2 \gg C_6H_5-CH_2OR$, де $R = MnC_5H_4(CO)_3CH_2$.

Антидетонаційна ефективність ацетил-трифтор-циклопентадієніл-трикарбо-нілмангану (АТФ-ЦТМ) у композиції ізooksтану з н-гептаном у середньому перевищує ефективність ЦТМ (ОЧ на 2–3 одиниці). При цьому для однакового приросту ОЧ бензину марки А-72 необхідно додавати АТФ-ЦТМ у два рази менше марганцю, ніж у бензин з ЦТМ. Антидетонаційна ефективність АТФ-ЦТМ під час оцінки його вмісту у грамах металу більше, ніж для ЦТМ.

В Україні виготовляються та допущені до використання полі-функціональні добавки, що представляють складну суміш сполук мангану та суміші парафінових і нафтових вуглеводнів (ТУ 30218597.001 «Присадки поліфункціональні «Екооктан». Технічні умови») [4, 10].

На сьогодні як антидетонатори досліджені також пентакарбоніл заліза, дицикло-пентадієніл-залізо, або фероцен і дізобутиленовий комплекс пентакарбоніла заліза. Серед сполук заліза розповсюджений фероцен, що належить до групи седвінчеподібних елементорганічних сполук перехідних металів.

Фероцен та його похідні одержали допуск до застосування у складі бензинів всіх марок у концентрації, що відповідає вмісту заліза не більше 37 мг/л. Антидетонаційна ефективність фероцену вища, ніж ефективність карбонілу заліза у припустимих концентраціях їх використання. В Україні виготовляються та допущені до використання залізомісткі багатофункціональні добавки «Стандарт» [4, 10].

Фероценові антидетонатори були розроблені та запатентовані в 1952 р. Антидетонатори на основі похідних фероцену порівняно нетоксичні, дешеві та ефективні. Крім того, вони є каталізаторами горіння і запобігають утворенню сажі й нагарів, знижують у викидних газах вміст оксиду вуглецю, бензпіренів й вуглеводнів і меншою мірою – оксидів азоту. Однак дослідження, здійснені в 1950–1970 рр., не привели до промислового використання фероценів через ті ж причини, що й манганових антидетонаторів. Застосування ефективних концентрацій призводило до відкладення в камері згорання оксидів заліза,

зниження ефективності свічок запалювання, підвищення зношування двигуна, необхідності застосування виносів тощо [4, 9, 10].

Таблиця 1. Ефективність ТЕС та МЦТМ за спільного додавання до різних бензинів [4]

ТЕС, мг/л	МЦТМ, г/л	ОЧ _д	ОЧ _м	ДОЧ за л об/хв				
				1500	2000	2500	3000	середнє
Бензин А								
0	0	90,7	73,5	90,1	90,6	90,8	89,9	90,4
0	0,066	94,4	82,4	93,2	93,5	93,8	92,2	93,2
0	0,132	95,7	83,3	94,5	95,0	94,4	93,2	94,3
0	0,264	97,3	83,7	95,5	96,5	95,9	94,9	95,7
0	0,528	99,2	85,0	97,4	98,0	97,6	96,8	97,5
0,792	0	98,0	85,2	96,0	96,8	96,2	95,0	96,0
0,792	0,026	98,8	86,0	94,9	97,6	97,4	96,5	97,0
0,792	0,066	98,9	86,2	99,6	97,6	97,3	96,5	97,0
0,792	0,132	99,4	86,5	97,3	97,7	97,6	96,8	97,3
0,792	0,264	100,0	87,0	97,3	97,9	97,6	96,7	97,4
Бензин Б								
0	0	90,6	83,0	88,3	89,6	89,9	89,7	89,4
0	0,066	94,1	84,6	89,8	92,5	93,7	98,3	92,3
0	0,132	95,7	85,3	92,9	94,2	95,4	94,8	94,3
0	0,264	97,7	86,5	94,8	96,4	97,8	97,0	96,5
0	0,528	99,6	88,2	97,0	98,9	99,4	99,0	98,6
0,792	0	99,0	90,7	97,1	99,1	99,4	99,5	98,8
0,792	0,026	99,3	90,6	96,4	99,0	99,9	99,7	98,8
0,792	0,066	99,5	91,0	97,5	99,9	100,6	100,4	99,6
0,792	0,132	99,7	91,0	96,8	99,4	100,3	99,8	99,1
0,792	0,264	100,8	91,3	97,9	100,0	100,8	99,9	99,7

Одним із варіантів виробництва неетильованих бензинів є використання компонентів на основі кисеньвмісних сполук (оксигенатів) [14–34]. На сьогодні на практиці застосовують спирти (етанол, метанол, ізопропанол, бутанол), їх етери (метил-трет-бутиловий тощо), суміші спиртів з етерами, наприклад метил-трет-бутилового з трет-бутанолом, а також відходи виробництва етанолу. В Україні відомі розробки оксигенатів на основі метанолу, етанолу та інших спиртів, продуктів перероблення спиртів, етерів і інших кисеньвмісних сполук. Використання оксигенатів дозволяє знизити викиди CO_x на 14%, вуглеводнів на 7% та уникнути застосування токсичного бензолу. Етанол як оксигенат належить до відновлювальних джерел енергії, тому його використання як компонента, що підвищує ОЧ бензину, може бути перспективним. Попри усі позитиви використання оксигенатів досвід їх застосування в бензинах виявив низку проблем. По-перше, під час згорання бензину, що містить оксигенати, через наявність у них зв'язаного кисню у 2–4 рази порівняно із згоранням вуглеводневого палива зростають викиди NO_x та альдегідів. Оптимальна кількість зв'язаного кисню у бензині, що забезпечувала б зниження вмісту оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах, одночасно не підвищуючи емісію NO_x та альдегідів, має становити ~ 2%. Це означає, що концентрація оксигенатів в бензині обмежується 10–15%. По-друге, застосування 100%-х оксигенатів практично неможливе у бензинових двигунах. Наприклад, збільшення концентрації етанолу у бензині понад 10% призводить до збіднення бензино-повітряної суміші й погіршує експлуатаційні характеристики двигуна. Тому без модернізації двигунів можна використовувати лише бензини з масовою часткою оксигенатів не більше 10%.

Суттєвим недоліком сумішей оксигенатів з бензином є їх фазова нестабільність, спричинена наявністю в оксигенатах води. Через це зростає корозійна активність палива, погіршуються його протизношувальні властивості, виявляється негативна дія на гумові ущільнення, пластмасу та інші експлуатаційні матеріали. Корозійність бензинів, що містять оксигенати на основі етанолу, ще більше зростає через наявність у ньому кислот, в основному оцтової, що утворюється під час ферментації природної цукристої сировини. Корозійна дія оксигенатних палив полягає в утворенні у карбюраторі осадів, що містять солі заліза, та в рецесії сідла викидного клапана й кородуванні бензинових pomp. Отже, з метою забезпечення фазової стійкості бензину, що містить оксигенати, конче потрібно включати до його складу стабілізатори і антикорозійні та протизношувальні добавки, що, безумовно, підвищує собівартість

такого палива. Стабілізатори забезпечують зниження температури помутніння бензинів до мінус 25– мінус 40°C за масової частки води в паливі від 0,15 до 5%. Як протизношувальні та протизадирні добавки до бензинів, що містять оксигенати, рекомендують додавати естери фосфорних кислот, що часто застосовують разом з естерами на основі моно- чи полікарбонічних кислот C₈–C₉₀ та багатоатомних спиртів C₂–C₉₀, амінами чи оксиалкільованими неіоногенними ПАВ, наприклад полігліколями. Поліпшують мастильні властивості бензинів також первинні нерозгалужені спирти. Інгібітори корозії є невід’ємним компонентом палив, що містять оксигенати. Як інгібітори корозії використовують дикарбоні, фосфорні, сульфонові кислоти та їх солі й аміді: шавлеву, себацінову, алкеніляртарну, суміш останньої з сукцинімідами, імідазолінами або амінотріазолами, калійові солі алкеніляртарних й діалкілнафталінсульфонових кислот. Серед товарних інгібіторів корозії такого типу можна назвати Keropur ES 3222, B-15/41, B-2, B2.1. З метою інгібування корозії та запобігання набряканню та руйнуванню еластомерів, зумовлених спиртовмісними паливами, до них рекомендують додавати також нітровані аміді ароматичних кислот. Негативна дія етерних оксигенатів дещо нижча, ніж відповідних спиртів. Проте одержання етерів потребує використання дорогих і дефіцитних C₃–C₅-фракцій нафтопереробки (каталітичного піролізу й крекінгу), складних технологій із застосуванням каталізаторів. Так, собівартість метил-трет-бутилових і інших етерів в 2–5 разів перевершує собівартість бензинових компонентів реформінгу, каталітичного крекінгу, ізомеризатів, н-бутану, толуолу і майже в 1,5 рази такого високооктанового компонента, як алкілат. На сьогодні, розширення масштабів виробництва та застосування оксигенатних бензинів призвело до відчутного негативного впливу на екологію. Це зумовлено розчинністю оксигенатів у воді й їх стійкістю до біологічного розщеплення.

Беззольними атидетонаторами виявлені такі класи органічних сполук, як похідні фенолу й аміни [4, 9, 10, 14]. Додавання до складу бензину в концентрації 13% фенолів і амінів дозволяє підвищити ОЧ на 2–10 пунктів. Похідні фенолу як атидетонатори не набули практичного застосування або через недостатню ефективність, або високу вартість та нестабільність під час зберігання. Лише ароматичні аміни (аніліни, толуїдини, ксилідини) на практиці використовують як атидетонатори.

Відомі такі товарні добавки до бензинів на основі ароматичних амінів: екстралін, АДА, Ферада, ксилідин. Вони поступаються за ефективністю металовмісним атидетонаторам, але в 10–15 разів перевершують оксигенати. На відміну від металоорганічних і металокомплексних атидетонаторів ароматичні аміни не призводять до відкладання осадів на деталях циліндрово-поршневої групи двигуна та свічках запалювання. Перевага таких додатків – їх поліфункційність. Поряд з підвищенням атидетонаційних властивостей вони виявляють також антиокиснювальну та антикорозійну дію. Основним недоліком ароматичних амінів є їх токсичність та відсутність ефективного вивісця [4, 9, 10, 14].

Як добавки, що поліпшують горіння бензину, відомі солі лужних і лужноземельних металів карбонічних і сульфокислот, а також феноляти і комплекси цих металів з електроннодонорними сполуками: поліамінами, азолами, тіазолінами, естерами, амідіми тощо. Розчинність цих речовин у бензині має забезпечуватися відповідною довжиною вуглеводневого радикала. Найпоширенішими є солі алкеніляртарних кислот (M ~ 1000). Вважають, що ці добавки підвищують швидкість поширення полум’я і тим знижують температуру згорання в системі допалювання. Так, додавання до складу бензину 10–20 млн⁻¹ суміші натрійових і стронційових солей алкеніляртарної кислоти знижує температуру згорання на фільтри-уловлювачі з > 300 до < 200°C. Ці добавки також знижують утворення нагарів у двигуні та захищають сідло випускного клапана від рецесії. Іноді застосовують саму алкеніляртарну кислоту в суміші з мийними добавками [14].

Антиемісійними добавками вважають відомі атидетонатори – металоорганічні сполуки або металокомплекси заліза – фероцени та циклопентадієнілі мангану [4, 9, 10, 14]. Антиемісійна ефективність цих сполук підвищується за наявності деяких органічних речовин: естерів, етерів, тетраетоксисиланів тощо. При цьому метали слугують каталізаторами горіння та сприяють бездимному згоранню палива, а органічні добавки є синергістами цієї дії. Спільне використання циклопентадієнілтрикарбоніл мангану та етерів (наприклад, тетрагідрофуран) сприяє зниженню емісії отруйних викидів і запобігає утворенню осадів у камері згорання. Знижують викиди отруйних газів та зменшують витрати бензину також естери, наприклад оцтово-етиловий або етери ортомурашиної кислоти – продукти взаємодії гліоксалу зі спиртами. Досить ефективною виявилася композиція ацетилацетонату заліза (5·10⁻⁶ – 2·10⁻⁴ %) і тетраетоксисилану (0,005–0,02%). За таких концентрацій ці сполуки знижують емісію CO_x на 80%, вуглеводнів – на 73%, NO_x – на 85%, бензпірену – на 15–38%. Поліпшувати горіння палив здатні також вуглеводневі полімери, наприклад поліізобутен. Дія полімерних додатків полягає в наданні паливу характеру ньютонівської рідини під впливом короткотривалої (мілісекунди) температурної експозиції. Особливо це важливо там, де відбувається швидка зміна в часі процесів упорскування, випаровування та горіння. Вважають, що полімер запобігає утворенню крапель палива, більших за 50 і менших за 10 мкм, підвищує тимчасову його в’язкість, впливає на поверхневий натяг і відносну твердість крапель, робить їх одноріднішими, через що забезпечує контрольоване випаровування. Відомо, що краплі, менші за 10 мкм, горять як пара, більші за 40 мкм – дифузійно, від краплі до краплі. Найкраще, коли розмір крапель

становить 10–40 мкм. Тоді паливо більшою мірою згорає до H_2O і CO_2 . Додавання до бензину полібутену (~0,01%) знижує викиди CO_x , NO_x і вуглеводнів, підвищує потужність двигуна на 10% та збільшує пробіг автомобіля на 20%.

На підставі вищенаведеного аналізу було систематизовано асортимент додатків і добавок до бензинів. Результати систематизації наведені у таблиці 2. Отримана таблиця може слугувати класифікацією додатків до бензинів, в основу якої покладено призначення додатку для надання або поліпшення експлуатаційних властивостей бензинів.

Виокремлюючи речовини та сполуки (антидетонаційні та екологічні (антиемісійні)) для авіаційних бензинів серед низки додатків, було згруповано та систематизовано додатки та добавки за принципом експлуатаційного призначення у такий спосіб (табл. 3).

Ці речовини, як правило, додаються та забезпечують необхідний функціональний ефект у частках на мільйон (ppm). (Для довідки – 1 ppm = 0,0001% мас.). До складу авіаційних бензинів можуть додаватися тільки ті добавки, що спеціально дозволені відповідною специфікацією (стандартом). Антидетонаційні додатки та барвники є обов'язковими у складі авіаційних бензинів. Антиоксиданти, антиводокристалізаційні, антистатичні та іншого функціонального призначення додатки є рекомендовувальними.

Висновки

У запропонованій роботі виконано аналіз наукової літератури стосовно енергоефективних додатків до авіаційних бензинів, та на основі цього створена систематизована інформаційна база, а саме: виконано класифікацію асортименту додатків до бензинів (за наступними ознаками: що підвищують хімічну, фізичну та біологічну стабільність; модифікатори спалахування; модифікатори горіння; миючі; присадки, що сприяють ефективній експлуатації палив за низьких температур; модифікатори тертя; маркуючі; антикорозійні; що підвищують безпеку використання; модифікатори поверхнево-активних властивостей), та асортименту антидетонаційних і екологічних (антиемісійних) додатків у складі авіаційних бензинів.

В Україні виготовляються та допущені до використання: полі-функціональні додатки, що представляють складну суміш сполук мангану та суміші парафінових і нафтових вуглеводнів (ТУ 30218597.001 «Присадки поліфункціональні «Екооктан». Технічні умови»); залізомісткі багатофункціональні добавки «Стандарт»; також, відомі розробки оксигенатів на основі метанолу, етанолу та інших спиртів, продуктів перероблення спиртів, етерів і інших кисеньвмісних сполук.

Авторами систематизовано асортимент додатків і добавок до бензинів у вигляді, що може слугувати класифікацією додатків до бензинів, в основу якої покладено призначення додатку для надання або поліпшення експлуатаційних властивостей бензинів. Антидетонаційні та екологічні (антиемісійні) додатки згруповано та систематизовано за принципом експлуатаційного призначення у табличній формі.

Таблиця 2. Класифікація та асортимент додатків до бензинів

Тип присадок чи додатків	Концентрація, %	Активний компонент	Принцип дії
Підвищують хімічну, фізичну та біологічну стабільність			
Антиоксиданти	0,005-0,03	Екрановані феноли; N, N – діалкілпарафенілєндіаміни	Інгібірують радикально-ланцюгове окиснення вуглеводнів
Деактиватори металів	0,001-0,01	Біс-саліциліден-алкілен-діаміни	Інгібірують окиснювальну дію міді, заліза та інших металів
Стабілізатори	0,01-0,05	Композиції антиоксидантів, деактиваторів металів, нейтралізуючих агентів та диспергаторів	Запобігають смоло- та осадоутворенню внаслідок окиснення та інших реакцій ущільнення
Знижують випаровування	0,001-0,01	Поліалкіл-силоксани, четвертинні солі амонію та інші поверхнево-активні речовини (ПАР)	Утворюють міцну адсорбційну плівку на поверхні бензину, що запобігає його випаровуванню
Стабілізатори паливних композицій	0,1-0,5	Аліфатичні спирти, ПАР різної будови	Запобігають розшаруванню паливно-спиртових сумішей, підвищують стабільність водопаливних емульсій
Коагулюючі (Коагулянти)	0,01-0,1	ПАР	Прискорюють коагуляцію забруднень. Потребують наступного відстоювання та фільтрування
Біоциди	0,0001-0,005	Целозольви. Сполуки нікелю, міді, інших металів, гетероциклічні сполуки	Запобігають біокорозії паливних баків та забрудненню палив продуктами життєдіяльності організмів

Таблиця 2. (Продовження)

Тип присадок чи додатків	Концентрація, %	Активний компонент	Принцип дії
Модифікатори спалахування			
Антидетонатори	0,01-0,1	Металоорганічні сполуки свинцю, заліза та мангану; 1-2 N-метиланілін	Запобігають передчасному спалахуванню бензину у двигунах з примусовим спалахуванням
«Витискувачі» металів (спільно з антидетонаторами)	0,01-0,05	Галогеновуглеводні. Сполуки фосфору та бору.	Запобігають відкладенню металів на свічках та інших деталях двигуна через утворення летких сполук
Модифікатори горіння			
Антинагарні	0,05-0,01	Термостійкі ПАР у поєднанні з модифікаторами нагару (оксигенати)	Видаляють нагар з камери згорання, запобігають закоксовуванню поршневих кілець
Антидимні	0,05-0,2	Теплорозчинні сполуки барію, заліза та інших металів	Прискорюють вигорання сажі на останніх стадіях процесу горіння
Ініціатори горіння (промоутери)	0,001-0,01	ПАР з добавками каталізаторів горіння – сполук металів	Інтенсифікують (прискорюють) процес горіння палива
Каталізатори горіння	0,1-0,2	Сполуки заліза, нікелю та інших металів, які легко йонізуються, з добавками ПАР	Полегшують сумішоутворення та прискорюють горіння залишкових палив
Миючі			
Очищувачі карбюратора	0,005-0,05	Аміно-аміди	Видаляють забруднення із поверхні заслінки карбюратора
Очищувачі впускної системи	0,05-0,1	Полібутенаміни, поліефіраміни	Запобігають відкладенням на поверхні впускних клапанів з безпосереднім вприскуванням бензину
Очищувачі камери згорання	0,05-0,1	Основи Манніха алкілфеноли, сукциніміди	Запобігають утворенню нагару у камері згорання, знижуючи показникові вимоги до октанового числа
Присадки, що сприяють ефективній експлуатації палив за низьких температур			
Антиводо-кристалізаційні	0,01-0,05	ПАР різного складу, компоненти миючих присадок	Запобігають обмерзанню паливної апаратури, утворюючи на поверхні захисну плівку
Модифікатори тертя			
Протизносні	0,01-0,1	Карбонові кислоти, зокрема ВЖК	Утворюють на поверхні тертя плівку, що захищає від зносу
Антифрикційні	0,01-0,5	Сполуки молібдену, ПАР	Підвищують механічний ККД двигуна через зниження втрати на тертя
Маркуючі			
Барвники	0,0005-0,001	Паливорозчинні пігменти типу фталоціанінів, азосполук, похідних антрахінону	Свідчать про наявність у бензині свинцю або підвищеному вмісті сульфуру у дизельних паливах
Антикорозійні			
Антиржавні	0,005-0,05	Похідні алкенилентарного ангідриду, деякі ПАР	Зменшують електрохімічну корозію металів на межі розділу фаз системи «паливо-повітря»
Що підвищують безпеку використання			
Антистатичні	0,00005-0,0005	Композиції ПАР з солями металів (хрому)	Знижують пожежну безпеку під час роботи з паливом через зменшення статичної електрики
Модифікатори поверхнево-активних властивостей			
Антипінні	0,0001-0,001	Полісілоксани та деякі ПАР	Зменшують спінювання палива під час завантаження, транспортування

Таблиця 3. Класифікація та асортимент антидетонаційних і екологічних (антиемісійних) додатків у складі авіаційних бензинів

Найменування (марка) / виробник	Компонентний склад/ активний компонент	Концентрація	Сфера застосування	Основні фізико-хімічні характеристики
На основі сполук свинцю: Тетраетилсвинць (ТЕС), тетраметилсвинць (ТМС), триметилетилсвинць (ТМЕС), діетилдіметилсвинць (ДЕДМС), метилтриетилсвинць (МТЕС) / Innospec Inc. (США), BASF, (Німеччина), Exxon Mobil Corporation (США), Tianjin Zhongxin Chemtech Co., Ltd (Китай)	свинць	0,01–0,1 % (0,17 г Рb/л)	Відомий з 1921 р. («General motors research corporation») Для попередження вибухового розкладу продуктів передполум'яного окиснення палива перед згоранням паливно-повітряної суміші (ППС). Підвищує ОЧ.	Дуже високотоксична та канцерогенна речовина. Разом з ТЕС рекомендовано додавати виносник – етилендибромід і барвник. Етилендибромід діє як поглинач свинцю. Під час згорання бензину, свинць у ТЕС перетворюється на оксид свинцю, що накопичується на клапанах і свічках запалювання. Згодом це може пошкодити двигун. А етилендибромід реагує з оксидом свинцю, утворюючи та перетворюючи його на суміш броміду свинцю та оксидбромідів свинцю. Так як ці сполуки є легкими, вони виходять із двигуна разом із рештою продуктів згорання, що захищає двигун. За додавання цих антидетонаторів в еталонну суміш з 70% ізооктану та 30% н-гептану у кількості 2,0, 1,6 та 1,7 мг/кг відповідно приріст ОЧ суміші, визначеного за моторним методом, становить не менше 17 од.
На основі сполук ароматичних амінів: Екстралін, ксилідин (суміш 7% аніліну, 88% метиланіліну та 5% ксилідину), технічний N-метиланілін (ММА) / Royal Dutch Shell (Велика Британія + Нідерланди), Tianjin Zhongxin Chemtech Co., Ltd (Китай), Zhengzhou Alpha Chemical Co., Ltd. (Китай)	N-метиланілін (C ₆ H ₅ NH), 4-метоксі-N-метиланілін (C ₈ H ₁₁ NO)	1,0–2,0 %	Відомі з 1919 р. (США). Додавалися 4% до складу авіабензинів для підвищення сортності. Модифікатор (промоутер) спалахування. Підвищують ОЧ. Добре сумісні з іншими антидетонаторами. Провокують синергічний ефект. Можуть бути базою для композиційних антидетонаційних додатків.	Менш токсичні аніж ТЕС. За додавання в еталонну суміш, що складається з 70% ізооктану та 30% н-гептану, 1,5% ММА ОЧ суміші збільшується на 6–10 од. ММА осідає у повітрі на висоті 60 см від землі і довго не розпадається. Симптоми отруєння людини: реакції стають загальмованими, людина задихається, вуха та кінчики пальців синіють.
На основі сполук мангану: НІТЕС-3000, 3046, 3062, 3973 / Ethyl Corporation, Afton Chemical corporation (США), Octaburn™8000 Innospec Inc. (США)	Манган (Mn), циклопентадієніл-трикарбоніл-манган (ЦТМ, C ₅ H ₅ Mn(CO) ₃), та метил-циклопентадієніл-трикарбоніл-манган (МЦТМ, (CH ₃ C ₅ H ₄ Mn(CO) ₃)), ацетил-трифтор-циклопентадієніл-трикарбонілманган (АТФЦТМ, CF ₃ COC ₅ H ₄ (CO) ₃ Mn)	До 18 мг/літр (50 мг Mn/л)	Відомі з 1954 р. (Фішером було синтезовано ЦТМ, Німеччина). В Україні допущені до застосування поліфункціональні присадки, що є сумішшю сполук мангану та суміші парафінових і нафтових вуглеводнів (ТУ 30218597.001 «Присадки поліфункціональні „Екооктан”. Технічні умови»).	Менш токсичні аніж ТЕС і ММА. За додавання до 2 мл МЦТМ в 1 кг еталонної суміші з 60% ізооктану та 40% н-гептану підвищує ОЧ на 7-9 од. Проте розчин ЦТМ у бензині виявився дуже нестабільним, погіршується антиокиснювальна стабільність, а продукти розкладання МЦТМ отруювали каталізatori допалу відпрацьованих газів. Фотолітична дія перетворює органічну сполуку на суміш нешкідливих оксидів марганцю, карбонатів і органіки похідної метилциклопентадієну. Первинні властивості втрачаються. Утворюється осад, засмічуються свічки запалювання, підвищується зношуваність деталей двигуна.

Таблиця 3. (Продовження)

Найменування (марка) / виробник	Компонентний склад/ активний компонент	Концентрація	Сфера застосування	Основні фізико-хімічні характеристики
На основі сполук заліза (фероцену): PLUTOcen® F, PLUTOcen® GS 2300i Innospec Inc. (США)	Пентакарбоніл заліза – Fe(CO) ₅ , Фероцен – (C ₁₀ H ₁₀ Fe)	30–45 мг/кг (38 мг Fe/л)	Антидетонаційна ефективність пентакарбонілу заліза Fe(CO) ₅ була виявлена ще в 1924 р. Застосовувався як антидетонатор у 30-ті роки минулого століття у Німеччині у концентрації 2–2,5 мл/кг. Фероценові антидетонатори були розроблені та запатентовані в 1952 р. В Україні виготовляються та допущені до застосування поліфункціональні добавки на основі сполук заліза «Стандарт» (ТУУ 30958302.001 «Добавка багатфункціональна „Стандарт“. Технічні умови»).	Світло-жовта рідина з характерним запахом. Порівняно з попередніми антидетонаторами нетоксична, дешева та ефективна. Каталізатор (промоутер) горіння, запобігає утворенню сажі й нагарів, знижує у викидних газах вміст оксиду вуглецю, бензпіренів й вуглеводнів і меншою мірою – оксидів азоту. Однак дослідження, здійснені в 1950–1970 рр., показали, застосування ефективних концентрацій призводить до відкладення в камері згорання оксидів заліза, зниження ефективності свічок запалювання, підвищення зношування деталей двигуна, необхідності застосування виносів тощо. Пентакарбоніл заліза схильний до швидкого розкладання під дією світла до нерозчинного нонкарбонілу заліза Fe(CO) ₉ . Фероцен – тверда кристалічна речовина помаранчевого кольору. Найбільш високу антидетонаційну ефективність фероцен виявляє в бензинах, що містять до 40% ароматичних вуглеводнів, а також у бензинах, що містять спирти та МТБЕ. Відомий також дізобутиленовий комплекс пентакарбонілу заліза ([Fe(CO) ₅] ₃ [C ₈ H ₁₆] ₃ (співвідношення пентакарбонілу та дізобутилену – 3:5). Мас аналогічні недоліки як і пентакарбоніл заліза. Як і для манганових добавок не винайдено ефективного виносія.
Кисеньвмісні добавки (оксигенати)	Спирти (метанол – CH ₃ OH етанол – C ₂ H ₅ OH, ізопропанол – CH ₃ CH(OH)CH ₃ , бутанол – C ₄ H ₉ OH), їх етери (метил-трет-бутиловий (МТБЕ) – CH ₃ OC ₄ H ₉ , етил-трет-бутиловий (ЕТБЕ) – C ₂ H ₅ -OC(CH ₃) ₃ , метил-трет-аміловий (МТАЕ) – CH ₃ -OC(CH ₃) ₂ C ₂ H ₅ , діізопропіловий (ДІПЕ) – C ₆ H ₁₄ O тощо)	До 15%	Етанол як моторне паливо для ДВЗ використовували ще в 1876 році. Привабливість оксигенатів полягає у тому, що вони вважаються відновлювальними джерелами енергії. Найбільш ефективним (економічним) джерелом отримання спиртів є природний газ. Масове використання бензинів, що містять 5–10% етанолу (газохол), 15% етанолу (Е15) та 22% етанолу бере початок з 1980 рр., коли у Бразилії, США, Швеції, Голландії, Франції, Канаді та Колумбії автомобілі стали заправляти цим видом палива (після світової енергетичної кризи). З 2000 р. В Україні діє ТУ У 30183376.001-2000	Порівняно з попередніми антидетонаторами найбільш безпечні з точки зору токсичності та пожежовибухонебезпеки. Забезпечують підвищення детонаційної стійкості, зниження викидів CO ₂ та незгорілого вуглецю в довкілля. Механізм дії оксигенатів являє собою ступінчасте окислення – це холодне свічення, яке хвилеподібно поширюється по всій газовій реакційній суміші. Використання оксигенатів дозволяє знизити викиди CO ₂ на 14%, вуглеводнів на 7% та уникнути застосування токсичного бензолу. Додані в процес окиснення, сприяють збільшенню повноти згорання та ОЧ бензину, але через нижчу теплоту згорання вміст кисню не повинен перевищувати 2,7% (об.). З екологічної точки зору МТАЕ має більш високий поріг запаху (194 мкг/л проти 95 мкг/л для МТБЕ), а головне не накопичується в водних джерелах через крашу біорозчеплюваність..

Таблиця 3. (Продовження)

Найменування (марка) / виробник	Компонентний склад/ активний компонент	Концентрація	Сфера застосування	Основні фізико-хімічні характеристики
			«Високоокта-нова кисневмісна добавка до бензинів (ВКД). Технічні умови», ГСТУ 320.00149943.015-2000 «Бензини моторні сумішеві. Технічні умови» на виробництво неетильованих бензинів марок А-80Ек, А-92Ек, А-95Ек, А98Ек, що містять до 6% оксигенату. Для стабілізації сумішевих бензинів, у складі яких присутні оксигенати в Україні розроблено добавку «Мегаоктан» (ТУУ 24.1-32589031 «Добавки. Технічні умови»). З 2011 р. діє ДСТУ 7166:2010 «Біоетанол. Технічні умови».	Додавання бінарних додатків на основі МТБЕ та неароматичних амінів призводить до зростання утворення смол і осадів. Однією з найбільш серйозних проблем, що ускладнюють застосування оксигенатів є низька стабільність бензино-спиртових (розшарування) сумішей та особлива чутливість їх до води

Список використаних літературних джерел

1. Бойченко С. В. Рациональное использование углеводневых топлив / С. В. Бойченко. – К.: НАУ, 2001. – 216 с.
2. Бойченко С. В., Иванов С. В., Бурака В. Г. Моторні палива і масла для сучасної техніки: Монографія. — К.: НАУ, 2005. — 216 с.
3. Бойченко С. В. Вступ до хімотології палив та олив: навч. посіб. / С. В. Бойченко, В. Г. Спіркін. — Одеса: Астропринт, 2009. — Ч. 1. — 236 с.
4. Бойченко С. В. Вступ до хімотології палив та олив: навч. посіб. / С. В. Бойченко, В. Г. Спіркін. — Одеса: Астропринт, 2009. — Ч. 2. — 276 с.
5. Boichenko S.V. Aviation Fuels and Lubricants: Manual / S. V. Boichenko, M. M. Zakharchuk. – K.: NAU, 2012. – 184 p.
6. Моторні палива: властивості та якість : підручник / С. Бойченко, А. Пушак, П. Топільницький, К. Лейда; за ред. проф. С. Бойченко. – Київ: Центр учб. літ., 2017. – 323 с.
7. V. Boichenko, A. V. Yakovlieva, O. O. Vovk, M. M. Radomska, L. M. Cherniak, I. O. Shkilniuk. Fundamentals of Chemmotology. – K.: National Aviation University, 2019, 296 p.
8. Boichenko S., Yakovlieva A., Lejda K., Kurdel P. Modern Road Transport's Operational materials. Technical University of Košice, 2020. 279 p, ISBN: 978-80-553-3646-64.
9. Vision 2050: A pathway for the evolution of the refining industry and liquid fuels. *FuelsEurope*. веб-сайт. URL: <https://www.fuelseurope.eu/publications/publications/vision-2050-a-pathway-for-the-evolution-of-the-refining-industry-and-liquid-fuels> (дата звернення: 28.03.2023)
10. Б.М. Ярмолюк, Н.П. Короткова, Л.І. Береза. Тенденції застосування додатків до бензинів // Катализ и нефтехимия. – 2006. – №14. – С. 53–70.
11. Mayur Jadhav, Swati Jadhav and Supriya Chavan. Application of additives with gasoline fuel: A review // 3S Web Conf. 6th International Conference on Energy and City of the Future (EVF'2019). Volume 170, 2020. 6 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017001026>.
12. Бойченко С. В. Перспективи заміни етилової рідини аліфатичними спиртами в складі авіаційних бензинів: вплив на екологічну чистоту / С.В. Бойченко, М.А. Посипайко, О.Г. Личманенко // Наукоємні технології. – 2016. – № 1(29). – С. 107–115.
13. Антидетонаційні властивості авіаційних бензинів і способи їх забезпечення / С. В. Бойченко, О. Г. Кондакова // Вісник Національного транспортного університету. - 2016. - № 2. - С. 21-27.
14. Азаренкова А. О. Перспективи та недоліки використання біоетанольної добавки до палив моторних сумішевих / Аксенов О. Ф., Бойченко С. В., Азаренкова А. О. // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2014. – Випуск 30. – С. 3–8.
15. Kondakova O., Boichenko S. (2018) Environmentally Clean Reformulated Aviation Gasoline. In: Karakoç T., Colpan C., Şöhret Y. (eds) *Advances in Sustainable Aviation*. Springer, Cham. Kondakova, O., & Boichenko, S. (2017). Environmentally clean reformulated aviation gasoline. *Advances in sustainable aviation* (pp. 3–14) doi:10.1007/978-3-319-67134-5_1
16. Boychenko, S.V., Boychenko, M.S., Lychmanenko, O.G. Effect of additives on properties of aliphatic alcohols gasoline: Analytical review (2015) *Science-Intensive Technologies*, 1 (25), pp. 86–92.

17. Boychenko, S. Causal analysis of aviation gasoline modification (2015) Proceedings of the National Transport University, 2 (32), pp. 3-13. In S.V. Boychenko, O.G. Lychmanenko (Eds.). Series "Engineering". Scientific and technical collection 3
18. Бойченко С. В. Дослідження впливу кавітаційної обробки на октанове число автомобільного бензину / С. В. Бойченко, В. Г. Ланецький, Л. М. Черняк, М. М. Радомська, О. Г. Кондакова // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2017. – № 2. – С. 107–114.
19. Вплив добавок аліфатичних спиртів на властивості бензинів: аналітичний огляд / С. В. Бойченко, М. С. Бойченко, О. Г. Личманенко, С. М. Кабан // Наукоємні технології. – 2015. – № 1. – С. 86–92.
20. Способи перетворення n-алканів у високооктанові компоненти для моторних палив : [колект.] монографія / О. Б. Целішев, М. Г. Лорія, С. О. Кудрявцев, С. В. Бойченко; ред.: О. Б. Целішев; Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. – Северодонецьк : СХУ ім. В. Даля, 2020. – 194 с. – Бібліогр.: с. 189–194.
21. Alcohols and Ethers, A Technical Assessment of Their Application as Fuels and Fuel Components, API Publication 4261, 3rd ed., American Petroleum Institute, Washington, D.C., 2001.
22. W. C. Healy, Jr., C. W. Maassen, and R. T. Peterson, A New Approach to Blending Octanes, paper presented at 24th Mid-year Meeting of the American Petroleum Institute's Division of Refining, New York, May 27, 1959/
23. Austin, Wes; Stanley, David; and Thom, Melanie, "Testing the Effects of a Bio-Derived Alternative Aviation Gasoline on Aircraft Materials In Comparison to 100 Low Lead Aviation Gasoline" (2013). Aviation Technology Graduate Student Publications. Paper 29.<http://docs.lib.purdue.edu/atgrads/29>.
24. Federal Aviation Administration (2006). Spark Ignition Aircraft Engine Endurance Test of Aviation-Grade Ethanol 85. (FAA Technical Report No. DOT/FAA/AR-06/43) Retrieved from <http://www.tc.faa.gov/its/worldpac/techrpt/ar06-43.pdf>
25. Ershov, M.A., Grigor'eva, E.V., Khabibullin, I.F. et al. Development of E30 Bioethanol Fuel Composition Based on Low-Octane Fractions of Exhaustive Hydrocarbon Feedstock Processing. Chem Technol Fuels Oils 52, 241–249 (2016). <https://doi.org/10.1007/s10553-016-0699-9>
26. Mikhail A. Ershov, Dmitriy A. Potanin, Ekaterina V. Grigorieva, Tamer M. M. Abdellatif, Vladimir M. Kapustin. Discovery of a High-Octane Environmental Gasoline Based on the Gasoline Fischer–Tropsch Process. Energy & Fuels 2020, 34 (4) , 4221–4229. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c00009>
27. Кожушко М. І., Лудин А. М., Реутський В. В. Використання спиртових відходів // Хімічна промисловість України. – К., 2014. – № 1 (120). – С. 22–25.
28. Експлуатаційні властивості альтернативних моторних палив на основі оксигенатів / Полункин Е.В., Каменева Т.М., Пилявский В.С. и др. // Катализ и нефтехимия. – 2012. – № 20. – С. 70–74.
29. Оноиченко С.М. Розробка і дослідження композицій нестильованих бензинів, що містять етанол: дис. канд. техн. наук : 05.17.07/ Оноиченко Світлана Миколаївна. – М.: 2000. – 168 с
30. Упровадження гармонізованих технічних вимог до якості авіаційного бензину та палива для реактивних двигунів / С. В. Бойченко, А. В. Яковлева, І. О. Шкільнюк // Енерготехнологии и ресурсосбережение. – 2016. – № 1. – С. 23–32.
31. Экологические аспекты использования моторных топлив (Обзор) / С. В. Бойченко, И. А. Шкільнюк, Л. Н. Черняк, Ю. С. Макаренко, Ю. В. Карелин // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2014. – № 5–6. – С. 35–44.
32. Порівняльна характеристика екологічних ризиків під час використання традиційних та альтернативних палив / А. К Антропченко, А. В. Яковлева, В. О. Хрутьба, С. В. Бойченко // Вісник Національного транспортного університету. – 2016. – № 2. – С. 3–12.
33. Аналіз екологічних властивостей компонентів традиційних і альтернативних авіаційних бензинів / С. В. Бойченко, Л. І. Павлюх, І. О. Шкільнюк, А. В. Яковлева, І. В. Матвеева, А. В. Гудзь // Наукоємні технології. – 2019. – № 2. – С. 195–206.
34. Ідентифікація ризиків, що виникають під час використання традиційних і альтернативних авіаційних палив: екологічний ризик / С. В. Бойченко, В. О. Хрутьба, А. В. Яковлева, А. К. Антропченко // Наукоємні технології. – 2016. – № 1. – С. 116–122.
35. Влияние состава и свойств топлива на рабочий процесс двигателя / С. В. Бойченко, Г. М. Кухаренко, Д. Г. Гершань, Л. Н. Черняк, И. О. Шкільнюк // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2018. – № 3. – С. 11–16.
36. Крайнюк О.В. , Буц Ю.В. , Барбашин В.В. Контроль якості моторних палив з метою забезпечення відповідності вимогам безпеки // Вісник ХНАДУ. - 2019, т. I, вип. 86. – С. 80–89.
37. Григорєв А. О., Кисельов В. П., Кисельов Ю. В. Альтернативний метод визначення детонаційної стійкості моторних палив // Вісті Академії інженерних наук України. – 2002. – № 3(16) – С. 79–82.
38. Яковлева А. В. Упровадження гармонізованих технічних вимог до якості авіаційного бензину та палива для реактивних двигунів / А.В. Яковлева, С.В. Бойченко, І.О. Шкільнюк // Енерготехнології та ресурсозбереження. – 2016. – № 1. – С. 23–31.
39. Sergii Boichenko, Iryna Shkilniuk. Cause-and-effect analysis of microbiological contamination of motor fuels and prospects for the rational use of biodegradation in the processes of recycling waste from the technosphere // Development of scientific, technological and innovation space in Ukraine and EU countries. – 3rd ed. – Riga, Latvia: "Baltija Publishing", 2021. – 416 p. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-151-0-31>

S. Boichenko¹, Dr. Sc. (Eng.), Prof., ORCID 0000-0002-2489-4980

I. Shkilniuk¹, Cand. Sc. (Eng.), ORCID 0000-0002-8808-3570

A. Yakovlieva¹, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID 0000-0002-7618-7129

S. Dokshyna¹, Ph. D. student, ORCID 0000-0001-8136-8779

I. Kuberskyi¹, Ph. D. student, ORCID 0000-0002-3800-8484

O. Sibilieva², Cand. Sc. (Vet), ORCID 0000-0001-5339-7214

¹National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

²State Environmental Inspectorate

SYSTEMATIC INFORMATION BASE OF ENERGY-EFFICIENT APPLICATIONS FOR AVIATION PETROL

The additives in petrol was started to use in the first half of the twentieth century. In the late 1970s, a qualitative conceptual change in the development of this area of science and practice took place. Environmental pollution from harmful emissions led to the modification of petrol formulations and structural improvements of engines. The problem of improving the quality of gasoline and fuels for jet engines is usually solved in two ways: by developing high-quality new products and by efficient use of traditional ones.

The proposed work analyses the scientific literature on energy-efficient additives to aviation gasoline and, on this basis, creates a systematic information base, namely: classification of the range of additives to gasoline (by the following features: chemical, physical and biological stability enhancers; flash point modifiers; combustion modifiers; washing; dopes that promote efficient operation of fuels at low temperatures; friction modifiers; marking agents; anti-corrosion agents; safety enhancers; surface-active property modifiers) and the range of anti-detonation and environmental (anti-emission) additives in aviation petrols.

The following additives are manufactured and approved for use in Ukraine: poly-functional additives representing a complex mixture of manganese compounds and mixtures of paraffinic and naphthenic hydrocarbons (TU 30218597.001[in Ukrainian] "Poly-functional additives "Eco-Octane". Technical specifications"); iron-containing multifunctional additives "Standard"; there are also known developments of oxygenates based on methanol, ethanol and other alcohols, alcohol processing products, ethers and other oxygen-containing compounds.

The research is being carried out within the framework of the project "Development of a technology for the production of new environmentally friendly high-octane aviation gasoline from domestic raw materials" at the expense of the state budget in accordance with the Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine of 12 August 2022 No. 713-r "Pro zatverdzhennia pereliku naukovo-tekhnichnykh (eksperymentalnykh) rozrobok v ramkakh vykonannia derzhavnoho zamovlennia na naivazhlyvishi naukovo-tekhnichni (eksperymentalni) rozrobky ta naukovo-tekhnichnu produktsiiu u 2022 rotsi" [in Ukrainian] (registration number 2020.01/0242).

Keywords: aviation gasoline, quality, energy efficiency, additives to aviation gasoline, dopes to aviation gasoline, information, database.

References

- 1.Boichenko, S.V. (2001) *Rational use of hydrocarbon fuels*. NAU [in Ukrainian].
- 2.Boichenko, S. V., Ivanov, S. V. & Burlaka, V. H. (2005) *Motor fuels and oils for modern technology: A monograph*. NAU [in Ukrainian].
- 3.Boichenko, S. V. & Spirkin, V. H. (2009) *Introduction to the chemotology of fuels and oils: a textbook. Part 1*. Odesa: Astroprint [in Ukrainian].
- 4.Boichenko, S. V. & Spirkin, V. H. (2009) *Introduction to the chemotology of fuels and oils: a textbook. Part 2*. Odesa: Astroprint [in Ukrainian].
- 5.Boichenko S.V. *Aviation Fuels and Lubricants: Manual*/S.V. Boichenko, M.M. Zakharchuk.–K.NAU, 2012.– 184 p.
- 6.S. Boichenko, A. Pushak & P. Topilnytskyi and al. (2017) *Motor fuels: properties and quality: textbook*. Kyiv: Tsentruchovoi literatury [in Ukrainian].
- 7.V. Boichenko, A. V. Yakovlieva, O. O. Vovk, M. M. Radomska, L. M. Cherniak, I. O. Shkilniuk. *Fundamentals of Chemotology*. – K.: National Aviation University, 2019, 296 p.
- 8.Boichenko S., Yakovlieva A., Lejda K., Kurdel P. *Modern Road Transport's Operational materials*. Technical University of Košice, 2020. 279 p, ISBN: 978-80-553-3646-64.
- 9.Vision 2050: A pathway for the evolution of the refining industry and liquid fuels. *FuelsEurope*. [Online]. Available: <https://www.fuelsEurope.eu/publications/publications/vision-2050-a-pathway-for-the-evolution-of-the-refining-industry-and-liquid-fuels> Accessed on: March 28, 2023
- 10.Yarmoliuk, B.M., Korotkova, N.P. & Bereza, L.I. (2006). Trends in the use of petrol additives. *Kataliz i neftehimija*, №14, 53-70 [in Russian].
- 11.Mayur Jadhav, Swati Jadhav and Supriya Chavan. Application of additives with gasoline fuel: A review // 3S Web Conf. 6th International Conference on Energy and City of the Future (EVF'2019). Volume 170, 2020. 6 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017001026>.
- 12.Boichenko, S.V. , Posypaiko, M.A. & Lychmanenko, O.H. (2016). Prospects for replacing ethyl fluid with aliphatic alcohols in aviation petrol: impact on environmental friendliness. *Naukoiemni tekhnolohii*, № 1(29), 107–115 [in Ukrainian].

- 13.Boichenko, S. V. , Kondakova, O. H. (2016). Anti-detonation properties of aviation petrols and ways to ensure them. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu*, № 2, 21-27 [in Ukrainian].
- 14.Aksonov, O. F., Boichenko, S. V. & Azarenkova, A. O. (2014). Prospects and disadvantages of using bioethanol additives to motor fuel blends. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu*, 30, 3-8 [in Ukrainian].
- 15.Kondakova O., Boichenko S. (2018) Environmentally Clean Reformulated Aviation Gasoline. In: Karakoç T., Colpan C., Şöhret Y. (eds) *Advances in Sustainable Aviation*. Springer, Cham. Kondakova, O., & Boichenko, S. (2017). Environmentally clean reformulated aviation gasoline. *Advances in sustainable aviation* (pp. 3-14) doi:10.1007/978-3-319-67134-5_1
- 16.Boychenko, S.V., Boychenko, M.S., Lychmanenko, O.G. Effect of additives on properties of aliphatic alcohols gasoline: Analytical review (2015) *Science-Intensive Technologies*, 1 (25), pp. 86-92.
- 17.Boychenko,S.Causal analysis of aviation gasoline modification (2015)Proceedings of the National Transport University, 2(32), pp. 3-13.In S.V. Boychenko, O.G. Lychmanenko (Eds.).Series "Engineering".Scientificandtechnical collection 3
- 18.Boichenko, S. V., Lanetskyi, V. H.&Cherniak, L. M. and al. (2017). Study of the influence of cavitation treatment on the octane number of motor petrol. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia*, № 2, 107-114 [in Ukrainian].
- 19.Boichenko, S. V., Boichenko, M. S. & Lychmanenko, O. H. and al. (2015). Effect of aliphatic alcohol additives on petrol properties: an analytical review. *Naukoiemni tekhnolohii*, № 1, 86-92 [in Ukrainian].
- 20.Tselishchev, O. B., Loria, M. H. & Kudriavtsev, S. O. and al. (2020). Methods of conversion of n-alkanes into high-octane components for motor fuels: [collective] monograph. *Skhidnoukrainskyi natsionalnyi universytet imeni Volodymyra Dalia*. pp. 189-194 [in Ukrainian].
- 21.Alcohols and Ethers, A Technical Assessment of Their Application as Fuels and Fuel Components, API Publication 4261, 3rd ed., American Petroleum Institute, Washington, D.C., 2001.
- 22.W. C. Healy, Jr., C. W. Maassen, and R. T. Peterson, A New Approach to Blending Octanes, paper presented at 24th Mid-year Meeting of the American Petroleum Institute's Division of Refining, New York, May 27, 1959/
- 23.Austin, Wes; Stanley, David; and Thom, Melanie, "Testing the Effects of a Bio-Derived Alternative Aviation Gasoline on Aircraft Materials In Comparison to 100 Low Lead Aviation Gasoline" (2013). *Aviation Technology Graduate Student Publications*. Paper 29.<http://docs.lib.purdue.edu/atgrads/29>.
- 24.Federal Aviation Administration (2006). Spark Ignition Aircraft Engine Endurance Test of Aviation-Grade Ethanol 85. (FAA Technical Report No. DOT/FAA/AR-06/43) Retrieved from <http://www.tc.faa.gov/its/worldpac/techrpt/ar06-43.pdf>
- 25.Ershov, M.A., Grigor'eva, E.V., Khabibullin, I.F. et al. Development of E30 Bioethanol Fuel Composition Based on Low-Octane Fractions of Exhaustive Hydrocarbon Feedstock Processing. *Chem Technol Fuels Oils* 52, 241–249 (2016). <https://doi.org/10.1007/s10553-016-0699-9>
- 26.Mikhail A. Ershov, Dmitriy A. Potanin, Ekaterina V. Grigorieva, Tamer M. M. Abdellatif, Vladimir M. Kapustin. Discovery of a High-Octane Environmental Gasoline Based on the Gasoline Fischer–Tropsch Process. *Energy & Fuels* 2020, 34 (4) , 4221-4229. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c00009>
- 27.Kozhushko, M. I., Ludyn, A. M. & Reutsky, V. V. (2014) *Utilisation of alcohol waste*. *Khimichna promyslovist Ukrainy*, № 1 (120), 22–25 [in Ukrainian].
- 28.Polunkyn, E.V., Kameneva, T.M. & Pylivskyi, V.S. and al. (2012). Performance properties of alternative motor fuels based on oxygenates. *Kataliz i neftehimija*, №20, 70-74 [in Russian].
- 29.Onoichenko, C.M. (2000). *Development and research of unleaded petrol compositions containing ethanol*. Dissertation for the degree of Candidate of Sciences: 05.17.07., 168 p.
- 30.Boichenko, S. V., Yakovlieva, A. V. & Shkilniuk, I. O. (2016). *Introduction of harmonised technical requirements for the quality of aviation petrol and jet fuel*. *Energotehnologii i resursosberezhenie*, № 1, 23-32 [in Russian].
- 31.Boichenko, S. V., Shkylniuk, Y. A. & Cherniak, L. N. and al. (2014). *Ekologicheskie aspektyi ispolzovaniya motornykh topliv (Obzor)*. *Energotehnologii i resursosberezhenie*, № 5-6, 35-44 [in Russian].
- 32.Antropchenko, A.K., Yakovlieva, A.V.&Khrutba, V.O.and al.(2016). *Comparative characteristics of environmental risks when using traditional and alternative fuels*. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu*, № 2, 3-12 [in Ukrainian].
- 33.Boichenko, S. V., Pavliukh, L. I. & Shkilniuk, I. O. and al. (2019). *Analysis of environmental properties of components of traditional and alternative aviation petrols*. *Naukoiemni tekhnolohii*, № 2, 195-206 [in Ukrainian].
- 34.Boichenko, S. V., Khrutba, V. O. & Yakovlieva, A. V. and al. (2016). *Identification of risks arising from the use of traditional and alternative aviation fuels: environmental risk*. *Naukoiemni tekhnolohii*, № 1, 116-122 [in Ukrainian].
- 35.Boichenko, S. V., Kukharenek, H. M. & Hershman, D. H. and al. (2018). *Influence of fuel composition and properties on engine operation*. *Energotehnologii i resursosberezhenie*, № 3, 11-16 [in Russian].
- 36.Krainiuk, O.V. , Buts,Iu.V. & Barbashyn V.V. (2019). *Quality control of motor fuels to ensure compliance with safety requirements*. *Visnyk KhNADU*, №86, 80–89 [in Ukrainian].
- 37.Hryhoriev, A. O., Kyselov, V. P. & Kyselov Yu. V. (2002). *An alternative method for determining the detonation stability of motor fuels*. *Visti Akademii inzhenernykh nauk Ukrainy*, № 3(16), 79–82 [in Ukrainian].
- 38.Yakovlieva, A.V., Boichenko, S.V. & Shkilniuk, I.O. (2016). *Introduction of harmonised technical requirements for the quality of aviation petrol and jet fuel*. *Enerhotekhnolohii ta resursozberezhennia*, № 1, 23–31 [in Ukrainian].
- 39.Sergii Boichenko, Iryna Shkilniuk. Cause-and-effect analysis of microbiological contamination of motor fuels and prospects for the rational use of biodegradation in the processes of recycling waste from the techno sphere // Development of scientific, technological and innovation space in Ukraine and EU countries. – 3rd ed. – Riga, Latvia: “Baltija Publishing”, 2021. – 416 p. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-151-0-31>

Надійшла: 18.04.2023

Received: 18.04.2023