

УДК 665.753(045)  
UDC 665.753(045)

## ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВИЙ АНАЛІЗ МОДИФІКАЦІЇ СКЛАДУ АВІАЦІЙНИХ БЕНЗИНІВ

Бойченко С.В., доктор технічних наук, Національний авіаційний університет, Київ, Україна  
Личманенко О.Г., аспірант, Національний авіаційний університет, Київ, Україна

### CAUSAL ANALYSIS MODIFYING THE COMPOSITION OF AVIATION FUEL

Boichenko S.V., Doctor of Technical Science, National Aviation University, Kyiv, Ukraine  
Lychmanenko O.G., Postgraduate, National Aviation University, Kyiv, Ukraine

## ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ МОДИФИКАЦИИ СОСТАВА АВИАЦИОННЫХ БЕНЗИНОВ

Бойченко С.В., доктор технических наук, Национальный авиационный университет, Киев, Украина  
Личманенко О.Г., аспирант, Национальный авиационный университет, Киев, Украина

### Вступ

Споживаючи лише 3% видобутих енергетичних ресурсів авіація завдає значних збитків навколишньому середовищу.

Велика частка газів  $\text{CO}_2$  що містяться в авіаційній емісії зберігається в атмосфері, не поглинаючись повністю океанами і біосферою Землі. До складу емісії входять хімічно активні азотовмісні продукти ( $\text{NO}_x$ ), котрі викликають зменшення вмісту метану ( $\text{CH}_4$ ) і збільшення кількості озону ( $\text{O}_3$ ) внаслідок процесів що відбуваються в атмосфері. В результаті спільного впливу емісії водяної пари, вуглеводню ( $\text{HC}$ ), оксидів сірки ( $\text{SO}_x$ ) і сажі утворюються і накопичуються в атмосфері дрібні частинки, відбувається утворення інверсійних слідів і зміна фону хмарності. Утворення метану ( $\text{CH}_4$ ) та сульфатного аерозолю веде до охолодження клімату, іншої емісії ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_3$ , інверсійні сліди, хмарність, сажа) викликають потепління клімату [1].

У зв'язку зі збільшенням повітряних перевезень важливого значення набуває підвищення паливної ефективності та зменшення емісії літальних апаратів (ЛА). На сьогодні нафтове паливо як і раніше залишається домінуючим. При великих об'ємах споживання високоякісних нафтопродуктів питання підвищення ефективності та екологічності авіаційної техніки, зокрема, з поршневыми двигунами, економії та раціонального використання авіаційних палив набувають першочергового значення.

Як і автомобільні бензини, авіаційні являють собою суміш компонентів, одержуваних різними технологічними процесами [2]. Базовими фракціями авіабензинів є: бензин прямої перегонки нафти, бензин каталітичного реформінга, бензин каталітичного крекінга. Основні високооктанові компоненти – алкілат, технічний ізооктан, толуол, піробензол і алкілбензол, етилова рідина. До авіаційних бензинів висувають більш жорсткі вимоги щодо якості та умов їх застосування.

Дана стаття присвячена науково-прикладній проблемі створення реформульованого авіаційного бензину модифікацією складу додаванням композицій аліфатичних спиртів.

Значним недоліком відомих марок авіаційних бензинів є наявність у їх складі гарного антидетонатора, але дуже токсичної речовини – тетраетилсвинцю (ТЕС). Наприклад, для авіаційних поршневих двигунів, відповідно до ГОСТ 1012, передбачено виробництво авіаційних бензинів марок Б-95/130 і Б-91/115, що являють собою нафтові фракції, що википають у межах 40–180°C. Сьогодні відомі авіаційні бензини марок Б-92 (ТУ 38.401-58-47-92) та Б-70 (ТУ 38.101913-82) зі зниженою концентрацією ТЕС. У DEF STAN 91-90 Issue 3 відображені вимоги до AVGAS 100LL, AVGAS 100, AVGAS 80. Згідно ASTM D 6227 розроблено авіаційний бензин 82UL, що вже не містить ТЕС, однак його випробування ще не завершено. З аналізу цих документів нами складено порівняльну таблицю 1 по вмісту ТЕС у складі авіаційних бензинів [3]. З таблиці видно тенденцію зменшення вмісту ТЕС у складі авіаційних бензинів, але практично усі марки сьогодні вміщують токсичний ТЕС. Нами сформульовано гіпотезу – досягнути підвищення екологічності авіаційних бензинів можна модифікацією складу авіаційних бензинів оксигенатами, наприклад, аліфатичними спиртами, заміщаючи токсичний ТЕС.

До оксигенатів належать нижчі спирти та прості ефіри, що використовуються як високооктанові компоненти моторних палив. Їх виробляють з альтернативної паливам сировини: етанолу, метанолу та бутанолу, що переважно отримують з вугілля, рослинних продуктів та важких нафтових залишків. Використання аліфатичних спиртів розширює ресурсний потенціал палив та часто дозволяє покращити їх якість. Вони можуть бути основними паливами або використовуватися як добавки до палив нафтового походження. Такі палива характеризуються кращими миючими властивостями, кращим горінням, а також під час згорання утворюють менше оксиду вуглецю та вуглеводнів.

Рекомендована концентрація оксигенатів в бензинах становить 3-15% (об.) [4]. Вона вибирається з розрахунком, щоб вміст кисню в паливі не перевищував 2,7%. Пояснюється це тим, що така кількість оксигенатів, незважаючи на їх більш низьку в порівнянні з нафтовим бензином теплотворну здатність, не спричиняє негативного впливу на потужності характеристики двигунів.

Взагалі застосування спиртів як моторних палив та високооктанових добавок відомо з початку минулого століття, проте їх широке промислове застосування почалося лише в 80-90-ті роки ХХ століття [5].

Таблиця 1 - Вміст ТЕС в авіаційних бензинах

№ з/п	Марка авіабензину	Нормативний документ	Вміст антидетонатора	Найменування антидетонатора
1	2	3	4	5
1	Б-95/130	ГОСТ 1012-72	3,1 г/1 кг бензину, не більше	ТЕС
2	Б-91/115		2,5 г/1 кг бензину, не більше	
3	Б-92	ТУ 38.401-58-47-92	2,0 г/1 кг бензину, не більше	
4	Б-70	ТУ 38.101913-82	0	
5	Avgas 80	DEF STAN 91-90 Issue 3	0,14 г/л	
6	Avgas 100LL		0,56 г/л	
7	Avgas 100		0,85 г/л	
8	82UL	ASTM D6227	0	схожий на автомобільний бензин, але без автомобільних добавок
9	85UL	-	0	без кисневмісних добавок
10	91/96	-	практично не помітно	ТЕС
11	91/96UL	ASTM D7547	0	без етанолу, антиоксидантні та антистатичні добавки
12	100/130	-	1,12	ТЕС
13	G100UL	-	0	ароматичні сполуки, такі як ксилол
14	100SF	-	0	мезітілен
15	115/145 ("Avgas 115")	-	1,29	ТЕС

Сьогодні багато країн активно проводять програми впровадження біопалив, в основному через їх введення до складу традиційного нафтового палива. Сучасні вимоги Європейського Союзу (ЄС) згідно директиви ЄС 2009/28/ЄС ставлять такі завдання: до 2020 р. частка відновлювальної енергії у загальному балансі енергоспоживання має досягнути 20%, біопалива – як мінімум 10%.

Згідно прогнозів експертів [6], до 2050 р. авіап перевезення спричинятимуть до 20 % шкідливих викидів у всьому світі, а емісія продуктів згорання у верхніх шарах атмосфери вкрай шкідливі. Для вирішення поставлених завдань за кордоном інтенсивно ведуться роботи по зниженню витрати палива автомобілями та розвитку автомобільних технологій, що забезпечують роботу двигуна на паливах з високим вмістом біокомпонентів: біоетанолу, біодизелю та ін.

На сьогодні Міжнародна організація цивільної авіації (ICAO) визначила 300 ініціатив щодо виробництва та використання альтернативних видів палива. На сьогодні створено 5 великих

консорціумів, що працюють у сфері альтернативних видів палива для авіації. Світова тенденція свідчить, що комерційні рейси, що використовують альтернативні види палива, вже не є тільки концепцією.

Згідно Угоди про екологічну політику, що була укладена на 38-й Асамблеї ІКАО (2013 р.), передбачено розроблення загальносвітових ринкових інструментів, що дозволять зменшити до мінімуму викиди CO<sub>2</sub> в атмосферу з 2020 р. Одним із пріоритетних інструментів у вирішенні цього завдання є використання альтернативних палив, що має до 2050 р. зменшити об’єм викидів CO<sub>2</sub> на 50% (порівняно з 2005 р.). А в планах Міжнародної асоціації повітряного транспорту (ІАТА) – зменшення емісії CO<sub>2</sub> на 30% до 2025 р.

Повноважні органи щодо льотної придатності цивільної авіації визначають безпеку експлуатації ЛА на підставі специфікацій на авіаційне паливо.

#### Постановка проблеми

Дослідження з використання аліфатичних спиртів як добавок до авіаційних бензинів для покращення фізико-хімічних, експлуатаційних і екологічних властивостей ведуться по усьому світу та підтверджують перспективність модифікування традиційних палив оксигенатами (насамперед, біометанолом, біоетанолом та біобутанолом).

Гіпотеза: досягнути підвищення екологічності авіаційних бензинів можна модифікацією складу авіаційних бензинів аліфатичними спиртами, заміщаючи токсичний ТЕС.

**Мета:** обґрунтування перспектив заміщення ТЕС оксигенатними добавками у складі авіаційних бензинів.

**Об’єкт дослідження:** модифікування складу авіаційних бензинів добавками аліфатичних спиртів.

**Предмет дослідження:** фізико-хімічні властивості авіаційних бензинів і перспективи заміни ТЕС комплексом оксигенатів.

#### Аналіз досліджень і публікацій

Аналіз існуючої літератури призводить до висновку, що додавання аліфатичних спиртів до складу палив змінює їх властивості [5-8, 10-18]. Нами було проведено порівняння фізико-хімічних властивостей та складено їх порівняльну характеристику для різних компонентів авіаційних бензинів.

Таблиця 2 - Характеристика фізико-хімічних властивостей спиртів та авіаційних бензинів [8]

Найменування показника	Авіаційний бензин марки 100 LL	Авіаційний бензин марки Б91/115	82 UL	Метанол	Етанол	Бутанол
Густина 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	визначається	не нормується	не нормується	792	789,3	810
Температура кипіння, °С	75-170	40-180	-	64,5	78,4	117,5
Температура застигання, °С	мінус 58°С	мінус 60°С	мінус 58	мінус 98	мінус 114,1	мінус 90,2
Масова доля кисню, %	-	-	-	50	34,7	21,6
Теплота випаровування, кДж/кг	не нормується	не нормується	не нормується	1115	839,3	591,2
Теплота згорання, кДж/кг	43500	42947	40800	24000	26945	35520
Тиск насиченої пари, кПа	38-49	29,3-47,9	-	-	17	8,4
Розчинність у воді за температури 20°С, %	не розчиняється	не розчиняється	не розчиняється	необмежено	необмежено	7,9
Октанове число, виміряне: - дослідницьким методом - моторним методом	не визначається	не визначається	не визначається	111	108	99,6
	99,5	91	82	94	92	94
Кінематична в’язкість за температури 20°С	не визначається	не визначається	не визначається	-	1,52 сСт	3,64 сСт
Вміст ТЕС	0,56 г/л	2,5 г/кг	0	-	-	-
Гранична норма вмісту в бензині згідно EN 228:2000	-	-	-	3%	5%	7 – 10%

Аналізуючи дані таблиці 2 приходимо до висновку, що теплоти згорання етанолу, метанолу та бутанолу істотно нижчі за теплоти згорання авіаційних бензинів, що спричиняє підвищення витрат палива під час використання даних спиртів. Однак вміст кисню у складі оксигенатів, призводить до більш високої повноти згорання палива, тому різниця в теплоті згорання стає не настільки відчутною.

За умови використання спиртів знижується емісія продуктів неповного згорання палив, зменшується утворення сажі. Однак водночас зростають викиди у довкілля альдегідів (як продукту неповного окиснення спиртів), можливе також збільшення емісії оксидів азоту. Крім того, спирти гігроскопічні, мають низькі мастильні властивості, корозійно-агресивні, негативно впливають на конструкційні матеріали.

Основним недоліком бензиново-спиртових палив є їх фазова нестабільність, обумовлена наявністю в них навіть невеликих кількостей води і, як наслідок, обмеженою взаємною розчинністю компонентів. Введенням в спиртові палива відповідних модифікаторів і стабілізаторів вдається подолати виникаючі труднощі. Для забезпечення стабільності спиртовмісних бензинів при виробництві, зберіганні і використанні необхідно: запобігати потраплянню в них води; використовувати стабілізуючі добавки або співрозчинники, гомогенізуючи систему бензин-вода-спирт. Рекомендується додавати спирт до бензину безпосередньо перед заправкою автомобіля [4].

Як стабілізатори бензино-спиртових сумішей пропонується використовувати: аліфатичні спирти С3-С12 нормальної і розгалуженої будови, феноли, алкілацетати, прості і складні ефіри та їх металоорганічні похідні, кетони, аміни, ПАВ, а також гліколи та їх ефіри, альдегіди, кетали, ацетали, алкілкарбонати, карбонові кислоти та суміші зазначених сполук.

Світовими центрами виробництва біопалива в 2012 році були США, Бразилія та Європейський Союз. Наприклад, у 2010 році вони зконцентрували 85 % світового виробництва біологічного палива, лише на США припадає 48 % виробництва світового біопалива.

Найбільш поширений вид біопалива – біоетанол, його частка складає 82% всього виробленого в світі палива з біологічної сировини [5]. Провідними його виробниками є США та Бразилія.

Компанією Environmental Energy на території США створена експериментальна установка по виробництву біобутанолу, на якій, по заявкам спеціалістів компанії, біобутанол можна отримувати зі всього, що росте на земному шарі.

За підрахунками [9] в світі налічується близько 90 заводів з виробництва метанолу. І лише 5 перспективних проєктів з виробництва біометанолу, серед них BioMCN (Нідерланди, Європа), Smithfield Foods (Юта, США), North Shore Energy Technologies (в перспективі, США), Norin Green (в перспективі, Японія), Atlantic Biomass (в перспективі, США).

Таблиця 3 - Економічні показники альтернативних видів палив для бензинових двигунів

Вид палива	Затрати на виробництво,	Вартість одиниці пробігу,
	%	%
Бензин нафтовий	100	100
Етанол	120	170
Метанол	110	120
Бутанол	130	175

На території України майже не розвинена інфраструктура з виробництва біопалив, хоча технічних та сировинних перешкод цьому немає. Розроблена велика кількість технологій впровадження виробництва: біоетанолу та біобутанолу на українських спиртозаводах, зокрема останнього в Обухівському комбінаті кормових добавок (Ладжинський АО"Фермент").

Закордонні патенти містять інформацію про створення авіаційних палив. Зокрема у патенті US 7559961 B2 представлено композиційні альтернативні авіабензини, що утворюють суміші вуглеводневих спиртів. В US 0011765 A1 використовуються компоненти, добути з біомаси, але вони повинні бути виділені з неї у вигляді чистих хімічних речовин. Крім того, у даному патенті заявлено, що вміст води в паливі не повинен перевищувати 2%. Якщо кількість води буде більшою, то відбудеться розшарування палива, що є неприйнятним. Крім того, використовуються аміни, що є досить дорогими хімічними компонентами, виробництво яких в Україні поки що не налагоджене. У патенті US 7553404 B2 у сумішах використовується 60% традиційного бензину, бутан, ізопентан, циклогексан. Загалом наведено 93 сумішеві композиційні палива. Проте усі вони є високовартісними, а тому не можуть бути використані з економічних причин [8].

Оскільки на сьогодні досить широко висвітлено використання аліфатичних спиртів – метанолу, етанолу та бутанолу як добавок до автомобільних бензинів, тому подалі нами для аналізу

перспективи модифікування авіаційних бензинів через використання цих оксигенатів було детально проаналізовано властивості і перспективи використання спиртів у складі авіаційних бензинів.

#### Метанол

Метанол являє собою спирт з 1 атомом вуглецю ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ). Метанол є одним із перспективних видів палива, оскільки має високе значення октанового числа [7]. Як добавки до бензинів метанол використовують нечасто [4]. Як моторне паливо використовується, в основному, суміш М85 (85% метанолу і 15% вуглеводнів), а також чистий метанол М100 (100% метанолу) [10]. В усіх випадках він дає змогу знизити токсичність вихлопних газів двигуна. Застосування стовідсоткового метанолу обмежується через його високу токсичність і корозійну агресивність щодо конструкційних матеріалів, що призводить до зниження строку експлуатації деталей двигуна та погіршенню якості пального, підвищується ризик збільшення емісії летких органічних речовин, що можуть привести до зменшення концентрації озону. Для метанолу характерні викиди формальдегіду, в той час як під час згоряння етанолу утворюється переважно ацетальдегід [11].

При використанні метанолу ККД двигуна підвищується на 5-15% у порівнянні з бензином. Це пов'язано з високою температурою випаровування метанолу, що сприяє зниженню температури суміші і збільшенню маси паливо-повітряного заряду, зменшенню тепловідведення в циліндрах двигуна і температури відпрацьованих газів, потужність не знижується.

Однією з найбільш серйозних проблем, що ускладнюють застосування добавок метанолу, є його токсичність, погана розчинність у вуглеводнях та висока гігроскопічність. Схильність до розшарування підвищується з пониженням температури, збільшенням концентрації води і зменшенням вмісту ароматичних сполук у бензині. Для стабілізації бензино-метанольних сумішей використовують присадки: пропанол, ізопропанол, ізобутанол та інші спирти. До складу бензину можна вводити близько 5 % (об.) метанолу; при цьому бензинометанольна суміш (ВМС) залишається гомогенною [4].

Експлуатаційні властивості, енергетичні показники і пускові якості, метанольного палива, поліпшуються при додатковому введенні вищих спиртів і ефірів. Такі палива отримали назву змішаних спиртових палив. Випробування однієї з композицій сумішевого палива показали збільшення потужності двигуна на 4-7% та покращення паливної економічності (в порівнянні з чистим спиртом) на 10-15%, при цьому вміст у відпрацьованих газах оксидів азоту знижується на 25-30% в порівнянні з роботою на бензині [4].

Велика зацікавленість в використанні метанолу, як палива спостерігається в країнах, що мають власні ресурси кам'яного вугілля і недостатні ресурси нафти. Метанол можна виготовляти з природного газу, вугілля, біомаси.

#### Етанол

Значно більший інтерес як добавка до палив має етанол, оскільки він краще розчиняється в вуглеводнях та менш гігроскопічний. Молекула етанолу складається з 2 атомів вуглецю –  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ .

Широко відомо застосування «газоходу», що представляє собою суміш бензину з 10–20% етанолу, в США та Бразилії, що мають значні ресурси спирту отриманого з цукрової тростини. У Швеції запроваджена програма відмови від нафти до 2020 року. Загалом використання етанолу як палива більш цікаве країнам багатим на рослинні ресурси, зокрема Україні.

Нафтові бензини виступають найбільшим джерелом штучних канцерогенних речовин. Зокрема, головною екологічною перевагою використання біоетанолу в складі сумішевих бензинів є можливість виключення застосування високотоксичних металовмісних антидетонаційних присадок та метилтретбутилового етеру (МТБЕ). Завдяки додаванню навіть 10 % етанолу бензин збагачується киснем, що сприяє більш повному згорянню і зменшенню викидів оксиду вуглецю на 30 %. Також спостерігається зменшення викидів токсичних речовин на 30 % та викидів летких органічних сполук – більш ніж на 25 %. Використання суміші бензину і етанолу, Е10, дозволено усіма великими виробниками автомобілів, при цьому покращується робота двигуна, шляхом додавання 2-3 октанових одиниць до детонаційної стійкості палива, запобігає перегріву двигуна, виконує функцію антифризу паливної системи і не викликає забруднення паливних інжекторів. [12]

Однак при використанні біоетанолу виникає низка специфічних питань. Оскільки біоетанол за своїми фізико-хімічними властивостями суттєво відрізняється від бензину (має високе октанове число на рівні 92 од. за моторним методом, нижчу теплоту згоряння, але більшу детонаційну стійкість та корозійність, при концентрації більше 12% може негативно вплинути на роботу двигуна).

Потенціал щорічного виробництва біоетанолу за наявною сировинною базою (меляса, кукурудза, зернові культури, цукрове сорго) згідно з оцінкою фахівців концерну «Укрспирт» сягає 2 млн. тонн, що дозволить в перспективі замінити до 40 % обсягів бензину, що споживають в Україні.

Євросоюз у своїх офіційних документах розглядає Україну як потенційного експортера біоетанолу до країн Європи [12].

Значення ККД спиртового двигуна вище бензинового у всьому діапазоні робочих сумішей, завдяки чому питома витрата енергії на одиницю потужності знижується. Загальна ефективність палива поступово зростає зі збільшенням відсоткового вмісту етанолу в паливі [13].

В реальних умовах неминуче потрапляння води в бензино-спиртове паливо в процесі зберігання, транспортування та експлуатації, що призводить до фазового розділення. Дана проблема бензино-спиртових сумішей не зникає і при використанні абсолютованих етилових спиртів. Як стабілізатори пропонується використання фурилкарбінолу [15].

На сьогодні авторами [15] розроблено рецептуру палива моторного біологічного Е-85 (ТУ У 24.6 – 35523958 – 001:2009 «Паливо моторне біологічне. Технічні умови»), що відповідає екологічним та експлуатаційним вимогам до моторного палива для сучасних автомобілів та враховує сировинну базу України.

Бутанол

Окрім метанолу та етанолу сімейство перспективних аліфатичних спиртів складають пропанол (3 атоми вуглецю –  $C_3H_7OH$ ) та бутанол (4 атоми вуглецю –  $C_4H_9OH$ ) [16].

Використання біобутанолу – це наступний значний етап розвитку біопалив, застосування якого має задовольнити зростаючі потреби в екологічно безпечному, поновлюваному транспортному паливі [17]. Бутанол представляє собою спирт (безбарвна рідина з характерним запахом сивушного масла). Термін «біобутанол» застосовують до бутилового спирту (бутанол), що отримують з рослинної сировини.

Оскільки бутанол не володіє корозійними властивостями, він може транспортуватись по існуючій інфраструктурі [16].

Бутанол виділяє чистої енергії на робочий цикл більше, ніж етанол або метанол, і приблизно на 10% більше, ніж бензин. У даний час одержуваний з зерна бутанол привертає все більшу увагу фахівців для застосування його в якості палива, у зв'язку з впровадженням нових високоекономічних технологій виробництва біобутанолу. Тому не виключено, що в найближчі 10-15 років етанол втратить пальму першості. Успіх обумовлюється низкою переваг бутанола перед етанолом, серед них:

- Бутанол містить на 25% більше енергії, ніж етанол: 110 тис. ВТУ на галон бутанола проти 84 тис. ВТУ на галон етанолу. Бензин же містить близько 115 тис. ВТУ на галон;

- Бутанол - набагато менш агресивна речовина, ніж етанол, тому може транспортуватись по існуючим паливним трубопроводах, тоді як етанол повинен транспортуватись залізничним або водним транспортом;

- Бутанол можна змішувати з бензином;

- Бутанол може повністю замінювати бензин, тоді як етанол може використовуватись тільки як добавка до бензину з максимальним вмістом в суміші не більше 85% і тільки після істотних переробок двигуна. В даний час в світі переважають суміші з 10% вмістом етанолу;

- Змінений бутанол має більш високий вихід енергії (10 Вт-ч / г), ніж етанол (8 Вт-ч / г);

- При горінні бутанол не виробляє окислів сірки або азоту, що дає суттєву перевагу з точки зору екології.

Біобутанол поліпшує паливну ефективність автомобіля і збільшує пробіг на одиницю палива що витрачається [16]. Біобутанол отримують з тієї ж сировини - кукурудзи, цукрових буряків, сорго, маніоки, цукрового очерету, кукурудзяних стебел та іншої біомаси, що і етанол, але він може замінювати бензин в рівному обсязі.

Біобутанол забезпечує значні екологічні переваги в порівнянні з паливом на нафтовій основі, включаючи більш низький рівень викидів парникових газів у навколишнє середовище. Біобутанол дозволить також стримувати і, можливо, знизити рівень вихлопів вуглекислого газу в атмосферу. [16]

На сьогодні біобутанол може додаватися до складу бензину у концентрації до 10% в Європі і до 11,5% у США без модифікації двигуна. У майбутньому є потенціал для збільшення максимально допустимого використання біобутанолу в бензині до 16% за об'ємом.

У присутності води суміш, що містить біобутанол, меншою мірою схильна до розшарування, ніж суміші етанол/бензину, і тому це дозволяє використовувати існуючу інфраструктуру дистрибуції, не вимагаючи модифікацій установок для змішування, сховищ або заправок.

Згідно досліджень [18], була визначена відносна лімітна вартість біобутанолу, що становить 0,73 від вартості МТБЕ і 0,8 від вартості біоетанолу. Отримані значення є орієнтирами при оцінці конкурентоспроможності біобутанолу в якості високооктанового компонента автомобільних бензинів.

До основних переваг біобутанолу, можна віднести велику теплоту згорання щодо біоетанолу, що дозволяє використовувати його в більш високій концентрації в бензинах. Крім того, його можна отримувати з нехарчової рослинної сировини, що є ефективним способом утилізації відходів сільського господарства та лісопереробної промисловості.

Бутанол безпечніший у використанні, оскільки в шість разів менше випаровується, ніж етанол і в 13,5 разів менш леткий, ніж бензин. Пружність парів бутанолу за Рейдом становить 2,3 кПа, у бензину це 31 кПа, у етанолу – 14 кПа. Це робить бутанол більш безпечним при використанні як оксигенату і не вимагає особливих змін пропорцій суміші при використанні взимку і влітку. Зараз він використовується як оксигенат в штатах Арізона, Каліфорнія та ін.

Бутанол може замінити бензин як паливо більшою мірою, ніж етанол, завдяки своїм фізичним властивостям, економічності, безпеці, а також через те, що його використання не вимагає переробок двигуна автомобіля. Основною причиною, за якою до недавнього часу ніхто не знав про бутанол як про альтернативне паливо, є те, що виробництво цього продукту ніколи не вважалося економічно доцільним [16].

На підставі вищенаведеного аналізу та аргументів нами було складено інтегровану порівняльну характеристику фізико-хімічних та екологічних властивостей спиртів – табл. 5.

Таблиця 5 - Порівняльні фізико-хімічні та екологічні властивості спиртів

Спирт	Властивості
Метанол	<ul style="list-style-type: none"> <li>- найбільше октанове число;</li> <li>- покращення паливної економічності на 10-15%;</li> <li>- ККД двигуна підвищується на 5-15% у порівнянні з бензином;</li> <li>- висока токсичність і агресивність щодо конструкційних матеріалів;</li> <li>- вміст у відпрацьованих газах оксидів азоту знижується на 25-30% в порівнянні з роботою на бензині.</li> </ul>
Етанол	<ul style="list-style-type: none"> <li>- октанове число істотно вище, ніж бензину;</li> <li>- розшарування при наявності води;</li> <li>- необхідна модифікація двигуна при збільшенні вмісту;</li> <li>- низька теплота згорання - пара етанолу розсіюється швидше, ніж пара бензину;</li> <li>- менш токсичний, ніж бензин, не містить канцерогенних компонентів;</li> <li>- пара етанолу менш вогнебезпечна, ніж пара бензину через вищу температуру самозаймання;</li> <li>- електропровідність значно вища, ніж у бензину, що знижує небезпеку накопичення статичної електрики під час руху палива, у тому числі і в паливній системі.</li> </ul>
Бутанол	<ul style="list-style-type: none"> <li>- октанове число вище, ніж бензину;</li> <li>- енергоємність бутанолу близька до енергоємності бензину;</li> <li>- суміш не розшаровується в присутності води;</li> <li>- легко змішується зі звичайним бензином;</li> <li>- не вимагає модифікації двигуна, може повністю замінити бензин;</li> <li>- не володіє корозійними властивостями;</li> <li>- низький тиск парів біобутанолу не повинен призводити до появи високих рівнів емісії легких органічних сполук.</li> </ul>

### Висновки

У результаті аналізу літературних джерел встановлено, що до теперішнього часу в області отримання та регулювання властивостей спиртовмісних авіаційних бензинів проведено великий обсяг наукових досліджень. Зокрема в США створено авіаційні бензини без вмісту ТЕС, що випускаються згідно стандарту ASTM D 6227, але їх випробування ще повністю не завершені.

Заміна автомобільними бензинами авіаційних в існуючому авіаційному парку поршневої авіації України є неприпустимою, оскільки автомобільний бензин не відповідає вимогам, які висувають до авіаційних палив.

На сьогодні розробляються авіаційні бензини з вмістом етанолу. Оскільки він є наймасовішим продуктом серед аліфатичних спиртів. Етанол найбільше підходить для застосування на практиці за рахунок великого обсягу виробництва і низької токсичності. У порівнянні з метанолом він є менш корозійно агресивним та гігроскопічним, краще розчиняється у вуглеводнях. Завдяки етанолу бензин збагачується киснем та сприяє більш повному згорянню палива.

Сьогодні одним з найбільш перспективних добавок аліфатичних спиртів виступає біобутанол.

Оскільки в ході аналізу літератури було встановлено, що він є найменш агресивним до конструкційних деталей двигуна, володіє найбільшою стабілізаційною дією по відношенню до спирто-бензинових сумішей, має октанопідвищуючі властивості та дозволяє зменшити кількість токсичних викидів.

На відміну від існуючих біопалив, біобутанол потенційно може бути транспортований по трубопроводах; тобто він може бути швидко доданий до бензину, і це дозволить уникнути потреби в будівництві великомасштабної інфраструктури поставки.

Існуючі потужності з виробництва етанолу можуть бути рентабельно модернізовані під виробництво біобутанолу (необхідні зміни процесів ферментації та дистиляції).

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Non-CO2 multipliers and aviation climate impact. / THE ICAO JOURNAL. – 2009. – VOLUME 64 NUMBER 1. – P. 23-24.

2. Хіммотологія [Електронний ресурс]: Навчальний посібник / С.В. Бойченко, В.І. Терьохін, В.Ф. Новіков та ін. – За ред. Член-кореспондента НАН України О.Ф. Аксьонова. – Київ: НАУ 20 ... - 1 (CD-ROM).

3. Avgas [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://en.wikipedia.org/wiki/Avgas..>

4. Данилов А.М. Применение присадок в топливах для автомобилей: Справ. изд. / А.М. Данилов. – М.: Химия, 2000. – 232 с.: ил.

5. Асяев А.Н. Исследование влияния качества спирта и состава углеводородной фракции на физико-химические и эксплуатационные показатели биоэтанольного топлива E85 / А.Н. Асяев, В.Е. Емельянов, Е.А. Никитина // Технологии Нефти и Газа. – 2010. – № 4. – С. 24-27.

6. Бондаренко К.В. Перспективи впровадження альтернативного палива в авіації / К.В. Бондаренко, С.В. Бойченко, В.Г. Семенов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2011. – №9(86).–С. 76-80.

7. Онойченко С.М. Розробка і дослідження композицій неетилованих бензинів, що містять етанол: дис. ... канд. техн. наук.: 05.17.07/ Онойченко Світлана Миколаївна. – М.: 2000. – 168 с.

8. Вдовін В.С. Модифікування складу авіаційних бензинів додаванням аліфатичних спиртів: літературний огляд / В.С. Вдовін, К.В. Бондаренко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2014. – № 64. – С. 164-171.

9. Маркетинговое исследование рынка биометанола и его производных : [аналит. отчет / Research. Techart]. – М.: 2008. – 22 с.

10. Лютко В., Луканин В.Н., Хачиян А.С., Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. – М.: МАДИ(ТУ), 2000. – 311 с.

11. Применение алифатических спиртов в качестве экологически чистых добавок в автомобильные / С.А. Карпов, Л.Х. Кунашев [и др.] // Нефтегазовое Дело. – 2006. – № 2. – Режим доступа к журналу: <http://ogbus.ru/>

12. Аблаев А.Р. Биотопливо: мышление за пределами нефтяной трубы / А.Р. Аблаев // Эколог. вестн. России. – 2009. – № 2. – С. 23-26.

13. Експлуатаційні властивості альтернативних моторних палив на основі оксигенатів / Полункін Е.В., Каменева Т.М., Пилявський В.С. і др. // Катализ и нефтехимия. – 2012. – № 20. – С. 70-74.

14. Експлуатаційні властивості альтернативних моторних палив на основі оксигенатів / В.С. Пилявський, О.О. Гайдай, К.О. Кирпач, та ін. // Катализ и нефтехимия. – 2012. – №21. – С. 162-166.

15. Гайдай О.О. Екологічні та експлуатаційні характеристики палива моторного біологічного Е-85 [Електронний ресурс] / [Гайдай О.О., Зубенко С.О., Полункін Є.В., Пилявський В.С.] // Збірник наукових статей “III-го Всеукраїнського з’їзду екологів з міжнародною участю”. – Вінниця, 2011. – Том.1. – С.308-310. Режим доступу: <http://eco.com.ua/>

16. Иманкулов Н.Н. Биобутанол - альтернативная замена моторного топлива / Н.Н. Иманкулов // Научный вестник южного региона. – 2010. – № 5 – 6 (35 – 36). – С. 3-7.

17. Внукова Н. В. Альтернативне паливо як основа ресурсозбереження і екобезпеки автотранспорту / Н. В. Внукова, М. В. Барун // Альтернативные источники энергии. – 2011. – №9 (91) – С. 45-55.

18. Ершов М. А. Исследование биобутанола в качестве высокооктанового компонента автомобильных бензинов : автореф. дис. на соискание ученой степени кан. тех. наук: спец. 05.17.07, «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ» / М.А. Ершов. – М., 2012. – 27 с.



## REFERENCES

1. THE ICAO JOURNAL, 2009, Non-CO2 multipliers and aviation climate impact VOLUME 64, NUMBER 1.
2. Boychenko S. Himmotologiya [Electron resource]: Navchalny posibnik / S.V. Boychenko, V.I. Teriokhin, V.F. Novikov and other. - Kyiv: NAU 2008. - 1 e. wholesale. drive. (CD-ROM).
3. Avgas [electronic resource]: according to Wikipedia - the free encyclopedia. Access to article: <http://en.wikipedia.org/wiki/Avgas>.
4. Danilov A.M. Application additives in fuel for cars. M.: Chemistry, 2000 - 232 p.
5. Asyaev A.N. Investigation of the influence of alcohol and the quality of the hydrocarbon fraction of the physico-chemical and operational performance of bio-ethanol E85 fuel / A.N. Aseyev, V.E. Emelyanov, E.A. Nikitina // Tehnologii nefti I gaza. - 2010. - № 4. - P. 24-27.
6. Bondarenko K. Perspectives for the introduction of alternative fuels in aviation / K.V. Bondarenko, S.V. Boychenko, V.G. Semenov // Aviacionno-kosmicheskaya tehnika i tehnologii. - 2011. - № 9 (86). - P. 76 - 80.
7. Onoychenko S.M. Research and development tracks unleaded petrol containing ethanol: diss. ... Candidate Sc. Science.: 05.17.07 / Onoychenko Svetlana. - M.: 2000 - 168 p.
8. Vdovin V.S. Modification aviation gasoline composition by adding aliphatic alcohols: literature review / V.S. Vdovin, K.V. Bondarenko // Otkrutie informacionnie I komputernie integrirovanie tehnologii. - 2014. - №64, - P. 164 - 171.
9. Market research in bio-ethanol and its derivatives: [analytical report / Research. Techart]. - M. : 2008 - 22 p.
10. Lotko V., Lukanin V.N., Khachian A.S. Use of alternative fuels in internal combustion engines. - M.: MADI, 2000. - 311 p.
11. The use of aliphatic alcohols as environmentally friendly additives in automotive / S.A. Karpov, L.H. Kunashev et al. // Naftogazovoe delo. - 2006. - № 2. - Access to the magazine: <http://ogbus.ru/>
12. Ablaev A.P. Biofuels: Thinking outside the oil pipe / A.P. Ablaev // Ekologichnii Vestnik Rossii. - 2009. - № 2. - P. 23-26.
13. Operational properties of alternative motor fuels based oxygenates / E.V. Polunkyn, T.N. Kamenev, V.S. Pylyavskyy et al. // Kataliz i neftehimiya. - 2012. - № 20. - S. 70 - 74.
14. Operational properties of alternative motor fuels based oxygenates / V.S. Pylyavskyy, A.A. Gaidai, K.O. Kyrpach et al. // Kataliz i neftehimiya. - 2012. - №21. - S. 162 - 166.
15. Gaidai O.O. The environmental performance and fuel motor biological E-85 [electronic resource] / [O.O. Gaidai, S.O. Zubenko, E.V. Polunkin, V.S. Pylyavskyy] // Collected articles "Third Ukrainian Congress ecologists with International Participation". - Vinnitsa, 2011. - Tom.1. - P. 308-310. Access: <http://eco.com.ua/>
16. Imankulov N.N. Bioethanol - alternative motor fuel replacement / N.N. Imankulov // Nauchnii vestnik uznogo regiona. - 2010. - № 5 - 6 (35 - 36). - P. 3 - 7.
17. Vnukova N.V. Alternative fuels as a basis for resource and environmental safety of vehicles / N.V. Vnukova, M.V. Barun // Alternativnie istochniki energii. - 2011. - №9 (91) - P. 45 - 55.
18. Ershov M.A. Research of bioethanol as a high-octane gasoline component: avtopeferat thesis for the degree of candidate of technical sciences specialty: 05.17.07, "Chemical technology of fuel and high-energy substances" / M.A. Ershov. - M., 2012. - 27 p.

## РЕФЕРАТ

С.В. Бойченко. Причинно-наслідковий аналіз модифікації складу авіаційних бензинів / Бойченко С.В., Личманенко О.Г. // Вісник Національного транспортного університету. Серія “Технічні науки”. Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2015. - Вип. 2 (32).

В зв'язку зі збільшенням повітряних перевезень важливого значення набуває підвищення паливної ефективності літальних апаратів. На сьогодні нафтове паливо як і раніше залишається основним. При великих об'ємах споживання високоякісних традиційних палив питання підвищення ефективності авіаційної техніки, економії та раціонального використання авіаційних палив набуває державного значення.

Дана стаття присвячена науково-прикладній проблемі створення реформульованого авіаційного бензину шляхом модифікації складу традиційних нафтових палив додаванням

аліфатичних спиртів. Оскільки використання метанолу, етанолу та бутанолу розширює ресурсний потенціал палив та часто дозволяє покращити їх якість. Вони можуть бути основним паливом або використовуватися як добавки до палив нафтового походження. Композиційні палива характеризуються кращими миючими властивостями, кращим горінням, а також під час згорання утворюють менше оксиду вуглецю та вуглеводнів.

Розглянуто вплив аліфатичних спиртів на експлуатаційні, фізико-хімічні та екологічні властивості традиційних авіаційних нафтових палив. Проаналізовано дослідження з використанням етилового, метилового та бутилового спиртів при роботі автомобільних паливних систем на композиційних та чистих альтернативних паливах як аналогів впровадження в авіації. Підтверджено, що додавання аліфатичних спиртів до традиційних авіаційних палив дозволить знизити шкідливі викиди у верхніх шарах атмосфери.

Мета: обґрунтування перспектив заміщення тетраетилсвинцю оксигенатними добавками у складі авіаційних бензинів.

Об'єкт дослідження: модифікування складу авіаційних бензинів добавками аліфатичних спиртів.

Предмет дослідження: фізико-хімічні властивості авіаційних бензинів і перспективи заміни тетраетилсвинцю комплексом оксигенатів.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** АВІАЦІЙНЕ ПАЛИВА, ТЕТРАЕТИЛСВИНЕЦЬ, АЛІФАТИЧНІ СПИРТИ, АЛЬТЕРНАТИВНІ ПАЛИВА, ЕТАНОЛ, МЕТАНОЛ, БУТАНОЛ

### ABSTRACT

Boichenko S.V., Lychmanenko O.G. Causal analysis modifying the composition of aviation fuel. Visnyk National Transport University. Series "Technical sciences". Scientific and Technical Collection. - Kyiv. National Transport University, 2015. - Issue 2 (32).

In connection with the increase in air traffic becomes important improve the fuel efficiency of aircraft. Today oil fuel is still basic. When the large volumes of high consumption of traditional fuels the question of aviation engineering efficiency, economy and rational use of aviation fuels acquires national importance.

The article is devoted scientific-applied problems of alternative aviation gasoline by modifying the composition of traditional oil fuels adding of aliphatic alcohols. As the use of methanol, ethanol and butanol fuel expands the resource potential and can often improve their quality. They may be the basic fuel or used as an additive for fuel petroleum. Composite fuels characterized by the best cleaning properties, better burning and combustion in the form the less carbon monoxide and hydrocarbons.

The influence of aliphatic alcohols on operational, physical and chemical and environmental properties of traditional petroleum aviation fuels has been studied. The research has also considered the use of ethyl, methyl and butyl alcohols in motor-car fuel systems in the composition of complex and pure alternative fuels in aviation. It has confirmed, that addition of aliphatic alcohols to traditional aviation fuels enables reduction of harmful emissions in the upper layers of the atmosphere.

Purpose: substantiate the prospects of TEL substitution with oxygenate additions in composition of aviation petrol.

Research object: modification of aviation petrol composition with the additions of aliphatic alcohols.

Research subject: physical and chemical properties of aviation petrol and prospects of TEL replacement with complex of oxygenates.

**KEY WORDS:** AVGAS, ALIPHATIC ALCOHOLS, TETRAETHYL LEAD, ALTERNATIVE FUELS, ETHANOL, METHANOL, BUTANOL

### РЕФЕРАТ

С.В. Бойченко. Причинно-следственный анализ модификации состава авиационных бензинов / Бойченко С.В., Личманенко А.Г. // Вестник Национального транспортного университета. Серия "Технические науки". Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2015. - Вып. 2 (32).

В связи с увеличением воздушных перевозок важное значение приобретает повышение топливной эффективности летательных аппаратов. Сегодня нефтяное топливо по-прежнему остается основным. При больших объемах потребления высококачественных традиционных топлив вопросы

повышения эффективности авиационной техники, экономии и рационального использования авиационных топлив приобретает государственное значение.

Данная статья посвящена научно-прикладной проблеме создания реформулированных авиационных бензинов путем модификации состава традиционных нефтяных топлив добавлением алифатических спиртов. Поскольку использование метанола, этанола и бутанола расширяет ресурсный потенциал топлива и часто позволяет улучшить их качество. Они могут быть основным топливом или использоваться в качестве добавок к топливам нефтяного происхождения. Композиционные топлива характеризуются лучшими моющими свойствами, лучшим горением, а также при сгорании образуют меньше оксида углерода и углеводородов.

Рассмотрено влияние алифатических спиртов на эксплуатационные, физико-химические и экологические свойства традиционных авиационных нефтяных топлив. Проанализированы исследования с использованием этилового, метилового и бутилового спиртов при работе автомобильных топливных систем на композиционных и чистых альтернативных топливах как аналогов внедрения в авиации. Подтверждено, что добавление алифатических спиртов к традиционным авиационным топливам позволит снизить выбросы вредных веществ в верхних слоях атмосферы.

Цель: обоснование перспектив замещения тетраэтилсвинца оксигенатными добавками в составе авиационных бензинов.

Объект исследования: модифицирования состава авиационных бензинов добавками алифатических спиртов.

Предмет исследования: физико-химические свойства авиационных бензинов и перспективы замены тетраэтилсвинца комплексом оксигенатов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АВИАЦИОННОЕ ТОПЛИВО, ТЭТРАЭТИЛСВИНЕЦ, АЛИФАТИЧЕСКИЕ СПИРТЫ, АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ТОПЛИВА, ЭТАНОЛ, МЭТАНОЛ, БУТАНОЛ

#### **АВТОРИ:**

Бойченко С.В., доктор технічних наук, професор кафедри екології, Національного авіаційного університету, e-mail: [chemmotology@ukr.net](mailto:chemmotology@ukr.net), Україна, 03058, Київ, пр. Космонавта Комарова, 1.

Личманенко О.Г., аспірант кафедри екології, Національного авіаційного університету, e-mail: [izabellac@mail.ru](mailto:izabellac@mail.ru), Україна, 03058, Київ, пр. Космонавта Комарова, 1.

#### **АВТОРЫ:**

Бойченко С.В., доктор технических наук, профессор кафедры экологии, Национального авиационного университета, e-mail: [chemmotology@ukr.net](mailto:chemmotology@ukr.net), Украина, 03058, Киев, пр. Космонавта Комарова, 1.

Личманенко О.Г., аспирант кафедры экологии, Национального авиационного университета, e-mail: [izabellac@mail.ru](mailto:izabellac@mail.ru), Украина, 03058, Киев, пр. Космонавта Комарова, 1.

#### **AUTHORS:**

Boichenko S.V., Dr. Sc., professor, National Aviation University, e-mail: [chemmotology@ukr.net](mailto:chemmotology@ukr.net), Ukraine, 03058, Kyiv, Kosmonavta Komarova 1.

Lychmanenko O.G., Postgraduate of the Ecology Department, National Aviation University, e-mail: [izabellac@mail.ru](mailto:izabellac@mail.ru), Ukraine, 03058, Kyiv, Kosmonavta Komarova 1.

#### **РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Шаманський Сергій Йосипович, кандидат технічних наук, доцент кафедри екології, Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

Гутаревич Юрій Феодосійович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Двигуни і теплотехніка», Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

#### **REVIEWERS:**

Shamanskyi Sergii J., Ph.D., associated professor of the ecology department, National Aviation University, Kyiv, Ukraine.

Gutarevych Jurii F. Dr. Sc. in Engineering, professor, head of the department “Engines and thermotechnics”, National Transport University, head of the automobile department, Kyiv, Ukraine.