

УДК 662.754(045)

**ВПЛИВ ДОБАВОК АЛІФАТИЧНИХ СПИРТІВ НА ВЛАСТИВОСТІ БЕНЗИНІВ:
АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД***С. В. Бойченко*, д-р техн. наук, проф.; *М. С. Бойченко*, *О. Г. Личманенко*,
С. М. Кабан

Національний авіаційний університет

E-mail: izabellac@mail.ru

Розглянуто вплив аліфатичних спиртів на експлуатаційні, фізико-хімічні та екологічні властивості традиційних автомобільних нафтових палив. Проаналізовано дослідження з використанням етилового, метилового та бутилового спиртів під час роботи автомобільних паливних систем як на композиційних так і чистих альтернативних паливах. Підтверджено, що використання аліфатичних спиртів як добавки до бензину є перспективним альтернативним паливом.

Ключові слова: аліфатичні спирти, етанол, метанол, бутанол, паливо.

The influence of aliphatic alcohols on performance, physical, chemical and environmental properties of conventional motor oil fuels. Analyzed studies using ethyl, methyl and butyl alcohol at work automotive fuel systems, both in composition and clean alternative fuel. Confirmed that the use of aliphatic alcohols as an additive to gasoline is a promising alternative fuel.

Keywords: aliphatic alcohols, ethanol, methanol, butanol, fuel.**Вступ**

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

Згідно з прогнозами експертів [1], до 2050 р. авіаперевезення спричинять до 20 % шкідливих викидів у всьому світі. Емісія у високих шарах атмосфери продуктів згоряння, особливо окислів азоту, вкрай шкідлива. Тому використання аліфатичних спиртів як добавок до традиційного авіаційного палива дасть змогу зменшити концентрацію шкідливих викидів.

Крім того, авіація завдає помітних екологічних збитків, незважаючи на те, що споживає лише близько 3 % видобутих енергоресурсів. Підвищення вимог до зменшення викидів CO₂, у першу чергу, можливе лише на більш сучасній авіаційній техніці. Однак ефективність традиційних сучасних конструкцій паливних систем повітряних суден наблизилася до максимуму. Тому на сьогодні зниження емісій шкідливих речовин у верхніх шарах атмосфери неможливе без розробки нових альтернативних видів палива для літальних апаратів.

Вагомого екологічного ефекту можна досягнути модифікацією складу бензинів різними кисневмісними добавками заміщаючи токсичний тетраетил свинець аліфатичними

спиртами, що надають можливість у кілька разів знизити кількість викидів оксиду вуглецю (32,5 %) та вуглеводнів (14,5 %), а також викиди канцерогенних сполук [1; 2; 3].

Постановка проблеми

Дослідження з використанням аліфатичних спиртів як добавок до бензинів ведуться у всьому світі вже досить давно, однак зазвичай вони стосуються автомобільних бензинів, а досліджень з авіаційним паливом майже не проводиться.

Таким чином, проведення досліджень із використанням аліфатичних спиртів у поєднанні з традиційним авіаційним паливом і розробка на основі експериментальних даних допустимих композицій з авіаційними бензинами є актуальним.

Предмет дослідження — базові властивості авіаційних бензинів.

Об'єкт дослідження — вплив добавок аліфатичних спиртів на властивості авіаційних бензинів.

Аналіз досліджень і публікацій

Відомо [2], що введення в автомобільні бензини оксигенатів підвищує їх детонаційну стійкість, оскільки збільшення концентрації кисню в паливі сприяє більш повному згорянню вуглеводнів, знижує теплоту згоряння паливо-повітряної суміші, відбувається більш швидке відведення тепла з камери згоряння, і в результаті знижується максимальна температура горіння. Перевагами використання оксигенатів є підвищення октанового числа бензину без збільшення вмісту в ньому аренів та зниження токсичності відпрацьованих газів.

Установлено EN 228:2000 максимально допустимий уміст оксигенатів в паливі, %: метанолу — 3, етанолу — 5, ізопропанолу, ізобутанолу — 10, третбутанолу — 7, ефірів C5+ — 15, інших моноспиртів та ефірів з температурою кінця кипіння не вище 210 °С — 10.

Досить давно спирти почали застосовувати у двигунах внутрішнього згорання. Нині вони використовуються як паливо, оскільки збільшують потужність двигуна при одночасному зниженні температури в камері згорання. Завдяки нижчій температурі відпрацьованих газів, інтенсивному відведенню тепла із циліндрів і повнішому згорянню ККД двигуна, який працює на спиртах вище, аніж при роботі на нафтовому паливі [4].

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. Уведенням у 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 [2].

Як стабілізатори бензино-спиртових сумішей пропонується використовувати: аліфатичні спирти C3-C12 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.

На сьогодні для роботи двигунів упроваджуються альтернативні палива на основі спиртів: бутилового (бутили), метилового (метанол) та етилового (етанол). Вони можуть бути основними паливами або використовуватися як добавки до палив нафтового походження.

Світовими центрами виробництва біопалива в 2012 р. є США, Бразилія та Європейський Союз. У 2010 р. вони сконцентрували 85 % світового виробництва біологічного палива, лише на США припадає 48 % виробництва світового біопалива.

Найпоширеніший вид біопалива — біоетанол, його частка становить 82 % усього виробленого у світі палива з біологічної сировини.

Провідними його виробниками є США та Бразилія [5].

Компанією Environmental Energy на території США створено експериментальну установку з виробництва біобутанолу, на якій, за заявками спеціалістів компанії, біобутанол можна отримувати зі всього, що росте на Землі (табл. 1).

Таблиця 1

Економічні показники альтернативних видів палив для бензинових двигунів

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

За підрахунками [6] у 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 (у перспективі, США), Norin Green (у перспективі, Японія), Atlantic Biomass (у перспективі, США).

На території України майже не розвинена інфраструктура з виробництва біопалив, хоча технічних та сировинних перешкод цьому немає.

Розроблена велика кількість технологій упровадження виробництва: біоетанолу та біобутанолу на українських спиртозаводах, зокрема в Обухівському комбінаті кормових добавок (Ладижинський АО«Фермент»).

Мета роботи — аналіз впливу додавання аліфатичних спиртів на визначальні властивості авіаційних бензинів.

Згідно з працею [7], до ідентифікаційних показників якості авіабензинів належать: густина за 20 °С, уміст механічних домішок і води

(візуально), фракційний склад, уміст водорозчинних кислот і лугів, концентрація фактичних смол, октанове число за дослідницьким і моторним методами, колір і прозорість, які залежать від фізико-хімічних властивостей компонентів палив (табл. 2).

Таблиця 2

Фізичні та хімічні властивості компонентів палива [8]

Параметр	Одиниця вимірювання	Метанол	Етанол	Бутанол	Бензин
Молекулярна формула	–	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	C ₄ H ₉ OH	C ₆ H ₆
Молекулярна вага	г/моль	32,04	46,07	74,12	78,11
Температура плавлення	°С	–98	–114,1	–90,2	5,5
Точка кипіння	°С	64,6	78,3	117,4	80,1
Густина	г/см ³	0,791	0,789	0,81	0,879
Тиск пари	мм рт. ст., за 25 °С	121,58	49–56,5	–	95,2
Густина пари	г/л, за 25 °С	1,3	1,9	–	3,2
Розчинність у воді	–	Необмежена	Необмежена	7,9 г/100 мл	1800 мг/л
В'язкість	сПа, за 25°С	0,544	1,074	м	0,649, за 20°С
Закон Генрі, постійна	Спов./Своди, за 25°С	1,087E-4	2,097E-4 до 2,571E-4	–	2,219E-1
Щільність енергії	МДж/л	16	19,6	29,2	–
Октанове число (RON)	Од.	156	132	104	82,5–98,0
Цетанове число(MON)		92	89	78	95

Враховуючи той факт, що літературні дані щодо впливу добавок оксигенатів до складу авіаційних бензинів практично відсутні, за базовий аналог було взято ситуацію модифікування складу автомобільних бензинів.

Етанол

Біоетанол як альтернативне паливо, безумовно, має багато переваг порівняно з традиційним паливом.

Зокрема, головною екологічною перевагою використання біоетанолу в складі сумішевих бензинів є можливість виключення застосування високотоксичних металовмісних антидетонаційних присадок та метилтретбутилового етеру (МТБЕ).

Але під час використання біоетанолу виникає низка специфічних питань, оскільки біоетанол за своїми фізико-хімічними властивостями суттєво відрізняється від бензину (має високе октанове число на рівні 100 од. за моторним методом, нижчу теплоту згорання, але більшу детонаційну

стійкість та корозійність, при концентрації понад 12 % може негативно вплинути на роботу двигуна).

Потенціал щорічного виробництва біоетанолу за наявною сировинною базою (меяса, кукурудза, зернові культури) згідно з оцінкою фахівців концерну «Укрспирт» сягає 2 млн т, що дозволить у перспективі замінити до 40 % об'ємів бензину, що споживають в Україні. Євросоюз у своїх офіційних документах розглядає Україну як потенційного експортера біоетанолу до країн Європи [9].

Значення ККД спиртового двигуна вище бензинового в усьому діапазоні робочих сумішей, завдяки чому питома витрата енергії на одиницю потужності знижується.

Загальна ефективність палива поступово зростає зі збільшенням відсоткового вмісту етанолу в паливі [10].

У 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 [11].

На сьогодні авторами [12] 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

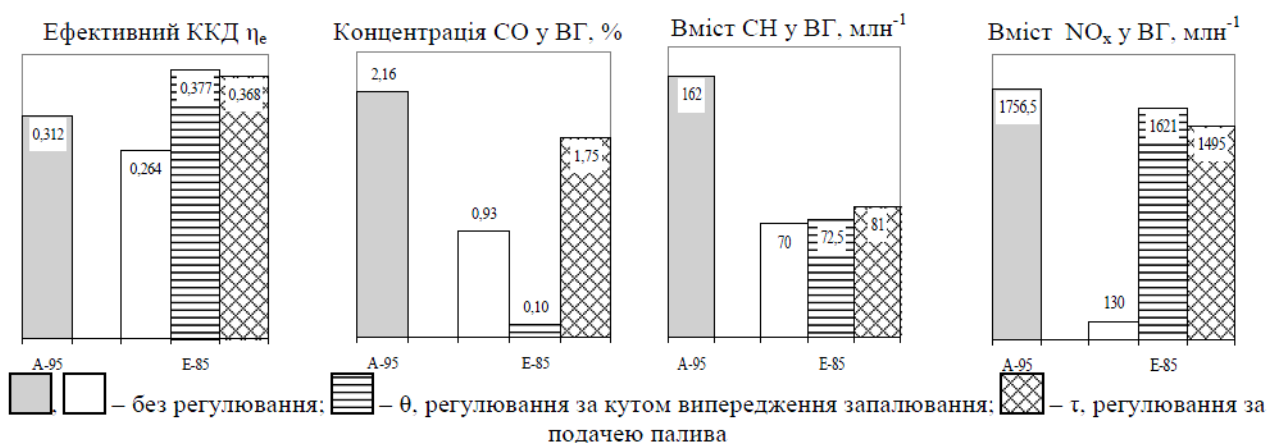
моторного палива для сучасної техніки та враховує сировинну базу України.

Для порівняння енергоекологічних показників бензину Аи-95 та палива моторного біологічного Е85 були проведені порівняльні стендові випробування на двигуні внутрішнього згорання з іскровим запаленням.

У табл. 3 наведено порівняльну характеристику ККД та концентрацію CO, CH та NO_x у відпрацьованих газах автомобіля під час роботи на різних паливах.

Таблиця 3

Порівняльна характеристика ККД та концентрації CO, CH та NO_x у відпрацьованих газах автомобіля під час роботи на різних паливах [12]



Метанол

Метанол є дуже перспективним паливом, оскільки має високе значення октанового числа [7]. Цей спирт можна використовувати і як самостійне паливо, і як добавку до бензину. В усіх випадках він дає змогу знизити токсичність вихлопних газів двигуна. Застосування стовідсоткового метанолу обмежується через його високу токсичність і агресивність щодо конструкційних матеріалів

При використанні метанолу ККД двигуна підвищується на 5–15 % порівняно 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.

Як моторне паливо використовується переважно, суміш М85 (85 % метанолу і 15 % вуглеводнів), а також чистий метанол М100 (100 % метанолу) [14].

Однією з найбільш серйозних проблем, що ускладнюють застосування добавок метанолу, є низька стабільність бензино-метанольних сумішей і особливо чутливість їх до води.

Різниця густини бензину і метанолу та висока розчинність останнього у воді призводять до того, що потрапляння навіть невеликих кількостей води в суміш веде до її негайного розшарування і осадженню водно-метанольної фази.

Схильність до розшарування посилюється з пониженням температури, збільшенням концентрації води і зменшенням вмісту ароматичних сполук у бензині.

Експлуатаційні властивості метанольного палива, і в першу чергу енергетичні показники і пускові якості, 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 (порівняно з чистим спиртом) на 10–15 %, при цьому вміст у відпрацьованих газах оксидів азоту знижується на 25–30 % порівняно з роботою на бензині [1].

Основним недоліком метанолу є його висока токсичність, корозійна активність і агресивність стосовно алюмінієвих сплавів, гум і інших конструкційних матеріалів [9], що підвищує ризик збільшення емісії легких органічних

речовин, які можуть привести до зменшення концентрації озону.

Для метанолу характерні викиди нормальдегіду, в той час як при згорянні етанолу утворюється переважно ацетальдегід [2].

Метанол швидко проникає в джерела питної води та отруєє її [15].

Велика зацікавленість у 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.

Бутанол

Біоетанол придатний як автомобільне паливо, оскільки він однорідний, має сталу температуру кипіння, високі антидетонаційну стійкість і теплотворну здатність, екологічно чистий, повністю згорає, не утворює токсичних продуктів згоряння.

Проте одним з недоліків етанолу як моторного палива є (майже в 1,7 разу) нижча теплота згоряння, що потребує суттєвого збільшення витрат етанолу порівняно з бензином [11]. При згорянні етанолу у вихлопних газах двигунів з'являються альдегіди, котрі шкодять живим організмам не менше, ніж ароматичні вуглеводні.

У результаті досліджень [16] було розроблено технологію отримання реактивного палива з біоетанолу, отримано синтетичне рідке вуглеводневе паливо для авіаційних ГТД, практично відповідаючи вимогам ТУ.

Біобутанол — це наступний значний етап розвитку біопалив, застосування якого має задовольнити зростаючі потреби в екологічно безпечному, поновлюваному транспортному паливі [9].

Основною причиною, за якої до недавнього часу ніхто не знав про бутанол як про альтернативне паливо, є те, що виробництво цього продукту ніколи не вважалося економічно доцільним.

Порівняно з етанолом, бутанол може бути змішаний у більш високих пропорціях з бензином, завдяки низькому тиску парів, і використовуватися в існуючих автомобілях без модифікації системи формування повітряно-паливної суміші завдяки своїм фізичним властивостям.

Бутанол виділяє чистої енергії на робочий цикл більше, ніж етанол або метанол, і приблизно на 10 % більше, ніж бензин, тобто при використанні біобутанолу споживачі стикаються з меншими компромісами щодо економіки палива — це особливо важливо, оскільки

сьогодні частка використання біопалива в паливних сумішах постійно збільшується.

Нині біобутанол може додаватися в бензин 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 дає змогу використовувати існуючу інфраструктуру дистрибуції, не вимагаючи модифікацій установок для змішування, сховищ або заправок.

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 додатковій великомасштабній інфраструктурі поставки.

Біобутанол має безліч синергічних властивостей з біоетанолом. Його отримують із сільськогосподарської сировини, що й етанол (тобто з кукурудзи, пшениці, цукрових буряків, сорго, кассави і цукрового очерету).

Існуючі потужності з виробництва етанолу можуть бути рентабельно модернізовані під виробництво біобутанолу (необхідні незначні зміни процесів ферментації та дистиляції) [17].

Згідно з дослідженнями [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 оцінюванні конкуретоспроможності біобутанолу як високооктанового компонента автомобільних бензинів.

До основних переваг біобутанолу, можна віднести велику теплоту згоряння 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 разу менш леткий, ніж бензин. Пружність парів бутанолу за Рейдом становить 0,33 фунта / кв. дюйм, у бензину це 4,5 фунта / кв. дюйм, у етанолу — 2,0 фунта / кв. дюйм. 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.

Висновки

У результаті аналізу літературних джерел встановлено, що дотепер в області отримання та регулювання властивостей спиртовмісних бензинів проведено великий обсяг наукових досліджень.

Метиловий спирт володіє найбільш високими антидетонаційними властивостями. Етанол — наймасовіший продукт серед аліфатичних спиртів. Він найбільше підходить для застосування на практиці за рахунок великого об'єму виробництва і низької токсичності. Ізобутиловий та ізопропіловий спирти, крім октанопідвищувальних властивостей володіють ще й стабілізаційною дією відносно до спиртобензинових сумішей [16].

Головна перевага спиртовмісних палив — високі антидетонаційні характеристики і поліпшення екологічних властивостей. При використанні спиртів зменшується кількість монооксиду вуглецю, оксидів азоту та сажі, проте зростає вміст альдегідів у відпрацьованих газах двигунів. Уведення в автомобільні бензини

оксигенатів підвищує їх детонаційну стійкість, оскільки призводить до збільшення концентрації кисню в паливі, що сприяє більш повному згорянню вуглеводнів, знижує теплоту згорання паливоповітряної суміші, відбувається більш швидкий відвід тепла з камери згорання, і в результаті знижується максимальна температура горіння. До недоліків спиртовмісних бензинів належать менша, ніж у звичайного бензину, теплотворна здатність, низька фазова стабільність, яка веде до їх розшарування з утворенням двох рівноважних фаз: водно-спиртової та вуглеводнево-спиртової [19].

На сучасному етапі розвитку перспективою альтернативних палив є використання аліфатичних спиртів як добавки до палив нафтового походження. Найбільш широкого використання у світі на сьогодні набув етанол, але враховуючи його недоліки, паралельно широко досліджується палива з додаванням метанолу та бутанолу. Порівняльна характеристика, фізико-хімічні та екологічні властивості спиртів подану в табл. 4.

Таблиця 4

Порівняльні фізико-хімічні та екологічні властивості спиртів

Спирт	Властивості
Метанол	Найбільше октанове число Покращення паливної економічності на 10–15 % ККД двигуна підвищується на 5–15 % порівняно з бензином. Висока токсичність і агресивність щодо конструкційних матеріалів. Вміст у відпрацьованих газах оксидів азоту знижується на 25–30 % порівняно з роботою на бензині
Етанол	Октанове число істотно вище, ніж бензину Розшарування за наявності води Необхідна модифікація двигуна при збільшенні вмісту Низька теплота згорання – пара етанолу розсіюється швидше, ніж пара бензину Менш токсичний, ніж бензин, не містить канцерогенних компонентів Пара етанолу менш вогнебезпечна, ніж пара бензину через вищу температуру самозаймання Електропровідність значно вища, ніж у бензину, що знижує небезпеку накопичення статичної електрики під час руху палива, у тому числі і в паливній системі
Бутанол	Октанове число вище, ніж у бензину Енергоємність бутанолу близька до енергоємності бензину Суміш не розшаровується в присутності води Легко змішується зі звичайним бензином Не вимагає модифікації двигуна Не володіє корозійними властивостями Низький тиск парів біобутанолу не повинен призводити до появи високих рівнів емісії летких органічних сполук

ЛІТЕРАТУРА

1. 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.
2. *Применение алифатических спиртов в качестве экологически чистых добавок в автомобильные* / С. А. Карпов, Л. Х. Кунашев [и др.] // *Нефтегазовое Дело*. — 2006. — № 2. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа к журналу: <http://ogbus.ru/>
3. *Российские авиационные керосины из альтернативного сырья* / Л. С. Яновский, Е. П. Федоров, Н. И. Варламова, И. М. Попов [и др.] // *Наука*. — 2012. — № 3 (31) — С. 6–8. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа к журналу: <http://engine.aviaport.ru/issues/81/pics/pg06.pdf>
4. Ковтун Г. Альтернативні моторні палива / Г. Ковтун // *Вісник НАН України*. — 2005. — Вип. 2. — С. 19–27.
5. Федченко И. А. Основные тенденции развития рынка биотоплива в мире и России за период 2000–2012 годы: анализ. отчет / И. А. Федченко, А. С. Соловцова, А. Н. Лукьянов. — Информационно-аналитическая служба ОАО «Корпорация «Развитие», 2013. — 45 с.
6. *Маркетинговое исследование рынка биометанола и его производных* : [аналит. отчет / Research. Techart]. — М., 2008. — 22 с.
7. *Інструкції з контролювання якості нафти і нафтопродуктів на підприємствах і організаціях України : станом на 4 липня 2007 р.* / Міністерство юстиції України. — Офіц. вид. — К. : Парлам. вид-во, 2008. — 54 с. — (Бібліотека офіційних видань).
8. *ITRC (Interstate Technology & Regulatory Council). 2005. Overview of Groundwater Remediation Technologies for MTBE and TBA. MTBE-1. Washington, D.C.: Interstate Technology & Regulatory Council, MTBE and Other Fuel Oxygenates Team. Available on the Internet at <http://www.itrcweb.org>.*
9. 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.
10. *Експлуатаційні властивості альтернативних моторних палив на основі оксигенатів* / Е. В. Полункин, Т. М. Каменева, В. С. Пилявский [та ін.] // *Катализ и нефтехимия*. — 2012. — № 20. — С. 70–74.
11. *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.
12. *Гайдай О. О.* Екологічні та експлуатаційні характеристики палива моторного біологічного Е-85. — [Електронний ресурс] / [О. О. Гайдай, С. О. Зубенко, Є. В. Полункін, В. С. Пилявський] // *Збірник наукових статей III-го Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю*. — Вінниця, 2011. — Т. 1. — С. 308–310. — Режим доступу: <http://eco.com.ua/>
13. *Сахно В. П.* Порівняння показників автомобільних двигунів при роботі на традиційних та альтернативних паливах / В. П. Сахно, О. А. Корпач // *Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія*. — 2010. — Вип. 7. — С. 159–166.
14. *Лётко В.* Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания / В. Лётко, В. Н. Луканин, А. С. Хачиян. — М. : МАДИ(ТУ), 2000. — 311 с.
15. *Биотопливо* в широкие массы (биоэтанол, биометанол, биодизель). — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://engine-market.ua/biotoplivo-v-shirokie-massy-bioetanol-biometanol-biodizel-p243/>
16. *Даниленко Т. В.* Разработка топливных композиций бензинов с добавлением алифатических спиртов : Дис. ... канд. техн. наук : 05.17.07 / Даниленко Татьяна Викторовна. — М., 2005. — 169 с.
17. *Эковатт: Биобутанол*. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://эковатт.рф/biodiesel/biobutanol/d72/>
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.
19. *Ермак А. А.* Влияние спиртов на испаряемость бензина / А. А. Ермак, О. С. Пищайко, А. А. Сидоров // *Промышленность. Прикладные науки*. — 2011. — № 11 — С. 149–153.

Стаття надійшла до редакції 18.12.2014