

Модифікування складу авіаційних бензинів додаванням аліфатичних спиртів: літературний огляд

Національний авіаційний університет

Розглянуто вітчизняні та зарубіжні розробки високооктанових паливних сумішей шз застосуванням вуглеводневих спиртів, а також їхні переваги та недоліки порівнянно з традиційними авіаційними паливами. Викладено основні напрямки розвитку виробництва альтернативних авіабензинів.

Ключові слова: високооктанові паливні суміші, авіаційні палива, авіабензин

Вступ

Внаслідок заборони в Україні використання тетраетилсвинцю (вказівки Укравіатрансу від 14.02.2002 р. № 6 та Державіаслужби від 09.08.2005 р. № 15) експлуатанти авіаційних поршневих двигунів вимушені були використовувати автомобільні бензини. Заміна автомобільними бензинами (Mogas) авіаційних є неприпустимою, оскільки автомобільний бензин, як авіаційне паливо, має низку недоліків:

- слабкий контроль за добавками в паливо, що призводить до зниження тяги;
- підвищену леткість, що призводить до пароутворення і може призвести до відмови двигуна, а також до зледеніння карбюратора;
- склад автомобільних бензинів змінюється протягом року – зимові марки автомобільного бензину мають підвищену леткість для полегшення запуску двигуна;
- під час тривалого зберігання утворюються лакоподібні та смолисті відкладення [1,19].

Світовий досвід підтверджує про використання авіаційних бензинів марок AVGAS 100LL, 93 UL, 94 UL, 100 SF [1-21]. Авіабензин марки AVGAS 100LL містить тетраетилсвинець, але лише 0,56 г/л. Авіаційний бензин 82 U/L не містить ТЕС, але його випробування ще не завершено остаточно. Проте дана ситуація ставить Україну в значну залежність від імпорتنних поставок палива. Проте лише приватний парк поршневої авіації України налічує 645 літальних апаратів, що використовують бензин. Загалом поршнева авіація України складається як з вітчизняних (літак АН-2, Х-32, ЯК-52) так і закордонних моделей (R 44, Augusta), але жоден з літаків не був створений для роботи на автомобільному бензині. Ми вбачаємо вирішення проблеми шляхом модифікації складу автомобільних бензинів для покращення їх експлуатаційних властивостей.

Постановка проблеми

Першочерговим завданням під час модифікування складу авіабензинів є забезпечення високого октанового числа (ОЧ) і оптимального значення тиску насиченої пари (ТНП).

Проведений нами літературний аналіз підтверджених перспективність використання добавок біоетанолу до бензину для покращення експлуатаційних властивостей авіаційних двигунів. Таким чином, науково-прикладною проблемою даного дослідження є розробка авіаційного бензину, що містить одноатомні спирти для існуючих авіаційних двигунів.

Розв'язання проблеми

На основні проведеного порівняльного аналізу властивостей вихідних спиртів (табл. 1), оскільки від їх вихідних властивостей залежать властивості створених на їх основі паливних композицій. Зазначені спирти було порівняно з авіаційними бензинами марки 100 LL та Б91/115.

Таблиця 1

Характеристика фізико-хімічних властивостей спиртів та авіаційних бензинів

Показник	Авіаційний бензин марки 100 LL	Авіаційний бензин марки Б91/115	82 U/L	Етанол	Бутанол
Густина, кг/м ³	Визначається	Не нормується	Не нормується	789,3	810
Температура кипіння, °С	75-170	40-180		78,4	117,5
Температура застигання, °С	мінус 58°С	мінус 60°С	мінус 58	мінус 114,1	мінус 90,2
Масова доля кисню, %	-	-	-	34,7	21,6
Теплота випаровування, кДж/кг	Не нормується	Не нормується	Не нормується	839,3	591,2
Теплота згорання, кДж/кг	43500	42947	40800	26945	35520
Тиск насиченої пари, кПа	38-49	29,3-47,9		17	8,4
Розчинність у воді за 20°С, %	Не розчиняється	Не розчиняється	Не розчиняється	не обмежено	7,9
Октанове число, виміряне дослідницьким методом	Не визначається	Не визначається	Не визначається	108	99,6
Октанове число, виміряне моторним методом	99.5	91 (на багатій суміші 115)	82	92	94
Кінематична в'язкість за 20°С	Не визначається	Не визначається	Не визначається	1.52 сСт	3.64 сСт

З наведених даних видно, що теплоти згорання бутанолу та етанолу значно нижчі за теплоти згорання авіаційних бензинів, що призводить до підвищеної витрати пального при використанні даних спиртів. Проте вміст кисню у складі спиртів, призводить до більш високої повноти згорання палива, а різниця в теплоті згорання стає не настільки відчутною [9].

Серед компонентів авіаційного бензину є фракції вуглеводнів з температурним діапазоном кипіння від 75°С до 170°С. Якщо розглядати спиртові добавки до бензинів, то, згідно досліджень Онойченко С.М., першими спиртами, що були використані як добавки, були метанол та етанол.

Биометанол використовують як паливо лише у суміші з бензином [2, 10].

На даний час метанол використовується як моторне паливо в обмежених кількостях (1-30% об.). Питання можливості застосування добавок метанолу ускладнюються низькою стабільністю бензино-метанольних сумішей і чутливістю до вмісту води. Висока розчинність метанолу у воді призводить до того, що потрапляння навіть невеликої кількості води в суміш викликає її швидке розшарування. При цьому здатність 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 [2,7].

Етанол за своїми експлуатаційними характеристикам перевершує метанол. Використання чистого спирту в двигунах внутрішнього згорання можливе, якщо

двигун та паливна система автомобіля розроблені або модифіковані для нього (так звана паливна система flexible fuel). Частіше використовують бензино-етанольні суміші у різних процентних співвідношеннях бензину та спирту для їх використання у незмінених двигунах, або з внесенням конструкційних змін. Використання бензину з вмістом етанолу до 15 % не потребує зміни конструкції сучасних двигунів внутрішнього згорання і допоміжних приладів. Проте Дутчак В.М., Мальченко О.О., Shauk M.E. та ін., помітили, що підвищення вмісту етилового спирту у паливній композиції призводить до підвищення стабільності до розшарування за наявності вологи. До переваг етанолу можна віднести той факт, що його можна виробляти з рослинної сировини – так званий біоетанол.

Завдяки його фізичним властивостям та економічності бутанол може замінити бензин як паливо навіть більшою мірою, ніж етанол. Порівняно з етанолом та метанолом, бутанол має низку значних переваг: більш високу теплоту згорання, менш розчинний у воді, а отже менш схильний до розшарування та водопоглинання. Але бутанол має вищу кінематичну в'язкість, що викликає проблему з прокачуваністю палива. Бутанол, як усі інші спирти, є корозійно активним. Виробництво бутанолу в світі ще недостатньо розвинене. У 2008 році перший експериментальний завод з виробництва бутилового спирту був запущений компанією Du Pont.

До загальних переваг спиртових палив порівняно з нафтовими є:

- при використанні спиртових палив вміст основних токсичних компонентів у відпрацьованих газах знижується;
- внаслідок підвищення повноти згорання спиртових сумішей за рахунок кисню, що входить до складу спиртів, зменшуються викиди CO і канцерогенних ароматичних вуглеводнів;
- спирти не потрібно піддавати процесам знесірчення та ізомеризації, а отже їх виробництво є технологічно більш простішим;
- спирти мають вищі детонаційні числа порівняно з нафтовими бензинами;
- при незначному додаванні етанолу, змін в роботі двигуна не відбувається. Це підтверджено дослідженнями Національного транспортного університету (Дутчак В. М. і Худолій М. М.).

До загальних недоліків для всіх спиртів порівняно з традиційним бензином ми відносимо таке:

- знижена теплота згорання, висока теплота випаровування і низький тиск насичених парів. Низький тиск насиченої пари і висока теплота випаровування спиртів мають практично унеможливити запуск карбюраторних двигунів вже при температурі нижче -10 °С. Для вирішення цієї проблеми до спиртів додають 4-6% ізопентану або 6-8% диметилового ефіру, що забезпечує нормальний пуск двигуна за температури навколишнього повітря до -25°С, оскільки згідно вітчизняних та закордонних досліджень [9, 10, 11, 20, 21], ці речовини збільшують тиск насичених парів і полегшують пуск двигуна в холодну пору року
- зважаючи на позитивну екологічну ефективність, використання спиртових палив відзначається підвищенням концентрації альдегідів у вихлопах. У середньому викиди альдегідів під час роботи двигуна на спиртах приблизно в 2-4 рази вищі, ніж при роботі на бензині (Федорович Л. А. та Карпов С. А.) [6, 14]
- одноатомні спирти є отруйними речовинами. ГДК для метанолу становить 1 мг/м³, етанолу – 5 мг/м³, бутанолу – 10 мг/м³. Специфічна дія бутанолу полягає в ураженні роговиці ока;
- спирти є корозійно активними речовинами, тому для запобігання їх впливу на металеві частини двигуна необхідні антикорозійні присадки;

– значним недоліком спиртових палив є їх висока вартість. Залежно від технології вони в 1,8-3,7 рази дорожчі від нафтових [9].

Оскільки чисті спирти рідко застосовують без модифікації двигунів, як палива, то актуальним є створення паливних композицій на основі спиртів. Але вони мають свої переваги та недоліки. У даній роботі насамперед було приділено особливу увагу найбільш технологічно прийнятним варіантам, які мають високе октанове число. Найвідомішою в Україні є паливна композиція на основі абсолютного етанолу – високооктанова кисневмісна добавка (ВКД). Але відповідно до досліджень Карпова С.А. сумішеві моторні бензини, вміст ВКД в яких перевищує 6%, мають негативну властивість до розшарування [14].

Існує паливна композиція, що використовується у двигунах іскрового запалення [18], яка містить автомобільний бензин та обводнений етиловий спирт з вмістом води до 10% мас. Недоліком такої паливної композиції є обмеженість температур, за яких її можна використовувати, оскільки за температури нижче 0°C відбувається утворення окремої водної фази, що для авіаційного бензину є неприйнятним [4].

Відома композиція біоетанольного моторного палива запатентована в Україні в 2006 році (табл. 2) [19], але дане паливо призначалося для автомобільних двигунів і його випробування у двигуні для літака не проводилися.

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники біоетанольного моторного палива (БМП)

Назва показника	Значення
1. Колір	Безбарвний
2. Густина за температури 20°C, кг/м ³	790
3. Обсягова частка води, %	0.05
4. Детонаційна стійкість:	
- октанове число за дослідним методом	109
- октанове число за моторним методом	102
5. Обсягова частка денатуруючої добавки в паливі, %	0.2
6. Тиск насиченої пари за температури 25°C, кПа	37.8
7. Температура помутніння, °C	мінус 82

Проте її високе октанове число (109) і низька температура помутніння роблять її перспективною для використання даного палива в якості авіабензину. Проте через високий вміст етилового спирту можливість її використання навряд чи можлива [4].

Дана композиція на 99,5% складається з етанолу, а для підвищення тиску насичених парів використовується вуглеводнева фракція алканів C₄-C₆, що дозволяє покращити якість роботи двигуна. Як стабілізатор було використано 2-фурилкарбінол в кількості 0.1% [19].

Усі вищеперераховані паливні композиції в тій чи іншій мірі містили традиційне нафтове паливо, ресурси якого обмежені. Було розроблено дві паливні суміші, що не містять нафтової сировини. Їх випробування проводилися на вітчизняному двигуні марки «ЗІЛ-375». Суміш № 1 складається з таких компонентів:

- фракція етилового спирту 65% об.,
- фракція вищих спиртів («олива сивушна») 22% об.,
- діетиловий ефір – 13% об.

Суміш № 2 складається з таких компонентів:

- фракція етилового спирту 65% об.,
- фракція вищих спиртів («олива сивушна») 22% об.,
- газовий конденсат – 13% об.

Таблиця 3

Результати випробувань двох альтернативних паливних сумішей

Назва показника	Значення показників	
	Суміш № 1	Суміш № 2
Густина за температури 20°C, кг/м ³	811	806
Детонаційна стійкість за дослідним методом, не менше	99.4	98.1
Фракційний склад:		
температура початку перегонки, °C, не нижче	44	61
10% переганяються при температурі, °C, не вище	78	67
50% переганяються при температурі, °C, не вище	80	80
90% переганяються при температурі, °C, не вище	123	93
кінець кипіння, °C не вище	135	129
Залишок у колбі, % не більше	0.8	0.8
Колір	Жовтий	Світлий

Як видно з табл. 3. за наведеними показниками суміші не відрізняються від авіаційних бензинів.

Недоліком даних сумішей є те що октанове число не було визначено за моторним методом. Як відомо, малі поршневі літаки можуть літати на сумішах, які дають октанове число при наднавантаженні не нижче 115 для палива Б-91/115 (згідно ГОСТ 1012-72). Тому важко сказати чи буде придатною дана суміш для літаків малої авіації без проведення подальших досліджень.

У закордонних патентах ми знайшли багато інформації про створення синтетичних авіаційних палив на основі індивідуальних хімічних речовин. Наприклад, в US 0011765 A1 використовуються компоненти, добуті 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, які 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 всі вони є високо-вартісними, а тому не можуть бути використані з економічних причин. Багато паливних композицій даного патенту містять бутан у високих концентраціях, який є дуже дорогим індивідуальним хімічним компонентом і практично не випускається вітчизняною промисловістю. Крім того, даний компонент досить складно виділити з не нафтової сировини і тому дане паливо важко назвати альтернативним.

У патенті US 7559961 B2 представлено композиційні альтернативні авіабензини. Це суміші вуглеводневих спиртів, склад яких наведено у табл.4.

Таблиця 4

Склад добавок до авіабензинів

Назва спирту	Вміст в обсягових відсотках
Метанол	1-30
Етанол	40-75
Пропанол	10-20
Бутанол	4-10
Пентанол	1-8
Гексанол	1-6
Гептанол	0.1-6
Октанол	0.1-6
Нанонол	0.1-3
Деканол	0.1-3

Таким чином до недоліків даних добавок ми відносимо вміст високотоксичного метанолу, а також те що необхідно використовувати всі вищеперераховані компоненти, які досить складно одержати в індивідуальному вигляді. Дані спирти відіграють роль стабілізаторів для запобігання розшаруванню палива в разі потрапляння в нього води.

В США було створено авіаційні бензини без вмісту тетраетилсвинцю, які випускаються згідно стандарту ASTM D 6227, але дані бензини не набули широкого поширення, оскільки їх випробування ще не закінчено [1-21].

На даний момент не було створено альтернативного авіаційного бензину, який би повністю відповідав би заявленим вимогам, а саме: був екологічно чистим, добувався з відновлювальних ресурсів, не був дорогим і технологічно складним для виготовлення на вітчизняних заводах, а також підходив для літаків, що наявні в Україні.

Висновки

Не зважаючи на те, що роботи по створенню спиртовмісних паливних композицій проводилися ще з 1890 року, при роботі з заміни традиційних авіаційних бензинів спиртовмісними постають такі технологічними проблеми:

- розшарування за низьких температур;
- низький тиск насиченої пари, що підвищує температуру спалаху палива, а отже ускладнює запуск двигуна у холодну пору року;
- необхідність боротися з гігроскопічністю палива, оскільки спирти вбирають вологу;
- менша теплота згорання порівняно з традиційними авіабензинами, що призводить до підвищення витрат палива;
- підвищена агресивність спиртів до певних марок гуми, що призводить до передчасного виходу з ладу гумових деталей двигуна.

Саме ці недоліки є основними причинами дуже малого розповсюдження альтернативних авіабензинів. Для малої авіації можна виділити три основні підходи до розробки альтернативних авіабензинів. Перший шлях полягає у додаванні індивідуальних речовин до традиційного палива для заміни частини високовартісного вуглеводневого палива на більш дешевий та екологічно чистий компонент. У країнах ЄС та США діє податок на нафту, що зменшується з кожним відсотком альтернативного палива у паливній композиції. Другий шлях – синтез авіапалива з нетрадиційних джерел. Досить розвинений в Японії та Китаї. Зазвичай використовується суміш, яка одержується з переробки рослинних або тваринних жирів. Третій шлях – повна зміна двигуна літака для роботи на новому альтернативному паливі. Таким шляхом, наприклад, пішов M.E.Shauk, що дозволило заправити в літак паливну композицію, яка на 95% складалася з абсолютизованого етанолу. Даний шлях є технологічно досить складним. До того ж існує відмінність у тому, що в ЄС, США та Канаді авіаційний бензин зберігається у спеціальних резервуарах, а під час транспортування він піддається ретельній перевірці, додатковій фільтрації і видаленню води. Саме через таку систему контролю авіабензин E-95 використовується у США.

Тому в подальших роботах планується створити альтернативний авіаційний бензин, який повністю або частково складається з відновлювальних сировинних ресурсів, не має вищеперерахованих недоліків та буде відповідати українським та міжнародним стандартам якості, які висуваються до авіабензинів.

Список літератури

1. Степанов А.В. Альтернативные топлива для двигателей внутреннего сгорания /Степанов А.В., Ковтун Г.А., Матусевич Г.Г/ : Матеріали I Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми хімотології» (Київ, 15-19 травня 2006 р.)/ М-во освіти і науки, молоді та спорту, Київ. Національний авіаційний університет. – К.: Київ. Національний авіаційний університет, 2006. - с.65.
2. Вельд Е.В. Альтернативне паливо БЮ-100 /Вельд Е.В., Лабутин М.Ю., Худолій М.М./ : Матеріали I Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми хімотології» (Київ, 15-19 травня 2006 р.) / М-во освіти і науки, молоді та спорту, Київ. Національний авіаційний університет. – К.: Київ. Національний авіаційний університет, 2006. - с.132.
3. Гарри Бейли. Присадки для возобновляемых топлив: Матеріали II Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми хімотології» / М-во освіти і науки, молоді та спорту, Київ. Національний авіаційний університет. – К.: Київ. Національний авіаційний університет, 2008. - с.222
4. Роб Міджлі. Бюлетень Shell Aviation за перший квартал 2009/ Роб Міджлі, Ру-Серн Чук/ К.: 2009 р. с 5-7.
5. Чумак П.И. Характеристики авиадвигателей / Чумак П.И., Крывокрысенко В.Ф. – М:2011. с. 38-42.
6. Федорович Л.А. Особливості застосування автомобільних бензинів на авіаційних поршневих двигунах: Матеріали II Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми хімотології» / М-во освіти і науки, молоді та спорту, Київ. Національний авіаційний університет. – К.: Київ. Національний авіаційний університет, 2008. - с.293.
7. Мальченко О.О. Розробка паливних композицій на базі бензинів та аліфатичних спиртів з використанням стабілізаторів: Матеріали II Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми хімотології» / М-во освіти і науки, молоді та спорту, Київ. Національний авіаційний університет. – К.: Київ. Національний авіаційний університет, 2008. - с.301.
8. Третьяков В. Ф. Моторные топлива из ненефтяного сырья / В. Ф. Третьяков, Т. Н. Бурдейная // Российский химический журнал. – Москва: 2003. - №6. – С. 48-52.
9. Онойченко С.М. Розробка і дослідження композицій неетильованих бензинів, що містять етанол: дис. ... канд.. техн. наук .: 05.17.07/ Онойченко Світлана Миколаївна. – М.: 2000 - 168 с.
10. Дутчак В. М. Розробка технології одержання гомогенних бензино-етанольних композицій: автореф. Дис.. кандидата технічних наук 05.17.07/ Дутчак В. М. – Л., 2008. – 34 с.
11. Дутчак В., Квітковський Л. Відновлення гомогенності бензино-етанольних сумішей Матеріали I Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми хімотології» м. Київ 15-19 травня 2006 рік с.272.
12. Дутчак В.М. Про взаємну розчинність бензину та етанолу /Квітковський Л.М., Астахова О.Т./ : Матеріали II Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми хімотології» / М-во освіти і науки, молоді та спорту, Київ. Національний авіаційний університет. – К.: Київ. Національний авіаційний університет, 2008. - с.121.
13. Дж. Ола. Метанол и энергетика будущего когда закончатся нефть и газ / Дж. Ола, А. Гепперт, С. Пракаш./ М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. -416 с.

14. Карпов С.А. /Автомобильные топлива с биоэтанолом/ Карпов С.А., Капустин В. М., Старков А.К. – М.: КолосС, 2007. – 216 с.
15. Антипов В. Н., Хранение нефти и нефтепродуктов/ Антипов В.Н., Бахмат Г.В., Васильев Г.Г. - М.:ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2003. – 560 с.
16. ТУ У 30183376. 001-2000 “Високооктанова кисневмісна добавка до бензинів”. – К.: Держстандарт України, 2000.
17. Полункін Є. В. Спиртовмісні палива / Є. В. Полункін, С. О. Зубенко, О. О. Гайдай, О. В. Кузнецова // Вісник НАУ. – Київ: 2010. - №2. – С. 137-141.
18. Пат. 84490 Україна, МПК С10L 1\02. Паливна композиція для карбюраторних двигунів / Здравко Б.Й., Пивовар В.П., Олексів Й.Д; заявник патентовласник Здравко Б.Й.; опуб. 01.01.2008.
19. Пат. 96251 Україна МПК С10L 1/02. Біоетанольне моторне паливо/ Гайдай О.О., Полункін Є.В., Зубенко С.О., Ковтун О.Г., Старожинська Л.І.; заявник патентовласник Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії національної академії наук України; опуб. 01.01.2006 р.
20. Shauk M.E. Certification of an aircraft engine on ethanol fuel / Shauk M.E., Zanin M.G. Baylor University, Waco. Texas. U.S.A. 1991.
21. Shauk M.E. Certification of an agricultural spray aircraft on ethanol fuel / Shauk M.E., Zanin M.G. Renewable Aviation Fuel Development Center, Department of Aviation Sciences 1993.

Рецензент: д-р техн. наук В. Е. Зайцев, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков
Поступила в редакцию 30.12.2013

Модифицирование состава авиационных бензинов в добавлении алифатических спиртов: литературный обзор

Рассмотрены отечественные и зарубежные разработки высокооктановых топливных смесей с применением углеводородных спиртов, а также их преимущества и недостатки по сравнению с традиционными авиационными топливами. Изложены основные направления развития производства альтернативных авиабензинов.

Ключевые слова: высокооктановые топливные смеси, авиационные топлива, авиабензин

Modification of aviation gasoline composition by adding aliphatic alcohols: literature review

Consider the development of domestic and foreign high-fuel mixture to the use of hydrocarbon alcohols and their advantages and disadvantages compared with Traditionally aviation fuel. The basic directions of development of alternative aviation gasoline.

Keywords: High-fuel mixture, jet fuel, aviation gasoline