

УДК 62-68 (045)

К.В. БОНДАРЕНКО<sup>1</sup>, С.В. БОЙЧЕНКО<sup>1</sup>, В.Г. СЕМЕНОВ<sup>2</sup><sup>1</sup>Національний авіаційний університет, Київ, Україна<sup>2</sup>ТОВ «НДІ альтернативних палив», Харків, Україна

## ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПАЛИВА В АВІАЦІЇ

*В умовах обмеженої забезпеченості України первинними та вторинними енергоносіями надто актуальною є проблема розробки концепції виробництва, методів синтезу та засобів упровадження нових екологічно безпечних паливно-мастильних матеріалів. У статті розглядається та аналізується розвиток виробництва альтернативного виду палива в авіації, стан передових науково-дослідних робіт у цій галузі, перспективні напрямки розвитку наукових досліджень і можливі шляхи спрямування наукових зусиль українських дослідників у дану сферу. Описані переваги використання біопалива. Соціальний ефект полягає у вирішенні важливої еколого-енергетичної проблеми, пов'язаної з раціональним використанням паливно-мастильних матеріалів і емісією шкідливих викидів в атмосферу.*

**Ключові слова:** альтернативні палива, авіація, біопалива, раціональне використання, енергозбереження, технічні олії.

### Вступ

Проблема використання альтернативних палив стає все актуальнішою у зв'язку з вичерпаністю запасів мінеральних ресурсів: нафти і природного газу. Розведених запасів нафти і природного газу при сучасному рівні видобутку по песимістичних прогнозах вистачить на 120 років, по оптимістичних – на 250. В деяких випадках, наприклад в електро- і теплоенергетиці, можна повернутися до використання замість нафти і природного газу кам'яного вугілля, його запасів вистачить більш ніж на 1500 років. Зростання споживання у світі нафтових палив призвело до значного збільшення темпів витрачання не поновлювальних запасів нафти, а у результаті стрімкого зростання цін. Людство, по суті, повинне у короткі терміни вирішити проблему свого виживання: знайти можливості і напрямки переходу з палив, що отримуються з нафти, на нові альтернативні види палива [1 – 3]. Пошук для заміни нафтових палив на синтезовані з інших видів сировини, розробка прогресивної технології виробництва синтетичних палив і їх раціонального застосування на транспортних засобах стають в даний час вельми актуальними задачами. З особливо гострою проблема переходу на нові види палива проявляється в авіації, де прогнозується постійне збільшення інтенсивності перевезень. В даний час концентрація CO<sub>2</sub> в атмосфері складає приблизно 400 ppm. Це в два рази більше, ніж до початку промислової революції XVIII століття. До 2050 р. концентрація CO<sub>2</sub> в атмосфері може досягти 500 ppm [2]. Парникові гази (пари води, діоксид вуглецю, метан) самі по собі

необхідні для життя на Землі. Вони запобігають повному розсіюванню теплової енергії, що отримується Землею від Сонця, і підтримують на поверхні нашої планети температуру, відповідну для життя і простих, і найскладніших організмів. Але якщо такі газів стане надто багато, то середня температура на землі підвищиться, що може привести до танення полярних крижаних шапок з катастрофічними наслідками для всього живого. З цих причин у ряді розвинених країн не припиняються роботи з удосконалення властивостей альтернативних палив, що відносяться до поновлювальних ресурсів, володіють меншою вартістю і кращою екологією.

За прогнозами експертів, до 2050 р. авіаперевезення спричинять до 20% шкідливих викидів у всьому світі. Тож, використання біопалива для ЛА буде запобігати такому негативному розвитку.

### 1. Результати попередніх досліджень

Досягнення вчених світу з проблеми розроблення та упровадження у практику нових біосинтетичних матеріалів із технічних олій тісно пов'язані із перманентним оновленням значної частини традиційної номенклатури базових матеріалів провідних галузей промислового виробництва на науково-технічних засадах, добре дослідженого та інноваційно розвинутого галузевого матеріалознавства. Відомо, що традиційне матеріалознавство таких галузей, як нафтопереробка, хімічна промисловість полімерних і композиційних (зокрема антифрикційних) матеріалів тощо, досить швидко (за 8 – 12 років) досягають консервативності, тобто певної межі

своїх експлуатаційних властивостей, і не задовольняють сучасним вимогам, отже – характеризуються низкою загальних негативних рис, зокрема:

- високим рівнем екологічної небезпеки мінеральних (нафтового походження) і особливо синтетичних або мінерально-синтетичних паливно-мастильних матеріалів як на стадії підготовки сировини та виробництва, так і на етапі їх використання. Сьогодні Директивами Євросоюзу розроблено нові жорсткі квоти на викиди шкідливих речовин від двигунів ЛА;

- значною ресурсо- і енерговитратністю, оскільки вони спираються, значною мірою, на сировину мінерального походження (нафту), що все більше вичерпується з одночасним погіршенням її якості;

- усе більше зусиль і витрат виробників мінеральних і синтетичних або мінерально-синтетичних паливно-мастильних матеріалів необхідно для досягнення належного рівня функціональних властивостей та експлуатаційних їх показників, особливо для авіаційної техніки, а отже ці матеріали стають все дорожчими.

На сьогодні у світі все більш актуальним постає питання щодо використання біопалива в авіації.

## 2. Постановка завдання

Розробка концепції раціонального використання нових біосинтетичних (альтернативних) паливно-мастильних матеріалів для авіаційної техніки.

Сучасні вимоги Євросоюзу (директива ЄС 2009/28/ЄС «О стимулировании использования возобновляемых видов энергии» від 23 квітня 2009 р.) ставлять такі завдання: до 2020 р. частка відновлювальної енергії у загальному балансі енергоспоживання має досягнути 20%, біопалива – як мінімум 10%.

Сьогодні поширюється рух на отримання моторних палив з поновлюваної сировини: рослинної біомаси, відходів промислового, побутового і сільськогосподарського виробництва. Розроблені альтернативні моторні палива, що виробляються з кукурудзи, цукрового очерету, ріпаку і ін. сільськогосподарських культур. Це – спирти і ефіри, під час згоряння яких також утворюється CO<sub>2</sub>, але це той вуглекислий газ, який був раніше поглинений рослиною з повітря і, отже вживання рослинної біомаси як сировини для виробництва моторних палив не збільшує вміст CO<sub>2</sub> в атмосфері.

У 2007 р. світове споживання нафти склало біля 4-х мільярдів тонн, 2/3 з них доводиться на транспорт. Від цієї кількості на долю повітряного вантажного і пасажирського транспорту доводиться всього біля 10% [3]. Проте, США і низка європейсь-

ких країн проводять широкі дослідження по розробці синтетичних реактивних палив з нафтової сировини. Британська компанія Virgin Atlantic однією з перших у світі здійснила вдалий політ комерційного літака на біопаливі. Так, 24 лютого 2008 р. літак "Боїнг-747" без пасажирів на борту зробив пробний переліт з Лондона до Амстердама, використовуючи біопаливо в одному зі своїх чотирьох двигунів. Інгредієнтами біопалива була пальмова олія і олія кокоса. Схожі польоти із використанням біопалива також проводили Air New Zealand, Air Japan та Continental Airlines. Утім, тоді організатори не ризикнули взяти на борт пасажирів. Перший політ з 40 пасажирями на борту здійснила французько-голландська авіакомпанія Air France – KLM. При цьому один з чотирьох двигунів літака працював на суміші з керосину та біопалива з рижію – п'ятдесят на п'ятдесят. Така комбінація палива дозволяє значно скоротити викиди діоксиду вуглецю в атмосферу. Компанія CFM International 18 червня 2007 р. успішно провела випробування авіадвигуна CFM 56-7b на суміші авіагасу і біопалива. Випробування пройшли на заводі компанії SNECMA під Парижем. У паливо Jet A-1 було додане 30% біодизеля, отриманого з рослинних жирів [5].

Синтетичне реактивне паливо, виготовлене фірмою «SASOL» з бурого вугілля за вдосконаленою технологією Фішера-Тропша (F-T), вже з 1999 р. в суміші 50:50 з реактивним паливом для цивільної авіації Jet A-1 (ASTM D1655) застосовується на комерційних авіалініях в ЮАР. Синтетичне паливо має густину 755 кг/м<sup>3</sup> замість мінімально допустимого для Jet A-1 775 кг/м<sup>3</sup>, гірші, ніж в палива Jet A-1, властивості протизносу, але вищу термоокислювальну стабільність, і в нім практично відсутні сірчисті сполуки. Додавання в синтетичне паливо стандартного реактивного палива Jet A-1 робить отримувану суміш такою, що повністю відповідає вимогам, що пред'являються до палива Jet A-1. Синтетичне паливо, що практично не має неуглеводневих гетероатомних домішок, відповідальних за властивості протизносу палива, отримує їх з палива Jet A-1. З цього ж палива в суміш переходять ті, що містяться в Jet A-1 інгібітори окислення, що забезпечує хімічну стабільність палива при тривалому зберіганні.

На сьогодні відомі й інші технології, у тому числі розроблені в Росії, дозволяють отримувати синтетичне реактивне паливо з вугілля. У США розроблена технологія здобуття реактивного палива з природного газу. Синтетичне паливо Syntroleum з природного газу практично аналогічно паливу з вугільної сировини.

Виробництво синтетичних палив з вугілля і природного газу, що, як і нафта, є непоновлюваними джерелами сировини, не може остаточно звільнити

людство від небезпеки настання енергетичної кризи, хоч і в далекому майбутньому. До того ж, крім того вуглекислого газу, що виділятиметься під час згорання синтетичних вуглеводневих палив з непоновлюваної сировини, додатково виділятиметься  $\text{CO}_2$  при спалюванні технологічного палива, задіяного у процесі виробництва синтетичного палива. Так, наприклад, під час виробництва рідкого синтетичного вуглеводневого палива з вугілля за технологією F-T викидається в атмосферу  $\text{CO}_2$  в 1,8 разу більше, ніж при виробництві палива з нафтової сировини, при виробництві реактивного палива з природного газу – більше в 1,5 рази [5].

У університеті Північної Дакоти (США) розроблено біопаливо для реактивної авіації, отримане з масел сільськогосподарських культур. За деякими показниками якості синтезоване біопаливо перевершує стандартний авіагаз. Біопаливо має температуру застигання нижче  $600^\circ\text{C}$ .

Відомо, що Бразильська біопаливна компанія «Тесбіо» скооперувалася з аерокосмічною компанією Boeing (США) для розробки реактивного палива на основі біогазу.

Витрати авіакомпанії стрімко виросли, і, очевидно, зворотного ходу не буде. До того ж питання не стільки в ціні, а у запасах, які оцінюються в 40 років для нафти, 70 років для газу і 230 років для вугілля. Запаси виснажуються, а потреба росте. В період з 1992 по 2002 р. рівень споживання реактивного палива виріс на 21%, в той час об'єм авіаційних перевезень збільшився на 53%. Нинішні умови, тим не менш, як ніколи вимагають нового палива, здатного замінити Jet A-1 яке одержують з нафти. Окрім цього, стоїть питання захисту навколишнього середовища. В цьому значенні резолюція Європарламенту про зменшення наслідків діяльності авіації для кліматичних змін (INI/2005/2249) ясно говорить про те, що «Європейський парламент настійно закликає сприяти введенню авіаційного біопалива, сприяючи таким чином зменшенню наслідків для кліматичних змін» [9].

Екологічні альтернативні види палива обіцяють стати невід'ємною частиною підходу до зменшення вуглецевого сліду авіації. Тому важливо узагальнити інформацію вже здійснюваних багатьох ініціатив з метою сприяння розробці і розгортанню виробництва екологічних альтернативних видів палива в авіації і прискорити цей процес в короткостроковому, середньостроковому і довгостроковому плані.

Перевагами біопалив є: використання відновлюваних видів сировини; можливість отримати екологічно чисте паливо (зниження шкідливих викидів майже в 2 рази у порівнянні з традиційними нафтовими паливами); зменшення залежності від імпорту дорогої нафти. Біопалива відрізняються хорошими

експлуатаційними характеристиками; їх використання в суміші з традиційними паливами практично не вимагає змін в інфраструктурі паливоспоживання.

Виникнення проблеми виробництва і використання біопалива обумовлені наступними рушійними силами:

- можливість подальшого розвитку сільськогосподарського виробництва;
- набуття країнами, які залежні від постачань нафти і газу, енергетичної безпеки.

Основними видами біопалив є біоетанол (одержують в основному з кукурудзи в США, цукрової тростини в Бразилії, цукрового буряка в країнах ЄС) і біодизель (одержують на основі олійних культур, таких як соя, ріпак, рицина, а також з пальмового масла і з відходів при виробництві харчових жирів). Лідерами у виробництві біоетанолу є США (виробництво в 2006 р. 13,5 млн. т), Бразилія (12,3 млн. т), країни ЄС (2,2 млн. т), Китай (2,7 млн. т) Індія (1,4 млн. т), Франція (1,1 млн. т), Німеччина (1,1 млн. т), Росія (1 млн. т). Лідером у виробництві біодизеля є Німеччина (1,7 млн. т в 2006 р.). Біодизель виробляє Франція (0,5 млн. т), Італія (0,4 млн. т), Чехія (0,14 млн. т), Польща (0,1 млн. т), США (0,9 млн. т) і низка інших країн. У стадії будівництва знаходяться заводи по виробництву біодизелю у Великобританії, Нідерландах і Норвегії. Сумарне виробництво біоетанолу в світі в 2006 р. склало приблизно 32 млн. т, біодизеля – більше 6 млн. т. [10].

Уряди низки країн оголосили амбітні програми по виробництву і застосуванню біопалив. Зокрема, в США в 2006 р. до традиційних моторних палив з нафти додавалося 3,5% біопалив, в 2010 р. ця частка повинна скласти 5,0%. У 2017 р. поставки біопалив в США повинні скласти за програмою, висунутою Білим Домом, 35 млрд. галл., тобто приблизно 100 млн т. Згідно одному з варіантів прогнозу попиту на моторні палива (автобензин і дизпаливо) у 2030 р. в США попит складе 635 млн. т., значить, частка біопалив повинна досягти більше 15%. У країнах ЄС частка біопалив в сумарному споживанні моторних палив з 2% в 2006 повинна зрости до 5,75% в 2010 р.

У Китаї, Індії, Малайзії і низці інших країн прийняті національні програми виробництва і використання біопалив. Бразилія претендує на роль світового лідера у виробництві біоетанолу, для чого готова збільшити у декілька разів площі по вирощуванню цукрової тростини. У Бразилії частка біопалив в сумарному споживанні палив повинна скласти 5% в 2013 р.

Уряди практично всіх згаданих країн розробляють організаційно-економічні механізми по стимулюванню виробництва і використання біопалив.

У США широко розгорнена програма виробництва біопалив під знаком зменшення залежності від імпорту енергоносіїв і шкідливого впливу на клімат, в основі має бажання агровиробників збувати генномодифіковані сільськогосподарські продукти.

Те, що біопаливо не може скласти конкуренцію паливу на основі вуглеводнів, розуміють всі, проте рух за біопаливо став стержнем в політиці ряду розвинених країн.

Не дивлячись на значний прогрес у використанні біомаси для отримання рідких палив, правда полягає в тому, що промисловість до цих пір не знає як конвертувати біомасу в паливо у великих масштабах з прийнятними витратами для споживачів і без серйозних соціальних наслідків, пов'язаних з подорожчанням продовольства. Експерти вважають, що тільки біопалива другого покоління, засновані на непродовольчих видах сировини, складніших процесах перетворення, технічно можливі, економічно виправдані, доступні і життєздатні, можуть диверсифікувати енергетичний портфель світу [13]. Враховуючи цю обставину, в багатьох країнах світу розгорнені дослідження і розробки в області технологій отримання біопалив другого покоління, а саме, з біомаси (целюлоза, відходи лісової і деревообробної промисловості, сільськогосподарські відходи, водорості, лігніні тому подібне). Серед технологій другого покоління називають пірогенетичну переробку деревини; анаеробні процеси; вельми перспективний процес BTL (biomasse to liquide), що складається із стадій спікання біомаси за допомогою низькокісневого піролізу, газифікація отриманих методом спікання гранул каталітичного синтезу по Фішеру–Тропшу, а також отримання біоетанолу з біомаси деревини шляхом ферментації або гідролізу з подальшим дегідруванням біоетанолу в біобутанол та ін.

Під час переходу авіатехніки на альтернативні види палива, можна вирішити дуже важливі питання в області енергетики, екології, а також фінансування.

### Висновки та перспективи подальших досліджень

Прискорена розробка альтернативних видів авіаційної техніки – це задача загальнолюдська, що не терпить зволікання, оскільки, на думку міжнародних експертів, слід чекати подальшого зростання цін на вуглеводневі енергоносії. Розробка ефективної технології виробництва моторних палив з біосировини і, зокрема, реактивних палив, є об'єктивною необхідністю і актуальна в даний час.

Роботи по біопаливах для авіації за кордоном ще не вийшли із стадії дослідницьких. У нашій кра-

їні такі роботи практично не починалися.

Зростання питомої витрати палива приводить в процентному відношенні до більшого, ніж зростання питомої витрати, зменшенню дальності польоту літального апарату або зменшенню корисного навантаження. Вживання кисневмісних синтетичних палив в цивільній авіації може виявитися рентабельним лише тоді, коли ціна такого палива буде значно нижча за ціну нафтового авіагазу.

Вуглеводневий біогаз може знайти вживання в авіації вже в найближчому майбутньому навіть в умовах збереження в достатній кількості непоновлюваних енергетичних сировинних ресурсів: нафти, вугілля, природного газу і інших – з тієї причини, що їх вживання дозволить уповільнити зростання концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері.

Отже, реальним виходом із ситуації, що склалася в економіці України, є використання новітніх енергозберігаючих технологій та перехід на рослинні олії, як альтернативну поновлювану екологічно чисту сировину для паливно-мастильних матеріалів, які відчутно впливатимуть на зменшення викидів в атмосферу CO<sub>2</sub> і оздоровлення атмосфери.

### Література

1. Пюрко І.М. Використання альтернативних видів палива як засіб підвищення готовності військ / І.М. Пюрко, С.І. Задерієнко // Наука і оборона. – 2008. – № 1. – С. 47-49.
2. Разработка самолетов на криогенных топливах [Електрон. ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.tipolev.ru>.
3. Семенов В.Г. Покращення економічних та екологічних показників дизельного двигуна, що працює на біодизельному паливі, присадками / В.Г. Семенов, А.І. Атамась // Проблеми хімотології: матеріали III МНТК, 20-24 вересня 2010 р. – К., 2010. – С. 231-232.
4. Разработка синтетического реактивного топлива из биосырья / П.В. Бородако, Н.И. Варламова, И.М. Попов, Е.П. Федоров, Л.С. Яновський, В.Ф. Третьяков, Н.А. Французова // Проблеми хімотології: матеріали III МНТК, 20-24 вересня 2010 р. – К., 2010. – С. 290-294.
5. Медведєва Т.В. Альтернативні палива для авіаційної техніки / Т.В. Медведєва, М.С. Бойченко // Новітні досягнення біотехнології: тези МНТК. – 21-22.10.2010. – С. 24-25.
6. Тимошевський Б.Г. Альтернативные топлива для тепловых двигателей / Б.Г. Тимошевський, М.Р. Ткач // Авіаційно-космічна техніка і технологія: зб. наук. праць. Двигуни та энергоустановки. – Х.: НАКУ «ХАІ», 2001. – Вип. 26. – С. 13-18.
7. Dependence of evaporation losses on petrol quality / S. Bojchenko, L. Chernyak, L. Fedorovich, V. Novikova, R. Prentkovskiene, S. Pukalskas // Transport. – 2010. – № 25 (4). – P. 442-447.

8. *Improvements power aggregates construction on transport* / O. Syliman, V. Gorypa, I. Trofimov, A. Zybchenko, I. Nizovtsev // *TRANSPORT (Vilnius, Lithuania 2008): научно-технический журнал*. – 2010. – Vol. 25, No 4. – P. 53-59.

9. Рустамов Н.А. Биомасса – источник энергии / Н.А. Рустамов, С.И. Зайцев, Н.И. Чернова // *Энергия*. – 2005. – № 6. – С. 20-28.

10. Новые разработки в области возобновляемых топлив / J. Holmgren, C. Gosling, R. Marinangell, T. Marker, G. Faraci, C. Perego // *Нефтегазовые*

*технологии*. – 2008. – № 1. – С. 78–83.

11. Самсонов Р.О. // *Oil and Gas Russia*. – Январь–февраль 2008. – С. 74.

12. Материалы сайта Privat aero [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.privat.aero>. – 20.05.2011 г.

13. Burke L. Развитие био-экономики - взгляд нефтепереработчика, поставщика энергии в США / L. Burke // *Нефтегазовые технологии*. – 2008. – № 6. – С. 61–64.

Надійшла до редакції 20.05.2011

**Рецензент:** канд. техн. наук, доцент кафедри екології Л.М. Черняк, Київський національний авіаційний університет, Київ, Україна.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА В АВИАЦИИ

*К.В. Бондаренко, С.В. Бойченко, В.Г. Семенов*

В условиях ограниченной обеспеченности Украины первичными и вторичными энергоносителями слишком актуальной является проблема разработки концепции производства, методов синтеза и средств внедрения новых экологически безопасных горюче-смазочных материалов. В статье рассматривается и анализируется развитие производства альтернативного вида топлива в авиации, состояние передовых научно-исследовательских работ в этой отрасли, перспективные направления развития научных исследований и возможные пути направления научных усилий украинских исследователей в данную сферу. Описанные преимущества использования биотоплива. Социальный эффект заключается в решенных важной эколого-энергетической проблемы, связанной с рациональным использованием горюче-смазочных материалов и эмиссией вредных выбросов в атмосферу.

**Ключевые слова:** альтернативные топлива, авиация, биотоплива, рациональное использование, энергосбережение, технические масла.

## PROSPECTS OF INTRODUCTION OF ALTERNATIVE FUEL ARE IN AVIATION

*K.V. Bondarenko, S.V. Boychenko, V.G. Semenov*

In the conditions of the limited material well-being of Ukraine primary and second power mediums too actual is a problem of development of conception of production, methods of synthesis and facilities of introduction of new ecologically safe goryuche-smazochnykh materialsю. In the article examined and analysed development of production of alternative type of fuel in an aviation, consisting of front-rank research works of this industry, perspective directions of development of scientific researches and possible ways of direction of scientific efforts of the Ukrainian researchers in this sphere. Described advantages of the use of biopropellant. A social effect consists in decided important ekologo-power problem, related to the rational use of goryuche-smazochnykh materials and emission of harmful extrass in an atmosphere.

**Key words:** alternative fuels, aviation, biopropellants, rational use, energy-savings, technical butters.

**Бондаренко Катерина Василівна** – аспірант кафедри екології Національного авіаційного університету «НАУ», Київ, Україна, e-mail: [KaterinaBondarenkoV@ukr.net](mailto:KaterinaBondarenkoV@ukr.net).

**Бойченко Сергій Валерійович** – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри екології Національного авіаційного університету «НАУ», Київ, Україна, e-mail: [chemmotology@ukr.net](mailto:chemmotology@ukr.net).

**Семенов Володимир Григорович** – канд. техн. наук, доцент, директор ТОВ «НДІ альтернативних палив», Харків, Україна, e-mail: [semenovv11@gmail.com](mailto:semenovv11@gmail.com).