

**Трофімов І.Л.<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, **Свирид М.М.<sup>1</sup>**, канд. техн. наук,  
**Бойченко С.В.<sup>1</sup>**, докт. техн. наук, проф.,

**Яковлева А.В.<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, **Терновенко С.В.<sup>1</sup>**, **Бартош М.<sup>2</sup>**  
**<sup>1</sup> Національний авіаційний університет, Київ**

*просп. Космонавта Комарова, 1, 03058 Київ, Україна, e-mail: troffi@ukr.net, chemmotology@ukr.net*

**<sup>2</sup> Жилінський Університет, Жиліна, Словаччина**

*вул. Університетська, 8215/1, 010 26 Жиліна, Словаччина, e-mail: miroslav.bartos1@gmail.com*

## Дослідження протизносних властивостей сумішевих авіаційних палив на основі етилових естерів рижієвої олії

Описано дослідження, що відносяться до авіаційної та машинобудівної галузі. Експериментально досліджено протизносні властивості палива для повітряно-реактивних двигунів, а також біокомпонента, отриманого з рижієвої олії, та їх сумішей. Встановлено, що змащувальна здатність біокомпонента є значно вищою у порівнянні з традиційним нафтовим паливом для повітряно-реактивних двигунів. Експериментально встановлено, що додавання біокомпонентів до складу авіаційного палива приводить до зміцнення граничної плівки, зменшення коефіцієнта тертя та поліпшує протизносні властивості паливних сумішей. Обґрунтовано механізм впливу естерів жирних кислот, доданих до авіапалива, на покращення протизносних властивостей. Встановлено, що естери жирних кислот рижієвої олії позитивно впливають на мастильну здатність нафтових палив для повітряно-реактивних двигунів та можуть використовуватися з метою покращення протизносних властивостей традиційних авіаційних палив. *Бібл. 15, рис. 2, табл. 1.*

**Ключові слова:** паливо для повітряно-реактивних двигунів, рижієва олія, протизносні властивості, біокомпоненти, змащувальна здатність, зношування, тертя.

Світовий досвід експлуатації авіаційної техніки накопичив величезний статистичний матеріал щодо відмов бортових систем через підвищений рівень зношування деталей. Узагальнений досвід з експлуатаційної надійності паливних систем вітчизняних та закордонних літаків свідчить, що майже 30 % усіх аварій та катастроф, до 50 % відмов авіаційних двигунів, від 20 до 40 % гідравлічних та майже 10 % відмов паливних систем відбуваються внаслідок зниження експлуатаційних властивостей палив, а термін роботи насосів та інших агрегатів скорочується з цієї причини у 6–7 разів [1, 2].

Підвищення надійності, довговічності та економічності авіаційних двигунів є комплексною проблемою, її вирішення досягається на всіх стадіях конструювання, виробництва та експлуатації виробів. Важливою умовою реалізації надійності та довговічності, покладених у конструкцію двигуна, є підвищення експлуатаційних властивостей паливно-мастильних матеріалів. Безперервне вдосконалення авіаційної та назем-

ної техніки, забезпечення надійної, економічної та довговічної її роботи висувають високі вимоги до якості властивостей паливно-мастильних матеріалів. Ресурс та надійність авіаційних двигунів визначаються сукупністю фізико-хімічних, експлуатаційних та екологічних властивостей палив та мастильних матеріалів.

Як відомо, найбільш розповсюдженою причиною погіршення рівня якості мастильних матеріалів є окислення з утворенням смол, лаків, нагару, карбонів, карбонатів та інших осадів, а також корозія нерозчинних продуктів.

Сучасні вимоги до авіаційних палив, режиму та стабільних властивостей їх роботи у різних умовах визначають необхідність підвищення трибохімічних властивостей існуючих нафтових авіаційних палив та нових сумішевих на основі біокомпонентів. Саме тому питання відносно дослідження та поліпшення протизносних властивостей сучасних палив для автомобільних та реактивних двигунів є одним із складових при розгляді пріоритетних напрямів забезпечення на-

дійності роботи моторної техніки та вузлів тертя. Підвищення експлуатаційних властивостей паливно-мастильних матеріалів є актуальною науково-технічною проблемою.

Дослідження, описані у цій статті, стосуються галузей авіапаливозабезпечення та експлуатації авіаційної техніки.

Надійність паливних та гідравлічних агрегатів авіаційної техніки значною мірою залежить від працездатності прецизійних пар тертя. Підвищене зношування, руйнування та заклинювання пар тертя спричиняють відмови гідроагрегатів, з'являється необхідність планомірної заміни зношених деталей. Найчастіше зустрічаються такі дефекти: заклинювання плунжерних, пластинчастих та золотникових пар, руйнування підшипників кочення, знос під'ятників плунжерів та ін. Специфічність цих пар тертя потребує критичного підходу при застосуванні до них існуючих уявлень відносного впливу мастильних середовищ, механічних властивостей матеріалів, шорсткості спряжених поверхонь, швидкості їх відносного переміщення.

У світі велика увага приділяється альтернативним джерелам енергії, зокрема, альтернативним паливам. Але у більшості випадків, це палива для автомобілів. Враховуючи стрімкий ріст авіаційного парку та великі об'єми заправки одного літака порівняно з автомобілем, актуальним залишається питання альтернативних палив для авіаційних двигунів. Особливої уваги потребує дослідження експлуатаційних властивостей таких палив, оскільки вони напряму впливають на безпеку польотів. У працях [3, 4] встановлено, що альтернативні палива для повітряно-реактивних двигунів (ПРД), отримані з рослинної основи, характеризуються низькими змащувальними властивостями порівняно з авіаційними паливами нафтового походження. У той же час є повідомлення про досить гарні змащувальні властивості естерів рослинних олій [5, 6].

Приймаючи до уваги відомі дані про змащувальні властивості естерів рослинних олій, представляє інтерес дослідження їх впливу на протизносні властивості палив для газотурбінних двигунів.

Мета цієї роботи полягала у дослідженні протизносних властивостей сумішевих рослинно-мінеральних палив для ПРД, що містили етилові естери рижієвої олії, відповідно однією з задач дослідження було порівняння протизносних властивостей цих сумішевих палив з протизносними властивостями мінеральних палив для газотурбінних двигунів.

Робота виконувалася у рамках наукової теми 182ДБ18 «Підвищення експлуатаційних ха-

рактеристик палив для газотурбінних двигунів, безпеки авіаційного транспорту та його екологічності».

Об'єктом дослідження було підвищення протизносних властивостей сумішевих авіаційних палив, що містили етилові естери рижієвої олії.

Предмет дослідження склали модифіковані рослинною основою авіаційні палива та вплив етилових естерів жирних кислот рижієвої олії на закономірності формування триботехнічних характеристик сумішевих авіаційних палив.

Як відомо, протизносні властивості палив для ПРД визначають надійність та ресурс роботи паливних агрегатів паливних систем, зокрема їх пар тертя [4–6]. Ці пари працюють у режимах тертя кочення, тертя ковзання та комбінованого тертя при різних навантаженнях, температурах, тиску, швидкості відносного руху в умовах рідкого та граничного змащування.

Змащувальні властивості палив залежать від їх хімічного складу, в'язкості, термоокиснювальної стабільності, вмісту механічних домішок, наявності поверхнево-активних речовин [7]. За високих питомих навантажень зазвичай спостерігається напіврідке тертя, коли поверхні тертя не повністю розділені паливом. У разі напіврідкого тертя протизносні властивості палив для ПРД визначаються в'язкістю палива, що забезпечує гідродинамічний ефект розділення поверхонь тертя шаром рідини, а також наявністю у паливі поверхнево-активних речовин, що утворюють на поверхні тертя абсорбційний шар високої міцності, який розділяє поверхні тертя та тим самим зменшує коефіцієнт тертя та зношування деталей [8].

Аналіз літературних джерел [1–10] показує зацікавленість авторів в експериментальних та теоретичних розробках підвищення протизносних властивостей прецизійних пар тертя та у дослідженнях впливу на протизносні властивості різних складових палив та олів. Одним з напрямів подовження терміну експлуатації та відновлення трибосопряжень є трибомодифікація поверхонь тертя за рахунок формування стійких окисних плівок внаслідок використання модифікованих чи енергетично змінених мастильних матеріалів.

Під час проведення експерименту було досліджено протизносні властивості авіаційного палива JET A-1, етилового естеру жирної кислоти рижієвої олії та сумішей JET A-1 з рослинними біокомпонентами. Марка JET A-1 відповідала вимогам ASTM D1655 [11]. Біокомпоненти були представлені сумішшю етилових

естерів жирних кислот (ЕЕЖК(М)) рижієвої олії, що відповідають вимогам EN 14214 [12], спеціально модифікованими для застосування як компонента палив для ПРД. Модифікація проводилася вакуумним фракціонуванням відповідно до розробленої технології [9]. Зразки паливних сумішей містили зазначені біокомпоненти у кількості 10, 20, 30, 40 та 50 %.

Зазвичай протизносні властивості палив для ПРД оцінюються за величиною зносу характерної пари тертя. Знос у середовищі певного виду палива однієї довільної пари тертя не може характеризувати змащувальні властивості цього палива однозначно. Зміна матеріалу деталей, режимів випробувань та інших факторів може істотно вплинути на знос поверхонь тертя. У зв'язку з цим оцінка протизносних властивостей здійснюється за жорстко регламентованих умов [13].

Для дослідження стану поверхонь тертя та коефіцієнта тертя було використано комплекс для дослідження трибологічних характеристик паливно-мастильних матеріалів, розроблений авторами [13]. Для дослідження матеріалів на тертя та зношування була використана установка дослідження матеріалів на тертя та зношування при реверсивному переміщенні (рис.1), розроблена авторами [14].

Дослідження здійснювалися за схемою тертя «палець – площина», матеріал цих зразків сталь ШХ15 – сталь 45 (загартована до значен-

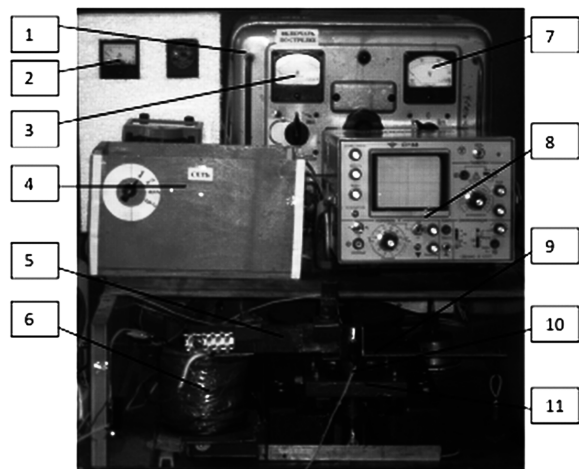


Рис.1. Установка для дослідження ПММ на тертя та зношування при реверсивному переміщенні: 1 – незалежне джерело живлення; 2 – амперметр для реєстрації магнітного поля; 3 – амперметр для реєстрації струму в зоні тертя; 4 – переривник; 5 – магнітопровід; 6 – котушка індуктивності; 7 – джерело живлення; 8 – осцилограф для реєстрації параметрів електричного струму в магнітопроводі; 9 – навантаження; 10 – вузол тертя; 11 – ємність для робочого середовища.

### Триботехнічні характеристики пари тертя ШХ15 – сталь 45 у мастильних середовищах при $T = 353 \text{ K}$

Проба	Мастильне середовище	$\mu$	$I_V, \text{ мм}^3$
№ 1	JET A-1	0,40	0,0800
№ 2	ЕЕЖК рижієвої олії	0,35	0,0044
№ 3	JET A-1+ЕЕЖК 20% рижієвої олії	0,30	0,0060
№ 4	JET A-1+ЕЕЖК 30% рижієвої олії	0,30	0,0035
№ 5	JET A-1+ЕЕЖК 40% рижієвої олії	0,35	0,0022
№ 6	JET A-1+ЕЕЖК 50% рижієвої олії	0,35	0,0026

Примітка.  $\mu$  – коефіцієнт тертя.

ня HRC 52),  $\vartheta = 0,20$ ,  $P = 5 \text{ Н}$ , частота 1 Гц. Розміри пальця-зразка: діаметр – 4 мм, довжина – 25 мм. Оцінка зносу зразків виконувалася з профілографуванням плям зношування та одержанням величини об'ємного зношування за методикою [15]. Шлях тертя усіх зразків становив 8 км. Результати експерименту наведені у таблиці.

Дослідження здійснювалися на комплексі для дослідження протизносних властивостей паливно-мастильних матеріалів за методикою, описаною у праці [13].

На рис.2 наведено мікрофотографії поверхонь тертя. Можна стверджувати, що поверхні тертя зразків, напрацьованих в ЕЕЖК рижієвої олії (рис.2, б), є більш рівномірними, ніж поверхні тертя, напрацьовані у базовому JET A-1 (рис.2, а), окисні плівки є більш тонкими та еластичнішими. Це цілком пояснює отримання меншого значення коефіцієнта тертя та величини зношування за однакового пройденого шляху тертя. Більш того, на рис.2, б чітко видно контури окисних плівок. По мірі напрацьовання у різних пропорціях сумішевих палив плівки зразків стають значно більшими за довжиною та шириною порівняно з плівками зразка, напрацьованого в ЕЕЖК рижієвої олії. Більш контрастне їх забарвлення дає можливість стверджувати, що плівки поверхні тертя зразка на рис.2, б мають меншу товщину та є більш еластичними. На рис.2, г, д видно, що поверхні тертя стали рівномірними за всією плямою зносу, окисні плівки менші за розмірами, але зосереджені щільно по всій поверхні. Це цілком пояснює зменшення величини зношування для зразків, напрацьованих у 30 та 40 %-х сумішах JET A-1+ЕЕЖК. На рис.2, ж видно, що поверхня тертя стає більш гладенькою порівняно з поверхнями тертя на рис.2, г, д, але окисні плівки зменшуються, а мікронерівності збільшуються. Це цілком пояснює незначне збільшення величини зносу та коефіцієнта тертя.

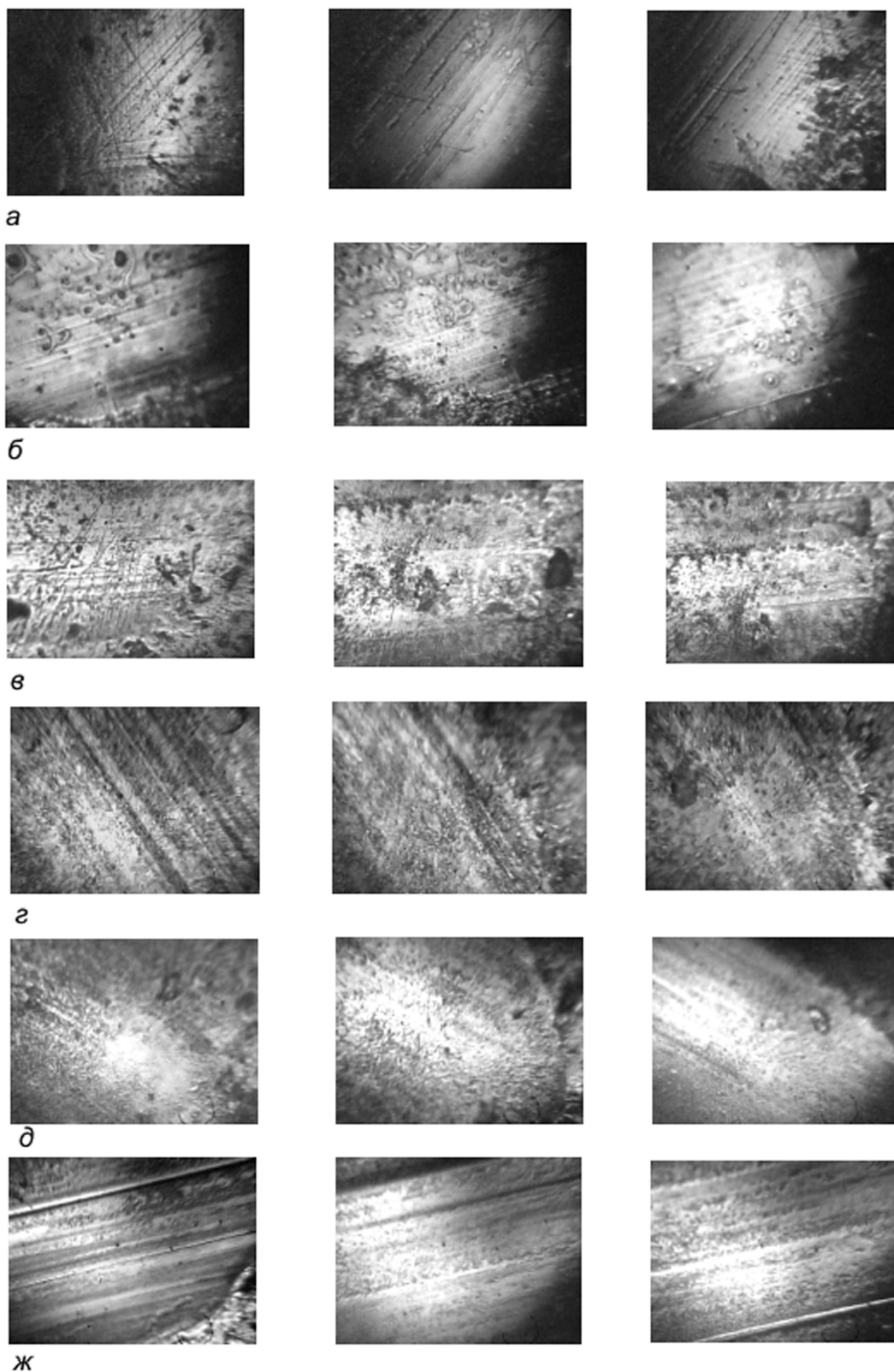


Рис.2. Мікрофотографії поверхонь тертя (збільшено у 400 разів) при напрацюванні у різних середовищах: а – JET A-1; б – 100 % EEЖК рижівської олії; в – JET A-1+EEЖК 20% рижівської олії; г – JET A-1+EEЖК 30% рижівської олії; д – JET A-1+EEЖК 40% рижівської олії; ж – JET A-1+EEЖК 50% рижівської олії.

Пояснити отриманий ефект зниження величини зношування у разі додавання в авіаційне паливо естерів жирних кислот рижієвої олії можна тим, що естери підвищують полярність, а отже й адсорбційну здатність ефірних молекул та зменшення електронної густини до атомів кисню карбонільної групи. Відомо, що міцність плівок олів на естеровій основі складає до 22000 кг/см<sup>2</sup>, мінеральних олів — близько 4500 кг/см<sup>2</sup>; синтетичних олів — близько 9000–12000 кг/см<sup>2</sup>. У цій роботі додаванням естерів до базового авіаційного палива JET A-1 отримали таке: зміцнення масляної плівки на поверхні тертя; підвищення щеплення металевих поверхонь; присадку у вигляді жирних кислот, що входить до естерів.

### Висновки

Дослідження зразків сумішевих палив показали, що етилові естери жирних кислот рижієвої олії виявляють здатність утворювати більш міцну граничну плівку на поверхнях тертя порівняно з паливом для повітряно-реактивних двигунів нафтового походження. Ця здатність пояснюється поверхневою активністю молекул естерів та їх високою в'язкістю. Приймаючи зразок палива JET A-1 за контрольний, можемо зробити висновок, що використання естерів рижієвої олії позитивно впливає на мастильні властивості палива для повітряно-реактивних двигунів.

Встановлено, що естери жирних кислот рижієвої олії позитивно впливають на мастильну здатність нафтових палив для повітряно-реактивних двигунів та можуть використовуватися з метою покращення протизносних властивостей традиційних авіаційних палив.

### Список літератури

1. Васильева Т.В. Прогнозирование показателей надежности авиационной техники с использованием рядов Фурье. *Научно-методический электронный журнал «Концепт»*. 2016. Т. 15. С. 1476–1480. — <http://e-koncept.ru/2016/96214.htm>
2. Шаабдиев С.Ш. Анализ надежности топливной системы регионального пассажирского самолета Ан-140 на начальном этапе эксплуатации. *Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов*. 2017. Вып. 3. С. 83–89. — [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pptvk\\_2017\\_3\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pptvk_2017_3_9)
3. Chuck C. J., Donnelly J. The compatibility of potential bioderived fuels with Jet A-1 aviation kerosene. *Applied Energy*. 2014. Vol. 118. P. 83–91.
4. Hu J., Du Z., Li C., Min E. Study on the lubrication properties of biodiesel as fuel lubricity enhancers. *Fuel*. 2005. Vol. 84. P. 1601–1606.
5. Нагорнов С.А., Дворецкий Д.С., Романцова С.В., Таров В.П. Техника и технология производства и переработки растительных масел : Учеб. пособие. Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. 96 с. ISBN 978-5-8265-0964-7.
6. Yakovleva A., Vovk O., Boichenko S., Lejda K., Kuszewski H. Physical-chemical properties of jet fuels blends with components derived from rapeseed oil. *Journal of Chemistry & Chemical Technology*. 2017. Vol. 10, No. 1. P. 485–492.
7. Сиренко Г.О., Мідак Л.Я., Кузишин О.В., Кириченко Л.М., Кириченко В.І. Антифрикційні властивості полікомпонентних композицій на основі хімічно модифікованої ріпакової оливи під час мащення пари ароматичний поліамід — сталь. *Полімер. журн.* 2008. Т. 30, № 4. С. 338–344.
8. Дубовкин Н.Ф., Яновский С.Л. Инженерные методы определения физико-химических и эксплуатационных свойств топлив. Казань : Казан. науч. центр, Отд. энергетики, Рос. инж. акад., 2002. С. 365–376.
9. Пат. 95751 Укр., МПК С 10 L 10/00. Спосіб отримання компонента палив для повітряно-реактивних двигунів із сировини рослинного походження. А. В. Яковлева, С. В. Бойченко, О. О. Вовк. № u201406122. Заявл. 04.06.2014. Опубл. 12.01.2015, Бюл. № 1.
10. Братков А.А., Серегин Е.П., Горенков А.Ф. Химотология ракетных и реактивных топлив. М. : Химия, 1987. 304 с.
11. An American National Standard ASTM D1655 Standard Specification for Aviation Turbine Fuel. — [https://global.ihs.com/doc\\_detail.cfm?document\\_name=ASTM%20D1655&item\\_s\\_key=00015939](https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?document_name=ASTM%20D1655&item_s_key=00015939)
12. Liquid petroleum products — Fatty acid methyl esters (FAME) for use in diesel engines and heating applications — Requirements and test methods. — [https://infostore.saiglobal.com/preview/9870874-2874.pdf?sku=861350\\_SAIG\\_NSAI\\_NSAI\\_2049227](https://infostore.saiglobal.com/preview/9870874-2874.pdf?sku=861350_SAIG_NSAI_NSAI_2049227)
13. Свирид М.М., Паращанов В.Г., Онищенко А.В. Комплекс для дослідження триботехнічних параметрів вузла тертя. *Проблеми тертя та зношування*. 2006. № 45. С. 204–209.
14. Пат. 70877 Укр., МПК G 01 N 3/56. Пристрій для дослідження поверхонь тертя. М.М.Свирид, А.П.Кудрін, І.А.Кравець, Л.Б.Приймак, В.М.Бородій. № u201115161. Заявл. 21.12.2011. Опубл. 25.06.2012, Бюл. № 12.
15. Трофімов І.Л., Бурикін В.В., Захарчук В.П. Дослідження протизносних властивостей палив, оброблених електричним полем, за схемою трибоконтакту «циліндр — площина». Сб. науч. тр. «Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент : техника и технология его изготовления и применения». 2011. № 14. С. 602–608.

Надійшла до редакції 01.07.19

**Трофимов И.Л.<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, **Свирид М.М.<sup>1</sup>**, канд. техн. наук,  
**Бойченко С.В.<sup>1</sup>**, докт. техн. наук, проф.,

**Яковлева А.В.<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, **Терновенко С.В.<sup>1</sup>**, **Бартош М.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> **Национальный авиационный университет, Киев**

просп. Космонавта Комарова, 1, 03058 Киев, Украина, e-mail: troffi@ukr.net, chemmotology@ukr.net

<sup>2</sup> **Жилинский университет, Жилина, Словакия**

ул. Университетская, 8215/1, 010 26 Жилина, Словакия, e-mail: miroslav.bartos1@gmail.com

## **Исследование противоизносных свойств смесевых авиационных топлив на основе этиловых эстеров рыжикового масла**

Описаны исследования, относящиеся к авиационной и машиностроительной отраслям. Экспериментально исследованы противоизносные свойства топлива для воздушно-реактивных двигателей, а также биокомпонента, полученного из рыжикового масла, и их смесей. Установлено, что смазывающая способность биокомпонента значительно выше по сравнению с традиционным нефтяным топливом для воздушно-реактивных двигателей. Экспериментально установлено, что добавление биокомпонентов в состав авиационного топлива приводит к укреплению предельной пленки, уменьшению коэффициента трения и улучшает противоизносные свойства топливных смесей. Обоснован механизм влияния эфиров жирных кислот, добавленных в авиатопливо, на улучшение противоизносных свойств. Установлено, что эфиры жирных кислот рыжикового масла положительно влияют на смазывающую способность нефтяных топлив для воздушно-реактивных двигателей и могут использоваться с целью улучшения противоизносных свойств традиционных авиационных топлив. *Библ. 15, рис. 2, табл. 1.*

**Ключевые слова:** топливо для воздушно-реактивных двигателей, рыжиковое масло, противоизносные свойства, биокомпоненты, смазывающая способность, изнашивание, трение.

**Trofimov I.L.<sup>1</sup>**, Candidate of Technical Sciences,  
**Svirid M.M.<sup>1</sup>**, Candidate of Technical Sciences,  
**Boichenko S.V.<sup>1</sup>**, Doctor of Technical Sciences, Professor,  
**Yakovlieva A.V.<sup>1</sup>**, Candidate of Technical Sciences,  
**Ternovenko S.V.<sup>1</sup>**, **Bartoš M.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> **National Aviation University, Kyiv**

1, Kosmonavt Komarov Ave., 03058 Kyiv, Ukraine, e-mail: troffi@ukr.net, chemmotology@ukr.net

<sup>2</sup> **University of Žilina, Žilina, Slovakia**

8215/1, Univerzitná Str., 010 26 Žilina, Slovakia, e-mail: miroslav.bartos1@gmail.com

## **Study of Anti-wear Properties of Blended Jet Fuels Based on Camelina Oil Ethyl Esters**

Presented studies are related to the spheres of aviation and machine-building. Anti-wear properties of conventional jet fuel, fatty acids ethyl esters bio-additives derived from camelina oil and their blends were investigated experimentally. It was found that lubricity of bio-additive is significantly higher comparing to conventional oil-derived jet fuel. It was found that addition of bio-additive into the composition of jet fuel leads to strengthening of boundary film, decreasing of friction coefficient and improvement of anti-wear properties of fuel blends. The mechanism of fatty acids esters influence on improvement of anti-wear properties of jet fuel was substantiated. It was shown that camelina oil fatty acids esters positively influence on lubricating ability of oil-derived jet fuels and may be used in order to improve anti-wear properties of conventional jet fuels. *Ref. 15, Fig. 2, Tabl. 1.*

**Key words:** jet fuel, camelina oil, anti-wear properties, biocomponents, lubricating ability, wear, friction.

## References

- Vasilieva T.V. [[Forecasting of reliability indices of aviation engineering using Fourier series]. *Nauchno-metodicheskiy elektronnyy journal «Concept» [Scientific-methodical electronic journal «Concept»*. 2016. Vol. 15. pp. 1476–1480. (Rus.) – <http://e-koncept.ru/2016/96214.htm>
- Shaabdiev S.Sh. [Analysis of reliability of fuel system of regional passenger aircraft AN-140 at the initial stage of exploitation]. *Voprosy proektirovaniya i proizvodstva konstruktsiy letatelnykh apparatov. [Questions of design and production of aircraft structures]* 2017. Iss. 3. pp. 83–89. (Rus.). – [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pptvk\\_2017\\_3\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pptvk_2017_3_9)
- Chuck C. J., Donnelly J. The compatibility of potential bioderived fuels with Jet A-1 aviation kerosene. *Applied Energy*. 2014. Vol. 118. pp. 83–91.
- Hu J., Du Z., Li C., Min E. Study on the lubrication properties of biodiesel as fuel lubricity enhancers. *Fuel*. 2005. Vol. 84. pp. 1601–1606.
- Nagornov S.A., Dvoretzkiy D.S., Romantsova S.V., Tarov V.P. [Technics and technology of production and processing of plant oils]. Tambov: Izdatelstvo GOU VPO TGTU. 2010. 96 p. (Rus). ISBN 978-5-8265-0964-7.
- Yakovleva A., Vovk O., Boichenko S., Lejda K., Kuszewski H. Physical-chemical properties of jet fuels blends with components derived from rapeseed oil. *Journal of Chemistry & Chemical Technology*. 2017. 10 (1). pp. 485–492. doi.org/10.23939/chcht10.04.485
- Sirenko G.O., Midak L.Ya., Kuzyshyn O.V., Kirichenko L.M., Kirichenko V.I. [Antifriction properties of poly-component compositions based on chemically modified rapeseed oil during lubrication of pair aromatic polyamide – steel]. *Polimerny Zhurnal. [Polymer Journal]*. 2008. No 30. pp. 338–344. (Ukr.)
- Dubovkin N.F., Yanovskiy S.L. [Engineering methods for determination of physical-chemical and exploitation properties of fuels]. Kazan : Kazanskiy nauchnyy centr Otdeleniya energetiki, Rossiyskaya inzhenernaya akademiya. 2002. pp. 365–376. (Rus.)
- Pat. 95751 Ukr., MPK C 10 L 10/00. [Method of producing component of jet fuels from plant-derived feedstock]. A.V. Yakovleva, S.V. Boichenko, O.O. Vovk. No. u201406122. Zayavleno 04.06.2014. Publ. 12.01.2015. Bull. 1. (Ukr.)
- Bratkov A., Seregin E.P., Gorenkov A.F. [Chemotology of rocket and jet fuels]. Moscow : Himiya, 1987. 304 p. (Rus.)
- An American National Standard ASTM D1655 Standard Specification for Aviation Turbine Fuel. – [https://global.ihs.com/doc\\_detail.cfm?document\\_name=ASTM%20D1655&item\\_s\\_key=00015939](https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?document_name=ASTM%20D1655&item_s_key=00015939)
- Liquid petroleum products – Fatty acid methyl esters (FAME) for use in diesel engines and heating applications – Requirements and test methods. – [https://infostore.saiglobal.com/preview/98708742874.pdf?sku=861350\\_SAIG\\_NSAI\\_NSAI\\_2049227](https://infostore.saiglobal.com/preview/98708742874.pdf?sku=861350_SAIG_NSAI_NSAI_2049227)
- Svirid M.M., Paraschanov V.G., Onischenko A.V. [Complex for studying tribotechnical parameters of friction junction]. *Problemy tertya ta znoshuvannya [Problems of friction and wear]*. 2006. Vol. 45. pp. 204–209. (Ukr.)
- Pat. 70877 Ukr., MPK G 01 N 3/56. [Device for studying friction surfaces]. M.M. Svirid, A.P. Kudrin, I.A. Kravets, L.B. Priymak, V.M. Borodiy. No. u201115161. Zayavleno 21.12.2011. Publ. 25.06.2012, Bull. 12. (Ukr.)
- Trofimov I.L., Burykin V.V., Zakharchuk V.P. [Studying of antiwear properties of fuels processed with electric field under the scheme of tribocontact «cylinder – surface». *Porodorazrushayushchiy i metaloobrabatyvayushchiy instrument: tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniya i primeneniya [Rock-destroying and metal processing instrument: technics and technology of its production and use]*. 2011. No 14. pp. 602–608. (Ukr.)

Received July 1, 2019