

І. Л. ТРОФІМОВ, М. М. СВИРИД, В. П. ЦИГАНЕНКО, А. С. МАКАРОВ

Національний авіаційний університет, Україна

ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ПРОТИЗНОСНІ ВЛАСТИВОСТІ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВ

У статті обговорюється питання протизносних властивостей традиційних та альтернативних дизельних палив. Основною метою роботи були теоретичні та експериментальні дослідження щодо впливу альтернативних біодизельних палив на рослинній основі на зміну протизносних властивостей традиційних дизельних палив. Також мета полягала у дослідженні дії магнітного поля на протизносні властивості дизельних та альтернативних дизельних палив. Проведено експериментальні дослідження протизносних властивостей традиційних і альтернативних дизельних палив на основі біокомпонентів отриманих з рижієвої олії.

Ключові слова: протизносні властивості, дизельне паливо, біокомпонент, рижієва олія, магнітне поле, тертя, зношування.

Вступ та постановка задач дослідження. При експлуатації дизельної техніки можуть виникати відмови певних систем у зв'язку з підвищенням рівня зношування деталей. Узагальнений досвід з експлуатаційної надійності паливних систем вітчизняних і закордонних дизельних двигунів свідчить, що до 50 % відмов дизельних двигунів, від 20 до 40 % – гідравлічних і майже 10 % відмов паливних систем відбуваються внаслідок зниження експлуатаційних властивостей палив, а термін роботи насосів і інших агрегатів скорочується по цій причині у 6–7 разів [2].

Підвищення довговічності, надійності і економічності дизельних двигунів виступає комплексною проблемою, вирішення якої досягається на всіх стадіях конструювання, виробництва і експлуатації виробів. Важливою умовою реалізації надійності і довговічності, покладених в конструкцію двигуна, є покращення експлуатаційних властивостей дизельного палива.

Високі вимоги до властивостей ПММ вимагаються у зв'язку з тим, що авіаційна і наземна техніка постійно удосконалюється і необхідно забезпечити її довговічність, надійність та економічність.

Характеристики дизельних двигунів можливо покращити за допомогою фізичних ефектів. Зокрема, впливом на паливо, яке надходить у дизельний двигун, електромагнітними імпульсами певної форми.

Існує достатньо робіт (наприклад, [3]), які проведені щодо вивчення спрямованого впливу електромагнітних полів на властивості різних рідин. Подібні пристрої особливо популярні для застосування у нафтохімічній промисловості та енергетиці. При цьому спостерігається зменшення ступеня забрудненості камер згоряння і трубопроводів, а також зменшення димності відпрацьованих газів.

Покращення протизносних властивостей палив для дизельних двигунів є одним з основних для забезпечення надійності роботи дизельної техніки і її вузлів тертя.

Для забезпечення сучасних вимог до дизельних палив, існує необхідність покращення трибохімічних властивостей традиційних та альтернативних дизельних палив.

Протизносні властивості палив для дизельних двигунів визначають надійність і ресурс роботи паливних агрегатів двигуна, зокрема їх пар тертя. Ці пари тертя працюють в режимах тертя кочення, тертя ковзання і комбінованого тертя при різних навантаженнях, температурах, тиску, швидкості відносного руху в умовах рідкого і граничного змащування [8].

Змащувальні властивості палив відіграють важливу роль і залежать від їх хімічного складу, в'язкості, термоокиснювальної стабільності, вмісту механічних домішок, а також наявності ПАР. Відомо, що при високих питомих навантаженнях зазвичай спостерігається напіввідкриття, при якому поверхні тертя не повністю розділені паливом [3].

У разі напіввідкритого тертя протизносні властивості палив для дизельних двигунів визначаються:

1) в'язкістю палива, що забезпечує гідродинамічний ефект розділення поверхонь тертя шаром рідини;

2) наявністю в паливі ПАР, що утворюють на поверхні тертя абсорбційний шар високої міцності, що розділяє поверхні тертя, тим самим зменшуючи коефіцієнт тертя і зношування деталей.

Одними з найпопулярніших рослинних культур в Україні для виробництва біопалив є ріпак і ріжій. Ріпак за своїм хімічним складом і технічними характеристиками є одним із найпридатніших для виробництва альтернативних палив. Проте він є досить вибагливою культурою і потребує постійного внесення добрив, а також істотно виснажує ґрунти. Додавання чистої ріпакової олії до дизельного палива не рекомендується, оскільки вона має високу в'язкість, низьку температуру змерзання, містить воду і органічні кислоти, що є несприятливими чинниками для використання чистої ріпакової олії як паливо.

Рижій має високу рентабельність виробництва. Рижієва олія є достатньо ефективною і не зменшує якість і характеристики роботи дизельних двигунів. Насіння рижію містить від 40 до 50 % олії, що забезпечує вихід олії приблизно 1250 л/га. Ще однією перевагою цієї культури є можливість використання шроту (побічного продукту) як корму для сільськогосподарських тварин та птиці.

У процесі експерименту було досліджено протизносні властивості дизельного палива, етилового естеру жирної кислоти рижієвої олії та сумішей дизелю з рослинними біокомпонентами. Біокомпоненти були представлені сумішшю метилових естерів жирних кислот рижієвої олії і відповідали вимогам EN 14214 [10], які модифіковані для застосування як компоненти палив для дизельних двигунів.

З метою дослідження стану поверхонь тертя і коефіцієнту тертя використали комплекс для дослідження трибологічних характеристик ПММ, що розроблений авторами [6,7]. З урахуванням технічних умов комплексу можливо проводити фото і відео зйомку поверхневих перетворень у динамічному режимі (рис. 1).

Пристрій, що використовується для дослідження поверхонь тертя у постійному рівномірному та нерівномірному магнітних полях містить привід обертання у вигляді електродвигуна; статор тензометричної балки, на якому закріплюється робочий зразок; диск з контртілом, до якого притискається робочий зразок за допомогою тензометричної балки, а її тензодатчик з'єднано з

приладом, який реєструє, станину, мікроскоп, фотокамеру, акустичний мікрофон, пружину навантаження, а також містить комп'ютер для відображення частотної характеристики і комп'ютер для відображення поверхні робочого зразка.

Також, додатково встановлені два магніти, один навпроти одного таким чином, що можливо змінювати розташування полюсів, паралельно диску з контртілом і робочим середовищем, які створюють постійне рівномірне і нерівномірне магнітне поле, яким впливають на робоче середовище, що дає змогу проводити додаткові дослідження.



Рис. 1. Установка для дослідження матеріалів на тертя та зношування при реверсивному переміщенні: 1 – незалежне джерело живлення для створення магнітного поля в зоні тертя, 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.

Відповідні дослідження були проведені за схемою тертя «палець-площина» матеріал зразків ШХ15 – сталь 45 (загартована до значення HRC 52), $\theta = 0,20$; $P = 5 \text{ Н}$, $\nu = 1 \text{ Гц}$. Розміри пальця-зразка: діаметр – 4 мм, довжина – 33,5 мм. Оцінка зносу зразків проводилась з профілографуванням плям зношування і одержанням величини об'ємного зношування за методикою [9]. Для проведення досліджень використовували дизельне і біодизельне паливо модифіковане етиловими естерами жирних кислот рижієвої олії, а також дизельне і біодизельне паливо модифіковане етиловими естерами жирних кислот рижієвої олії, що оброблені магнітним полем.

Для дослідження матеріалів на тертя використовували пристрій [11], що складається з електродвигуна, станини, мікроскопа Метам Р-1 «ЛОМО» фотокамери «Quick 5 Cam Express», статора тензометричної балки, де міститься пружина навантаження та акустичний мікрофон і кріпиться робочий зразок, диск з контртілом, комп'ютер для відображення частотної характеристики і комп'ютер для відображення поверхні робочого зразка.

Напрацювання на машині тертя проводились у середовищах згідно з даними таблиць 1, 2.

Таблиця 1

Матриця дослідження протизносних властивостей дизельного і біодизельного палива модифікованого етиловими естерами жирних кислот рижієвої олії

Номер зразка	Обсяг естеру в об'ємі палива, %	Час напрацювання зразка, t, [год]
1	10	20
2	20	20
3	10	20
4	20	20
5	10	60
6	20	60
7	10	60
8	20	60

Таблиця 2

Матриця дослідження протизносних властивостей дизельного і біодизельного палива модифікованого метиловими естерами жирних кислот рижієвої олії обробленого магнітним полем (при постійній дії магнітного поля)

Номер зразка	Індукція магнітного поля, Tл [Тл]	Обсяг естеру в об'ємі палива, %	Час напрацювання зразка, t, [год]
1	0,1	10	20
2	0,3	10	60
3	0,1	20	60
4	0,3	20	20
5	0,1	10	60
6	0,3	10	20
7	0,1	20	20
8	0,3	20	60

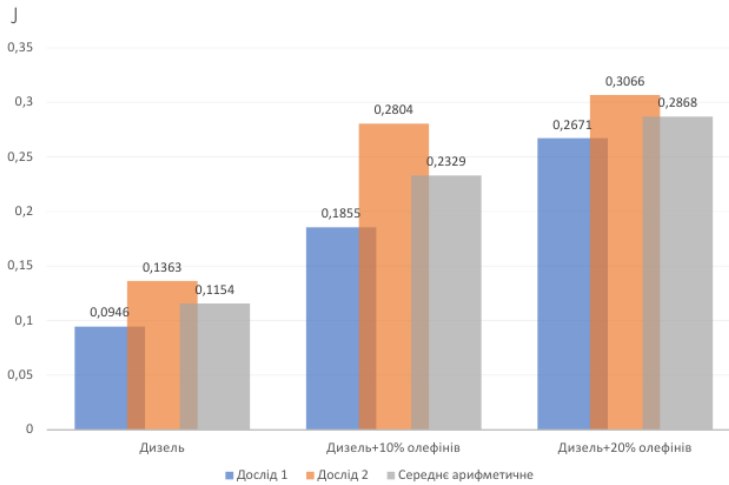


Рис. 2. Знос сплаву ШХ-15 по Ст45(3) в залежності від % вмісту естера в дизельному паливі, навантаження зразка $P = 0,5$ кг, швидкість $v = 0,2$ м/с.

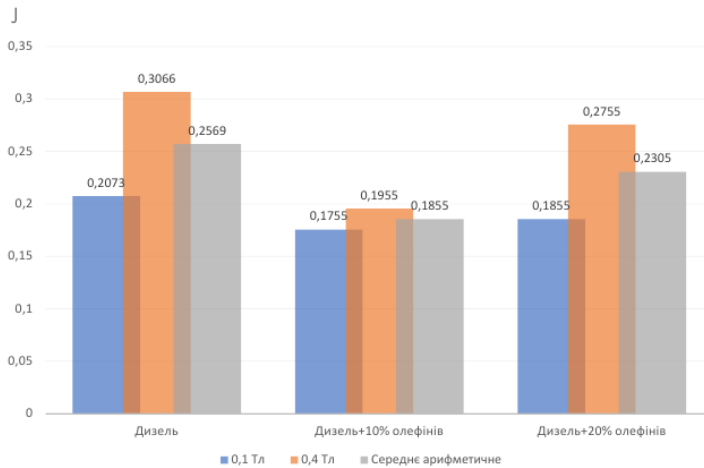
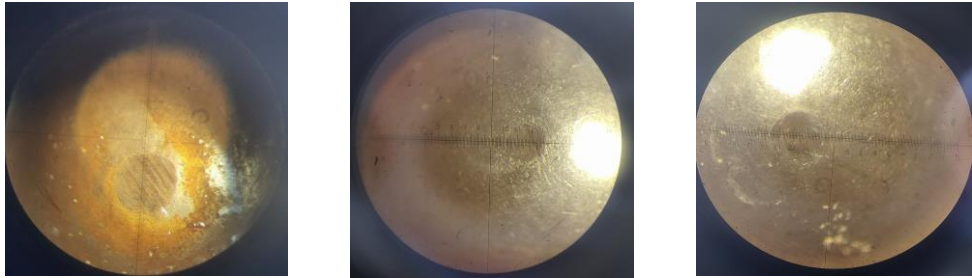


Рис. 3. Знос сплаву ШХ-15 по Ст45(3) в залежності від % вмісту естера та величини індукції магнітного поля в дизельному паливі, навантаження зразка $P = 0,5$ кг, швидкість $v = 0,2$ м/с.

На рис. 4 та рис 5. показано мікрофотографії поверхонь зразків напрацьованих у дизельному паливу та сумішевих паливах без дії магнітного поля та у магнітному полі.

Знос шароподібної поверхні в даних дослідженнях виділяється площею отриманого контакту. Напрацьовання в ДП рис. 4а характеризується утворенням плівки значної товщини паралельно з участю абразивного зносу, що провокувало сумісний винос зношеного матеріалу зразка. Зовнішній вигляд п'ятна контакту його діаметр майже в півтора рази більший ніж у ДП+20%МЕРЖ.

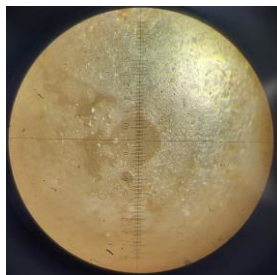


а) Напрацювання в ДП

б) Напрацювання в
ДП+10%МЕРЖв) Напрацювання в
ДП+20%МЕРЖ

Рис. 4. Мікрофотографії п'ятна контакту зношування зразка сплаву ШХ-15 в залежності від % вмісту метилового естера в дизельному паливі, нормальне навантаження на зразок $P = 0,5$ кг, швидкість $v = 0,2$ м/с.

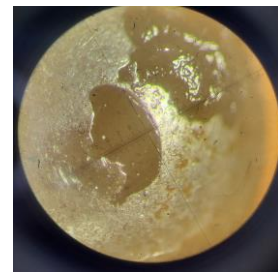
За умов напрацювання пари тертя в середовищі МП і естера простежує закономірність підвищення зносу при збільшенні сили магнітного поля через контакт.



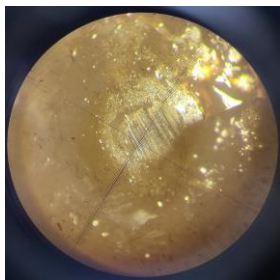
ДП+МП 0,1Тл



ДП+10%МЕРЖ МП 0,1Тл



ДП+10%МЕРЖ МП 0,4Тл



ДП+МП 0,4Тл



ДП+20%МЕРЖ МП 0,1Тл



ДП+20%МЕРЖ МП 0,4Тл

Рис. 5. Мікрофотографії п'ятна контакту зношування зразка сплаву ШХ-15 в залежності від % вмісту метилового естера в дизельному паливі оброблених магнітним полем, навантаження зразка $P = 0,5$ кг, швидкість $v = 0,2$ м/с.

Висновки. Дослідження зразків дизельних та їх сумішей з біокомпонентами показали, що додавання метилових естерів жирних кислот рижієвої олії призвели

до зростання величини зношування (див. рис. 2) у 1,8 (10% естерів) та 2,2 (20% естерів) рази відповідно. Це можна пояснити наявністю в метилових естерах жирних кислот рижієвої олії саме метилового спирту, який призводить до розчинення граничних плівок на поверхнях тертя, а отже й до зростання величини зношування.

Під час одночасного напрацювання поверхонь тертя феромагнітних зразків в подвійному середовищі естеру з магнітним полем в 0,1 Тл та 0,4 Тл встановили, що величина зношування знизилася (див. рис. 3) у 1,2 та 1,5 рази (10% естерів, магнітне поле в 0,1 Тл та 0,4 Тл відповідно); у 2,2 та 1,15 рази (20% естерів, магнітне поле в 0,1 Тл та 0,4 Тл відповідно) рази відповідно. На нашу думку, обробка мастильних середовищ магнітним полем підвищує здатність утворювати більш міцну граничну плівку на поверхнях тертя, у порівнянні з традиційним дизельним паливом нафтового походження. Ця здатність пояснюється орієнтацією молекул естерів в міжповерхневому просторі, а також їх високою в'язкістю.

Якщо приймати зразок дизельного палива за контрольний, то можемо зробити висновок, що використання метилових естерів жирних кислот рижієвої олії негативно впливає на змащувальні властивості дизельних палив. А обробка сумішевих палив магнітним полем призводить до стабілізації та покращення їх протизносних властивостей. У зв'язку з цим було розглянуто теоретико-експериментальні дослідження електрофізичного впливу на параметри традиційного вуглеводневого палива.

Отримані результати експериментальних досліджень можуть бути використані для подальших наукових досліджень з метою отримання доказової бази щодо використання впливу магнітного поля на покращення протизносних властивостей дизельних та реформульованих біокомпонентами дизельних палив.

Список літератури

1. Iakovlieva A. (2020) Antiwear Properties of Jet Fuel with Camelina Oils Bio-Additives / Iakovlieva A., Trofimov I., Boichenko S., Kuszewski H., Lejda K. // *TRANSBALTICA XI: Transportation Science and Technology. TRANSBALTICA 2019. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure*. Springer, Cham. p. 601-609.
2. Trofimov I. Influence of electric field on antiwear properties of Jet aviation fuels reformulated by biocomponents / I. Trofimov, M. Svyryd, L. Hetmanenko, S. Ternovenko // *International independent scientific journal*, Vol. 1, № 20, 2020. p. 23-30.
3. Сіренко Г.О. Антифрикційні властивості полікомпонентних композицій на основі хімічно-модифікованої ріпакової оливи під час мащення пари ароматичний поліамід - сталь / Г.О. Сіренко, Л.Я. Мідак, О.В. Кузишин, Л.М. Кириченко, В.І. Кириченко // *Полімер. журн.* — 2008. — Т. 30, № 4. — С.338-344.
4. Дослідження основних техніко-експлуатаційних характеристик альтернативних видів палива для дизельних ДВЗ / В.М. Мельник, к. т. н., доц.; Т.Й. Войцехівська; А.Р. Сумер // *Наукові праці ВНТУ*, 2018, № 2.
5. Demirbas Ayhan. Biodiesel A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engine / Ayhan Demirbas. – London: Springer-Verlag London Ltd., 2008. – p. 208.
6. Свирид М.М., Кудрін А.П., Задніпровська С.М., Ловейко М.Г., Морозова І.В. Пристрій для дослідження матеріалів на тертя та зношування при зворотнопоступальному русі Патент на корисну модель. № 45574, G01N 3/56, Заявка u200908003, 29.07.2009. Опубл. 10.11.2009, Бюл. № 21. – 8 с.

7. Пат. № 70877. Україна. G01N 3/56. Пристрій для дослідження поверхонь тертя / Свирид М.М., Кудрін А.П., Кравець І.А., Приймак Л.Б., Бородій В.М.; – № u201115161; заяв. 21.12.2011. Опубл. 25.06.2012, Бюл. № 12 – 5 с.

8. Iakovleva, A., Boichenko, S.V., Lejda, K., Vovk, O.A., Kuszewski, Kh. Antwear Properties of Plant—Mineral-Based Fuels for Airbreathing Jet Engine. Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 53(1), 1–9 (2017).

9. Трофімов І.Л. Дослідження протизносних властивостей палив оброблених електричним полем за схемою трибоконтакту «циліндр - площина» / І.Л. Трофімов, В.В. Бурикін, В.П. Захарчук // Збірка наукових праць Інституту надтвердих матеріалів ім. В.Н. Бакуля НАН України, – № 14/2011. – С.602-608.

10. Liquid petroleum products - Fatty acid methyl esters (FAME) for use in diesel engines and heating applications - Requirements and test methods.

11. Патент на корисну модель № 36600 G01N 3/56, 27.10.2008, Бюл. №20 2008.

Стаття надійшла до редакції 31.11.2023.

Трофімов Ігор Леонідович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри хімії і хімічної технології, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 097-238-28-89, E-mail: troffi@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0001-5539-1166>

Свирид Михайло Миколайович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри конструкції літальних апаратів, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 097-888-20-23, E-mail: svirid_mn@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0003-1300-0192>

Циганенко Віталій Петрович – здобувач освіти за освітнім ступенем «доктор філософії» за спеціальністю «Хімічні технології та інженерія», Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 068-355-44-60, E-mail: tsyganenko1983@ukr.net.

Макаров Артем Сергійович – здобувач освіти за освітнім ступенем «Магістр» за спеціальністю «Хімічні технології альтернативних енергоресурсів», Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 066-029-61-64, E-mail: artyom40922@gmail.com.

I. L. TROFIMOV, M. M. SVYRYD, V. P. TSYHANENKO, A. S. MAKAROV

INFLUENCE OF MAGNETIC FIELD ON THE ANTIWEAR PROPERTIES OF DIESEL FUELS REFORMULATED BY BIOCOMPONENTS

The article discusses the issue of antiwear properties of traditional and alternative diesel fuels. The main goal of this work was the theoretical and experimental studies on the effect of alternative biodiesel fuels (on a plant basis) on the change in the antiwear properties of traditional diesel fuels. Also, the goal was to study the effect of the magnetic field on the antiwear properties of diesel and alternative diesel fuels. Experimental studies have been conducted for the antiwear properties of traditional and alternative diesel fuels based on biocomponents obtained from rye oil. The studies showed that the addition of methyl esters of fatty acids of rye oil led to an increase in the amount of wear by 1.8 (10% esters) and 2.2 (20% esters) for the diesel samples and their mixtures with biocomponents, respectively. During the treatment of fuels with a magnetic field of 0.1 T and 0.4 T, it was established that the amount of wear is 1.2 and 1.5 times (10% esters, a magnetic field of 0.1 T and 0.4 T, respectively); 2.2 and 1.15 times (20% esters, magnetic field of 0.1 T and 0.4 T, respectively) times, respectively. It was established that the treatment with a magnetic field stabilizes the antiwear properties of diesel fuels in the case of addition a biological component to them. The results of studies can be applied in the chemical industry, the transport industry, in particular, in the operation of diesel vehicles. The article results can be useful to tribologists, chemical experts, as well as scientists involved in the development and implementation of alternative engine fuels.

Key words: antiwear properties, diesel fuel, biocomponent, rye oil, magnetic field, friction, wear.

References

1. Iakovlieva A. (2020) Antiwear Properties of Jet Fuel with Camelina Oils Bio-Additives / Iakovlieva A., Trofimov I., Boichenko S., Kuszewski H., Lejda K. // *TRANSBALTICA XI: Transportation Science and Technology. TRANSBALTICA 2019. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure.* Springer, Cham. p. 601-609.
2. Trofimov I. Influence of electric field on antiwear properties of Jet aviation fuels reformulated by biocomponents / I. Trofimov, M. Svyryd, L. Hetmanenko, S. Ternovenko // *International independent scientific journal*, Vol. 1, №. 20, 2020. p. 23-30.
3. Sirenko H.O. Antifriction properties of multicomponent compositions based on chemically modified rapeseed oil during lubrication of steam aromatic polyamide - steel / H.O. Sirenko, L.Ya. Midak, O.V. Kuzyshyn, L.M. Kyrychenko, V.I. Kyrychenko // *Polymer. journal* — 2008. — Vol. 30, No. 4. — p. 338-344.
4. The study of main technical and operational characteristics of alternative fuels for diesel IC engines / V.M. Melnyk, PhD, assoc. Prof.; T. I. Voitsehivska; A.R. Sumer // *Scientific works of VNTU*, 2018, No. 2.
5. Demirbas Ayhan. Biodiesel A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engine / Ayhan Demirbas. – London: Springer-Verlag London Ltd., 2008. – p. 208.
6. Svyryd M.M., Kydrin A.P., Zadniprovska S.M., Loveiko M.H., Morozova I.V. A device for study the materials on friction and wear during reciprocating motion. The utility model patent No. 45574, G01N 3/56, appl. u200908003, 29.07.2009. Published on 10.11.2009, Bul. No. 21. – 8 p.
7. Patent No. № 70877. Ukraine. G01N 3/56. A device for the study of friction surfaces / Svyryd M.M., Kudrin A.P., Kravets I.A., Priimak L.B., Borodii V.M.; – No. u201115161; appl. 21.12.2011. Published on 25.06.2012, Bul. № 12 – 5 p.
8. Iakovleva, A., Boichenko, S.V., Lejda, K., Vovk, O.A., Kuszewski, Kh.: Antiwear Properties of Plant—Mineral-Based Fuels for Airbreathing Jet Engine. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils* . 53(1), 1–9 (2017).
9. Trofimov I.L. Study of the antiwear properties of fuels treated with an electric field according to the «cylinder – plane» tribocontact scheme. / I.L. Trofimov, V.V. Burykin, V.P.

Zakharchuk // Collection of scientific works of the Institute of superhard materials, named V.N. Bakulia NAS of Ukraine, – No. 14/2011. – p. 602-608.

10. Liquid petroleum products - Fatty acid methyl esters (FAME) for use in diesel engines and heating applications - Requirements and test methods.

11. The utility model patent No. 36600 G01N 3/56, 27.10.2008, Bul. No. 20 2008.

Trofimov Ihor Leonidovych - PhD, associate professor, associate professor of the Department of Chemistry and Chemical Technology, National Aviation University, 1 Lubomyra Huzar Ave., Kyiv, Ukraine, 03058, phone: +38 097-238-28-89, E-mail: troffi@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-5539-1166>.

Svyryd Mikhailo Mykolaiovych – PhD, associate professor, associate professor of the Department of Aircraft Design, National Aviation University, 1 Lubomyra Huzar Ave., Kyiv, Ukraine, 03058, phone: +38 097-888-20-23, E-mail: svirid_mn@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-1300-0192>.

Tsyhanenko Vitalii Petrovych – PhD candidate of education by specialty «Chemical technologies and engineering», National Aviation University, 1 Lubomyra Huzar Ave., Kyiv, Ukraine, 03058, phone: +38 068-355-44-60, E-mail: tsyhanenko1983@ukr.net.

Makarov Artem Serhiiiovych – Master degree candidate of education by specialty «Chemical technologies of alternative energy sources», National Aviation University, 1 Lubomyra Huzar Ave., Kyiv, Ukraine, 03058, phone: +38 066-029-61-64, E-mail: artyom40922@gmail.com.