

УДК 665.753(045)
UDC 665.753(045)

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА,
З ВИКОРИСТАННЯМ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАНОЇ
РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

Яковлева А.В., кандидат технічних наук, Національний авіаційний університет, Київ, Україна,
anna.yakovlieva@nau.edu.ua, orcid.org/0000-0002-7618-7129

Бойченко С.В., доктор технічних наук, Національний авіаційний університет, Київ, Україна,
chemmotology@ukr.net, orcid.org/0000-0002-1196-3852

Щербаченко В.А., Національний авіаційний університет, Київ, Україна
vladyslav.shcherbachenko@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0699-7716

STUDYING EXPLOITATION PARAMETERS OF JET ENGINE POWERED BY ALTERNATIVE
FUELS BASED ON RENEWABLE PLANT FEEDSTOCK

Yakovlieva A.V., PhD, National aviation university, Kyiv, Ukraine, anna.yakovlieva@nau.edu.ua,
orcid.org/0000-0002-7618-7129,

Boichenko S.V., Doctor of Technical Sciences, National aviation university, Kyiv, Ukraine,
chemmotology@ukr.net, orcid.org/0000-0002-1196-3852,

Shcherbachenko V.A., National aviation university, Kyiv, Ukraine,
vladyslav.shcherbachenko@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0699-7716

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ АВИАЦИОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВ НА ОСНОВЕ
ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Яковлева А.В., кандидат технических наук, Национальный авиационный университет, Киев,
Украина, anna.yakovlieva@nau.edu.ua, orcid.org/0000-0002-7618-7129

Бойченко С.В., доктор технических наук, Национальный авиационный университет, Киев,
Украина, chemmotology@ukr.net, orcid.org/0000-0002-1196-3852

Щербаченко В.А., Национальный авиационный университет, Киев, Украина,
vladyslav.shcherbachenko@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0699-7716

Вступ

Сучасний сектор повітряного транспорту постійно розвивається. Світовий обсяг авіаперевезень збільшується на 4–5 % щорічно. Діяльність сучасної транспортної галузі забезпечується завдяки практично єдиному джерелу викопного палива – нафті, яка постачає 95 % загальної енергії, що використовується у світовому транспорті. На сьогоднішній день цивільна авіація переважно використовує похідну від нафтопродукту – авіаційний керосин, відомий як реактивне паливо. У майбутньому це може викликати небезпеку щодо безпеки постачання палива та експлуатаційних витрат. Окрім ситуації з виснаженням родовищ сирої нафти, стан навколишнього середовища викликає особливу стурбованість. Згідно з доповіддю Міжурядової групи експертів з питань зміни клімату, транспорт є причиною 23 % світових викидів парникових газів та близько 2 % пов'язаних з авіацією. За прогнозами, споживання енергії в світі транспортом зростатиме приблизно на 2 % кожного року, а загальне споживання енергії транспортом до 2030 р. буде приблизно на 80 % перевищувати поточний рівень.

Вищезазначені чинники викликали інтерес до розвитку авіаційного палива, виробленого з альтернативних джерел. Прогрес у хімічній технології забезпечує альтернативні способи виробництва авіаційних палив переробленням вугілля, газу або різних видів біомаси. Сьогодні вчені переважно працюють над виробництвом відновлюваних реактивних палив (паливо, яке виробляється з відновлюваних джерел сировини – рослинних олій, жирів, крохмалю або цукровий рослин, органічних відходів, водоростей тощо) та поліпшення їх властивостей. Паралельно із забезпеченням наявності сировини для виробництва авіаційного палива і забезпечення високої якості нових видів палива, надійних в експлуатації на повітряних судах, важливим фактором є зменшення викидів відпрацьованих газів.

Перш ніж використовувати нове альтернативне авіаційне паливо на комерційних рейсах, потрібно провести довготривалий комплекс досліджень та випробувань. Зазвичай він включає в себе наступні етапи: лабораторний метод дослідження альтернативного палива, лабораторні випробування фізико-хімічних, експлуатаційних та екологічних властивостей, стендові випробування на модельних реактивних двигунах, тестові польоти, розробка нормативної документації для нових альтернативних реактивних палив.

Робота присвячена дослідженню параметрів роботи газотурбінного двигуна (ГТД) з використанням традиційного та альтернативного авіаційного палива під час випробування на стенді. Основною метою дослідження є тестування та порівняння звичайного реактивного палива та нещодавно розробленого альтернативного реактивного палива в умовах експлуатації двигуна та підтвердження гіпотези про те, що альтернативні реактивні палива можуть бути використані як робочі палива для реактивних двигунів, що забезпечує його надійну та ефективну роботу.

Актуальність дослідження екологічних ризиків не викликає сумнівів, адже аналіз ризику є частиною системного підходу до прийняття політичних рішень, процедур і практичних заходів у вирішенні завдань попередження або зменшення небезпеки для життя людини, захворювань або шкоди навколишньому середовищу, званого в нашій країні забезпеченням промислової безпеки, а за кордоном – управлінням ризиком. При цьому аналіз ризику або ризик-аналіз визначається як систематичне використання наявної інформації для виявлення небезпек і оцінки ризику для окремих осіб або груп населення, майна або навколишнього середовища.

Основна частина

Стендові випробування ГТД виконували з метою випробування нових альтернативних палив для ГТД, модифікованих біодобавками та доведення гіпотези, що таке паливо, може використовуватися як робоче тіло авіаційних двигунів. Програма стендових випробувань ГТД передбачає дослідження двох видів альтернативних палив, модифікованих біодобавками, на певних робочих режимах ГТД з фіксацією визначених експлуатаційних характеристик та подальшим порівнянням з характеристиками за використання традиційного палива для ГТД.

При цьому якість палива визначали за дросельними характеристиками двигуна, зведеними до стандартних атмосферних умов (САУ), саме тягою, погодинною витратою палива, температурою робочого тіла за турбіною, тиску за компресором, тиску у паливному колекторі та прийомистості в залежності від швидкості обертання ротора двигуна).

Для виконання стендових випробувань використовували традиційне паливо для ГТД марки Jet A-1 та нові альтернативні види палива з використанням біодобавки, що представляють собою етилові естери жирних кислот (ЕЕЖК) ріпакової олії, що були виготовлені в Інституті біоорганічної хімії та нафтохімії Національної академії наук України та були спеціально модифіковані вакуумною перегонкою.

Таблиця 1 – Опис зразків палива, що використовуються для випробувань
Table 1 – Description of fuel samples used for the tests

№	Опис зразків палива	Позначення зразків
1.	Паливо для ГТД марки Jet A-1	Паливо для ГТД
2.	Паливо для ГТД + 10% біодобавки модифікованої ЕЕЖК	Паливо для ГТД + 10% ЕЕЖК(М)
3.	Паливо для ГТД + 20% біодобавки модифікованої ЕЕЖК	Паливо для ГТД + 20% ЕЕЖК(М)

Головною метою роботи є дослідження робочих характеристик авіаційного двигуна (АД) з використанням нових альтернативних палив для повітряно-реактивних двигунів (ПРД), модифікованих біодобавками на основі рослинних олій та довести, що такі палива, можуть використовуватися як робоче тіло ГТД.

Таким чином далі буде описано висновки стосовно кожного індивідуального параметру дослідження.

Тяга. На рис. 1 наведено результати вимірювання тяги ГТД з використанням традиційного палива для ГТД, альтернативного палива для ГТД, модифікованого біодобавками на основі ЕЕЖК(М) у кількості 10 % та 20 %. Зміна тягової характеристики представлена як функція умов роботи двигуна – кута α ВКД.

Результати на рисунку 2 показують істотну різницю в тязі за використання традиційного палива для ГТД та альтернативних палив. Вихід двигуна з режиму холостого ходу до 0,8 від

номінального та створення тяги близько 4000 Н за використання альтернативного палива забезпечується меншою відносною частотою обертання ротора (48,5 %). У порівнянні з традиційним паливом для ГТД таке ж значення тяги забезпечується більш високою частотою обертання ротора (близько 58 %).

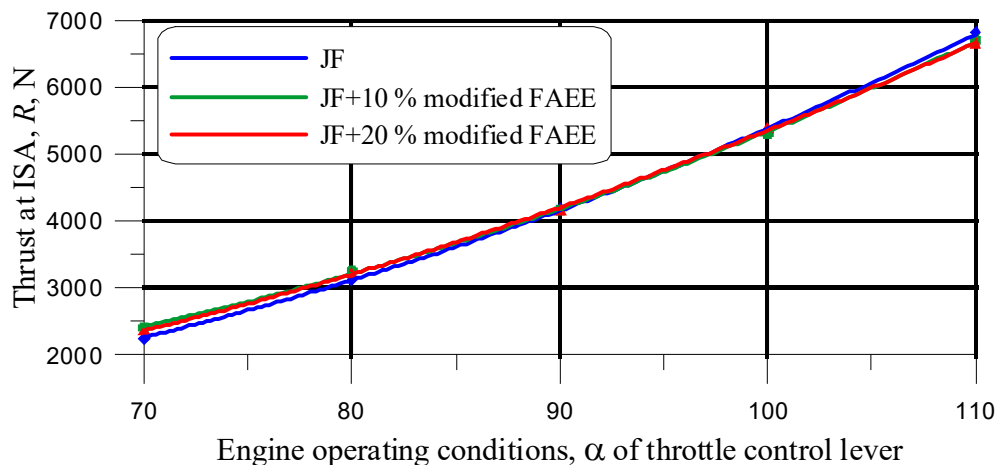


Рисунок 1 – Тяга ГТД як функція умов роботи двигуна від кута α ВКД з використанням: 1 – палива для ГТД, 2 – палива для ГТД + 10 % ЕЕЖК(М), 3 – палива для ГТД + 20 % ЕЕЖК(М)
Figure 1 – Jet engine thrust as a function of engine operating conditions when powered with 1 – JF Jet A-1; 2 – JF + 10 % of modified FAEE; 3 – JF + 20 % of modified FAEE

Бачимо, що для створення тих показників тяги виконується менша робота двигуна. Результати показують, що альтернативне паливо для ГТД є більш ефективним у порівнянні з традиційним паливом марки Jet A-1. У той же час не було виявлено істотної різниці в тязі ГТД, під час використання палива для ГТД, модифікованими біодобавками у кількості 10 % та у кількості 20 %.

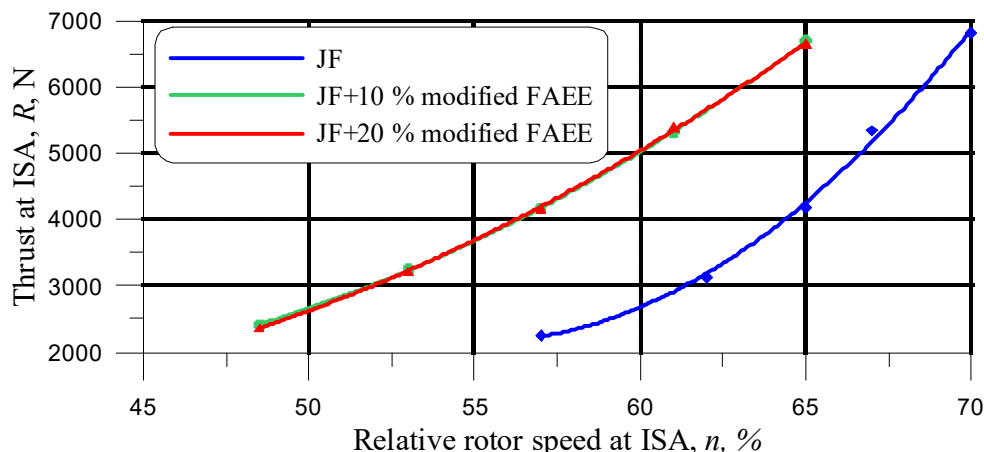


Рисунок 2 – Тяга ГТД як функція частоти обертання ротора з використанням: 1 – палива для ГТД, 2 – палива для ГТД + 10 % ЕЕЖК(М), 3 – палива для ГТД + 20 % ЕЕЖК(М)
Figure 2 – Jet engine thrust as a function of engine rotor speed when powered with 1 – JF Jet A-1; 2 – JF + 10 % of modified FAEE; 3 – JF + 20 % of modified FAEE

Витрата палива. На рисунку 3 показано результат визначення витрати палива ГТД ГТД з використанням традиційного палива для ГТД, альтернативного палива для ГТД, модифікованого біодобавками на основі ЕЕЖК(М) у кількості 10 % та 20 %. Значення витрати палива представлено як функцію умов роботи двигуна – кута α ВКД. На графіку подано дані про об'ємну витрату палива.

Якщо співвіднести отримані результати витрати палива з результатами тяги ГТД, ми можемо зробити загальний висновок про те, що ГТД повинен виконувати меншу роботу для досягнення тих самих характеристик ефективності (тяга та витрата палива) у випадку, коли працює на альтернативному паливі, модифікованому біодобавками. Таким чином, отриманий результат дозволяє

зробити висновок про підвищення енергетичної та паливної ефективності нових альтернативних палив для ГТД.

Використання альтернативного палива для ГТД, модифікованого біодобавками на основі ЕЕЖК(М) зумовлює зниження витрати палива у порівнянні з традиційним паливом для ГТД.

Цей позитивний результат по зниженню витрати палива був досягнутий завдяки вищій густині альтернативного палива для ГТД.

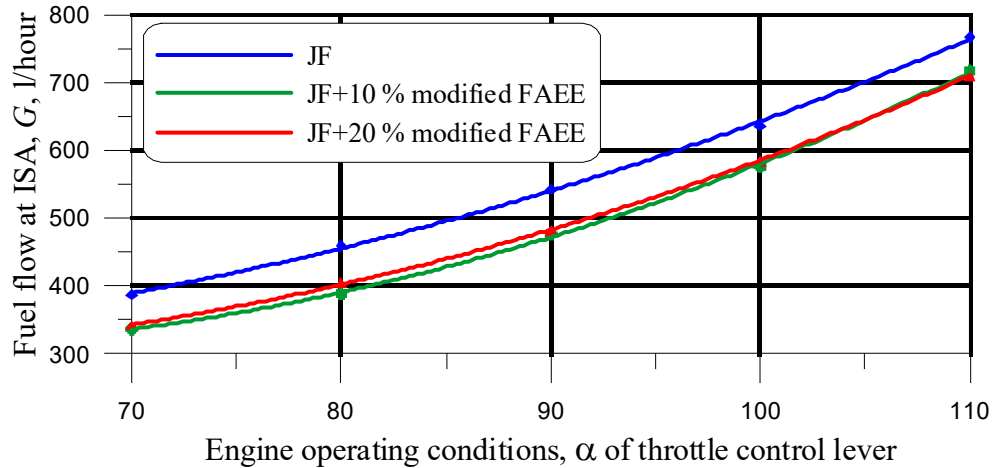


Рисунок 3 – Витрата палива як функція умов роботи ГТД від кута α ВКД з використанням: 1 – палива для ГТД, 2 – палива для ГТД + 10 % ЕЕЖК(М), 3 – палива для ГТД + 20 % ЕЕЖК(М)
 Figure 3 – Fuel flow as a function of engine rotor speed when powered with 1 – JF Jet A-1; 2 – JF + 10 % of modified FAEE; 3 – JF + 20 % of modified FAEE

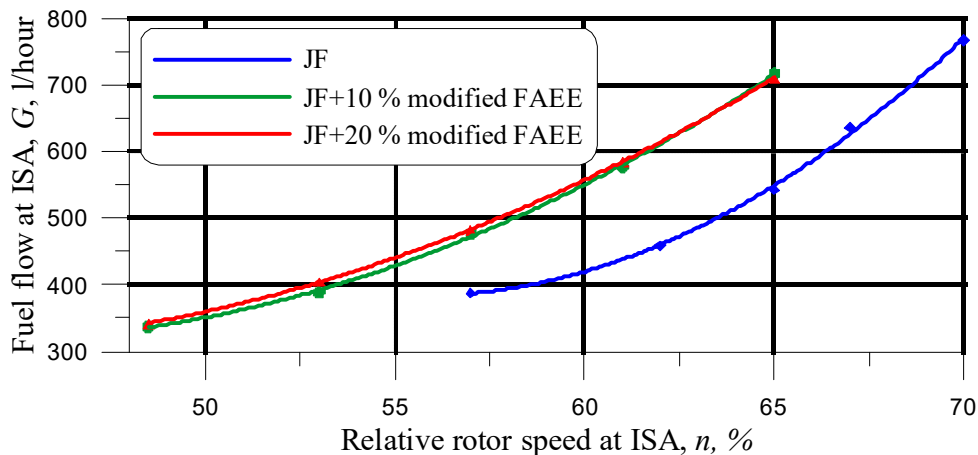


Рисунок 4 – Витрата палива як функція частоти обертання ротора ГТД з використанням: 1 – палива для ГТД, 2 – палива для ГТД + 10 % ЕЕЖК(М), 3 – палива для ГТД + 20 % ЕЕЖК(М)
 Figure 4 – Fuel flow as a function of engine rotor speed when powered with 1 – JF Jet A-1; 2 – JF + 10% of modified FAEE; 3 – JF + 20% of modified FAEE

Тиск на форсунках. Наступний рисунок 5 показує результати визначення тиску на форсунках перед введенням палива в камеру згоряння з використанням традиційного палива для ГТД, альтернативного палива для ГТД, модифікованого біодобавками на основі ЕЕЖК(М) у кількості 10 % та 20 %. Даний параметр представлено як функцію умов роботи двигуна – кута α ВКД.

З наведеного графіка видно, що тиск на форсунках, що утворюється під час постачання всіх досліджених зразків палив, не має значних відмінностей. При виході ГТД з режиму холостого ходу до 0,8 номінального режиму ($\alpha \approx 80$) паливо, модифіковане біодобавками у кількості 10 % та 20 %, зумовлює підвищений тиск у паливному колекторі. Це може бути пояснено більшими значеннями в'язкості альтернативного палива. У той же час під час виходу на 0,9 номінального режиму ($\alpha \approx 90 \rightarrow 100$) різниця в тиску стає меншою. Та на номінальному режимі ($\alpha \approx 110$) всі випробувані палива показали однакові значення тиску на форсунках. Загалом, експериментальні значення тиску в перебувають у допустимих межах.

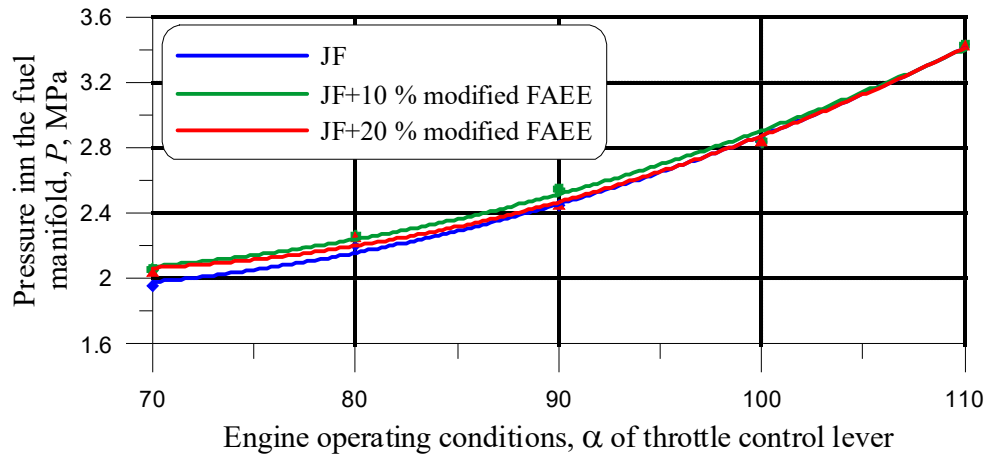


Рисунок 5 – Тиск на форсунках як функція умов роботи ГТД від кута α ВКД з використанням: 1 – палива для ГТД, 2 – палива для ГТД + 10 % ЕЕЖК(М), 3 – палива для ГТД + 20 % ЕЕЖК(М)
 Figure 5 – Pressure in fuel manifold as a function of engine operating conditions when powered with 1 – JF Jet A-1; 2 – JF + 10 % of modified FAEE; 3 – JF + 20 % of modified FAEE

Температура газу за турбіною. На рисунку 6 наведено результат вимірювання температури газу за турбіною ГТД з використанням використанням традиційного палива для ГТД, альтернативного палива для ГТД, модифікованого біодобавками на основі ЕЕЖК(М) у кількості 10 % та 20 %. Даний параметр представлено як функцію умов роботи двигуна – кута α ВКД.

З наведеного графіка видно, що використання традиційного палива забезпечує підвищення температури газу за турбіною порівняно з альтернативними паливами. Тут спостерігається поступове зменшення температури газу за турбіною при збільшенні вмісту біодобавки в альтернативних паливах. Цей ефект вважається позитивним через кілька причин. Перш за все, зниження температури може позитивно впливати на матеріали та структуру вихлопної системи ГТД. Відомо, що металеві сплави, які використовуються для виготовлення жарових труб, повинні бути стійкими до надзвичайно високих температур, що створюються струменями гарячого газу. Таким чином, використання альтернативного палива може сприяти підвищенню довговічності конструкції ГТД.

Відомо також, що висока температура газового потоку, є причиною окиснення атмосферного азоту та утворення викидів NO_x . Існує пряма залежність між температурою газу та кількістю викидів NO_x . З цього твердження можна зробити висновок, що зниження температури за турбіною може позитивно впливати на загальне скорочення викидів NO_x .

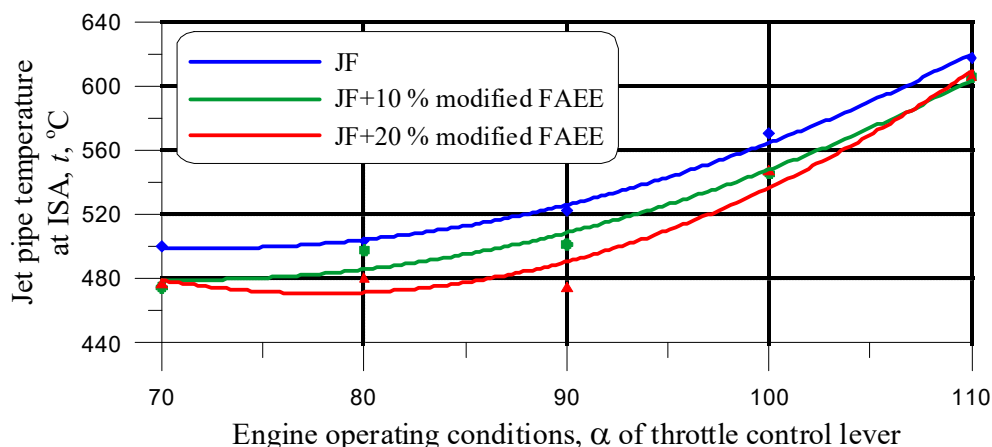


Рисунок 6 – Температура газу за турбіною як функція умов роботи ГТД від кута α ВКД з використанням: 1 – палива для ГТД, 2 – палива для ГТД + 10 % ЕЕЖК(М), 3 – палива для ГТД + 20 % ЕЕЖК(М)

Fig. 6. Jet pipe temperature as a function of engine rotor speed when powered with 1 – JF Jet A-1; 2 – JF + 10 % of modified FAEE; 3 – JF + 20 % of modified FAEE

Відносна частота обертання ротора. На рисунку 7 наведено результати дослідження відносної частоти обертання ротора ГТД з використанням традиційного палива для ГТД, альтернативного палива для ГТД, модифікованого біодобавками на основі ЕЕЖК(М) у кількості 10 % та 20 %. Вивчений параметр представлено як функцію умов роботи двигуна – кута α ВКД.

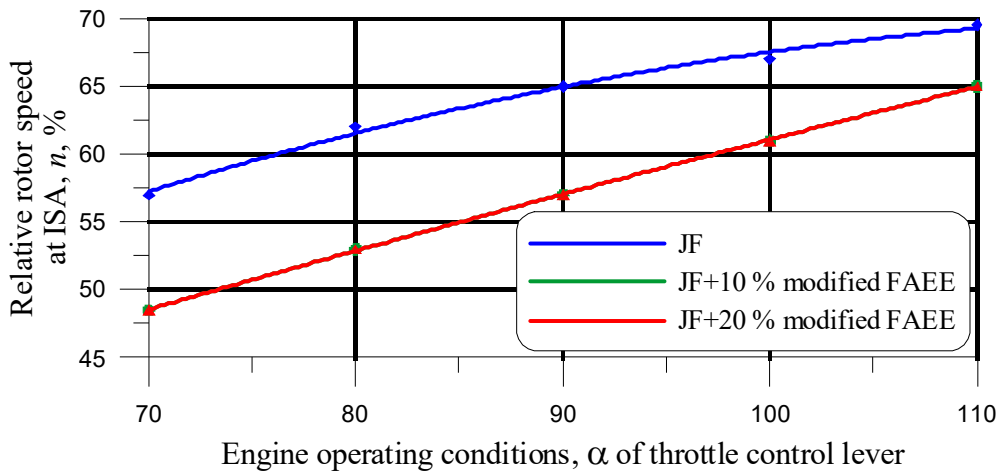


Рисунок 7 – Відносна частота обертання ротора як функція умов роботи ГТД від кута α ВКД з використанням: 1 – палива для ГТД, 2 – палива для ГТД + 10 % ЕЕЖК(М), 3 – палива для ГТД + 20 % ЕЕЖК(М)

Figure 7 – Rotor speed as a function of engine rotor speed when powered with 1 – JF Jet A-1; 2 – JF + 10% of modified FAEE; 3 – JF + 20% of modified FAEE

З графіка на рисунку 7 можна побачити, що альтернативні палива, модифіковані біодобавками у кількості 10 % та 20 %, зумовлюють істотне зниження відносної частоти обертання ротора ГТД, порівняно з традиційним паливом. При співставленні отриманих результатів з результатами по дослідженню тяги та витрати палива можна зробити загальний висновок про те, що використання альтернативного палива є ефективнішим порівняно з традиційним паливом для ГТД.

Приємність. Останній параметр, що досліджували під час випробувань палива для ГТД, була приємність двигуна. Даний параметр характеризує час, необхідний для досягнення максимальної тяги ГТД. Приємність вимірювали як час необхідний для переходу від режиму холостого ходу до номінального режиму. Результати вимірювань наведено на рисунку 8. З графіка на рисунку 8 видно, що використання альтернативних палива, модифікованих біодобавками у кількості 10 % та 20 %, призводить до зниження приємності двигуна у порівнянні з традиційним паливом. Проте різниця у часі не є істотною і знаходиться у межах експлуатаційних норм для випробуваного ГТД.

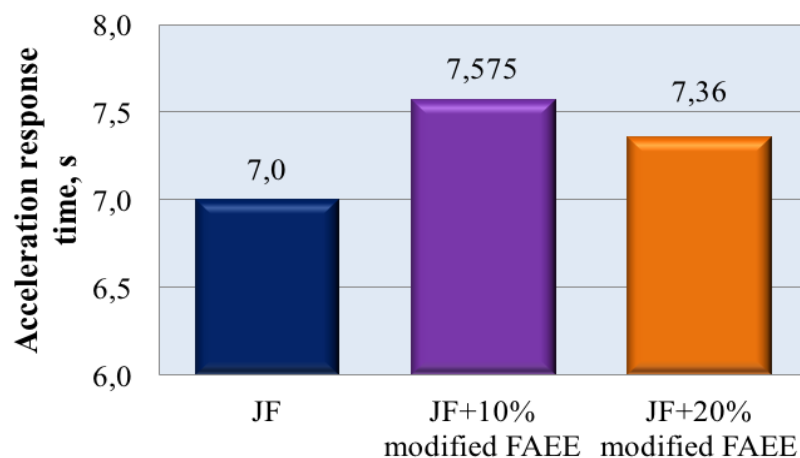


Рисунок 8 – Приємність ГТД з використанням: 1 – палива для ГТД, 2 – палива для ГТД + 10 % ЕЕЖК(М), 3 – палива для ГТД + 20 % ЕЕЖК(М)
 Figure 8 – Acceleration response time for JE when powered with: 1 – JF Jet A-1; 2 – JF + 10 % of modified FAEE; 3 – JF + 20 % of modified FAEE

Висновки

Результати стендових випробувань робочих параметрів ГТД з використанням використанням традиційного палива для ГТД та альтернативного палива для ГТД, модифікованого біодобавками на основі ЕЕЖК(М) у кількості 10 % та 20 % дали змогу зробити наступні висновки:

Використання альтернативного палива для ГТД, модифікованого біодобавками на основі ЕЕЖК(М), зумовлює покращення тягових характеристик ГТД. Так, аналогічні значення тяги ГТД досягаються за нижчої частоти обертання ротора у випадку, коли ГТД працює на альтернативному паливі, на відміну від роботи на традиційному паливі. Альтернативне паливо для ГТД, модифіковане біодобавками на основі ЕЕЖК(М) є більш ефективним у порівнянні з традиційним паливом марки Jet A-1. У той же час не було виявлено істотної різниці в тязі ГТД, створеної двома зразками альтернативних палив.

Використання альтернативного палива для ГТД, модифікованого біодобавками на основі ЕЕЖК(М) зумовлює зниження витрати палива у порівнянні з традиційним паливом для ГТД. Цей позитивний результат по зниженню витрати палива був досягнутий завдяки вищій густині альтернативного палива для ГТД.

Використання альтернативного палива для ГТД, модифікованого біодобавками на основі ЕЕЖК(М), призводить до зменшення температури газу за турбіною порівняно з традиційним паливом для ГТД. Зниження температури матиме позитивний вплив на підвищення довговічності матеріалів та структури вихлопної системи ГТД, а також на зменшення загальних викидів NOx.

Використання альтернативного палива для ГТД, модифікованого біодобавками на основі ЕЕЖК(М), призводить до зменшення відносної частоти обертання ротора ГТД в порівнянні з традиційним паливом. Встановлено, що менше роботи виконується ГТД для створення такої ж тяги, отже альтернативне паливо забезпечує більш ефективну роботу ГТД.

Використання альтернативного палива для ГТД, модифікованого біодобавками на основі ЕЕЖК(М), призводить до неістотного збільшення часу прийомистості ГТД порівняно з традиційним паливом. Однак різниця у часі не є суттєвою і знаходиться в межах експлуатаційних норм для випробуваного ГТД.

В результаті стендових випробувань було зроблено висновок, що експлуатаційні параметри ГТД за використання нових альтернативних палив повністю задовольняють експлуатаційні норми, встановлені для випробуваного ГТД.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Abu-Taieh, C.; Evon, J. 2011. *Technology Engineering and Management in Aviation: Advancements and Discoveries*. Information Science Reference.
2. Asgari, H.; Chen, X.; Sainudiin, R. 2013. Modelling and simulation of gas turbines. *International Journal of Modelling, Identification and Control*, 25(3):1–15.
3. ASTM D1655-17. 2017. *Standard Specification for Aviation Turbine Fuels*.
4. *Авиационный турбореактивный двигатель РУ 19А-300, руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию*, ЗАО «АНТЦ Технолог», 2001.
5. Boichenko, S., Iakovlieva, A., Vovk, O. 2013. Traditional and alternative jet fuels: problems of quality standardization. *Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology* 4(3): 28–35.
6. Defence Standard 91-91. 2016. *Turbine Fuel, Kerosine Type, Jet A-1. NATO Code: F-35 Joint Service Designation: AVTUR. Iss. 9*.
7. Франчук Г.М., Ісаєнко В.М.: *Екологія, авіація і космос*, Київ: НАУ, 2004.
8. Hileman, J.I., Stratton, R.W. 2014. Alternative jet fuel feasibility, *Transport Policy* 34:52–62.
9. Iakovlieva, A., Vovk, O., Boichenko, S.: Experimental study of rape oil esters influence on physical-chemical properties of jet fuels. *Proceedings of the 19th Conference for Junior Researchers ‘Science – Future of Lithuania’ Transport engineering and management*, 6 May 2016, Vilnius. p. 85–89.
10. Iakovlieva, A.; Boichenko, S.; Lejda, K.; Vovk, O.; Shkilniuk I. 2017. Vacuum Distillation of Rapeseed Oil Esters for Production of Jet Fuel Bio-Additives, *Procedia Engineering* 187: 363–370. DOI: doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.387

11. Кулик Н.С., Аксенов А.Ф., Яновский Л.С. и др.: *Авиационная химмотология: топлива для авиационных двигателей. Теоретические и инженерные основы применения.* Киев: НАУ, 2015.
12. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2016. *Commercial Aircraft Propulsion and Energy Systems Research: Reducing Global Carbon Emissions.* Washington, DC: The National Academies Press. doi:10.17226/23490.
13. Терещенко Ю.М. та ін.: *Теорія теплових двигунів. Газодинамічний розрахунок елементів газотурбінних двигунів,* Київ: НАУ, 2015.
14. *The jet engine.* 1996. Rolls-Royce plc. Renault Printing Co Ltd.
15. Yakovleva, A.; Boichenko, S.; Leida, K.; Vovk, O.; Kuzhevskii, Kh. 2017. Influence of Rapeseed Oil Ester Additives on Fuel Quality Index for Air Jet Engines, *Chemistry and Technology of Fuels and Oils* 53(3):308–317. DOI:doi.org/10.1007/s10553-017-0807-5
16. Яновский Л.С., Федоров Е.П., Варламова Н.И.: *Альтернативные реактивные топлива: проблемы и перспективы.* Вісник Національного авіаційного університету. №1, 2009, с. 108–112.
17. Яновский Л.С., Дубовкин Н.Ф., Галимов Ф.М. и др.: *Инженерные основы авиационной.* Казань: Изд-во. Казан. Ун-та, 2005.
18. Яковлева А.В., Бойченко С.В., Шкильнюк И.А., и др.: *Сравнительные характеристики физико-химических свойств топлив для воздушно-реактивных двигателей разных стран-производителей. Энерготехнологии и ресурсосбережение,* № 4, 2013, с. 15–22.

REFERENCES

1. Abu-Taieh, C.; Evon, J. 2011. *Technology Engineering and Management in Aviation: Advancements and Discoveries.* Information Science Reference.
2. Asgari, H.; Chen, X.; Sainudin, R. 2013. Modeling and simulation of gas turbines. *International Journal of Modeling, Identification and Control,* 25 (3): 1-15.
3. ASTM D1655-17. 2017. *Standard Specification for Aviation Turbine Fuels.*
4. *Aircraft turbojet engine RU 19A-300, operating and maintenance manual,* CJSC "ANTT Technolog", 2001.
5. Boichenko S., Iakovlieva A., Vovk, O. 2013. Traditional and alternative jet fuels: problems of quality standardization. *Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology* 4 (3): 28-35.
6. Defense Standard 91-91. 2016. *Turbine Fuel, Kerosine Type, Jet A-1.* NATO Code: F-35 Joint Service Designation: AVTUR. Iss 9
7. Franchuk GM, Isaenko V.M.: *Ecology, aviation and space,* Kyiv: NAU, 2004.
8. Hilleman, J.I., Stratton, R.W. 2014. Alternative jet fuel feasibility, *Transport Policy* 34: 52-62.
9. Iakovlieva, A., Vovk, O., Boichenko, S.: *Experimental study of rape oil esters influence on the physical-chemical properties of jet fuels.* Proceedings of the 19th Conference for Junior Researchers' Science - Future of Lithuania "Transport Engineering and Management, 6 May 2016, Vilnius. p. 85-89.
10. Iakovlieva, A.; Boichenko, S.; Leyda, K.; Vovk, O.; Shkilniuk I. 2017. Vacuum Distillation of Rapeseed Oil Esters for the Production of Jet Fuel Bio-Additives, *Procedia Engineering* 187: 363-370. DOI: doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.387
11. Kulik NS, Aksenov AF, Yanovsky L.S. et al.: *Aviation Chemmotology: Fuel for Aviation Engines. Theoretical and engineering bases of application.* Kiev: NAU, 2015.
12. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2016. *Commercial Aircraft Propulsion and Energy Systems Research: Reducing Global Carbon Emissions.* Washington, DC: The National Academies Press. do: 10.17226 / 23490.
13. Tereschenko Yu.M. etc.: *The theory of thermal motors. Gas-dynamic calculation of elements of gas turbine engines,* Kyiv: NAU, 2015.
14. *The jet engine.* 1996. Rolls-Royce plc. Renault Printing Co., Ltd.
15. Yakovlev, A.; Boichenko, S.; Leida, K.; Vovk, O.; Kuzhevskii, Kh. 2017. Influence of Rapeseed Oil Ester Additives on Fuel Quality Index for Air Jet Engines, *Chemistry and Technology of Fuels and Oils* 53 (3): 308-317. DOI: doi.org/10.1007/s10553-017-0807-5
16. Yanovsky L.S., Fedorov E.P., Varlamova N.I.: *Alternative reactive fuels: problems and perspectives.* Bulletin of the National Aviation University. No. 1, 2009, с. 108-112.

17. Janovsky L.S., Dubovkin NF, Galimov F.M. and other: Engineering aviation bases. Kazan: Publishing house. Cauldron. Un-ta, 2005.
18. Yakovleva AV, Boichenko SV, Shkilnyuk IA, et al. : Comparative characteristics of physicochemical properties of fuels for air jet engines of different producing countries. Energy Technology and Resource Saving, No. 4, 2013, с. 15-22.

РЕФЕРАТ

Яковлева А.В. Дослідження експлуатаційних параметрів авіаційного двигуна, з використанням альтернативних палив на основі відновлюваної рослинної сировини / А.В. Яковлева, С.В. Бойченко, В.А. Щербаченко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2018. – Вип. 3 (42).

Дана стаття присвячена оцінці параметрів роботи реактивного двигуна з використанням звичайного та альтернативного реактивного палива, отриманого шляхом сумішшю з біологічними добавками рослинного масла, під час випробувань на стенді. Стандартне реактивне паливо та новостворене альтернативне реактивне паливо було перевірено та порівняно в умовах роботи двигуна. Перевірена та доведена гіпотеза, що альтернативні реактивні палива можуть бути використані як робочий елемент реактивних двигунів, що забезпечують його надійну та ефективну роботу. Було експериментально визначено, що використання альтернативних реактивних палив призводить до покращення характеристик штреку реактивних двигунів та зменшення витрати палива. Вони забезпечують більш енергоефективне функціонування реактивного двигуна. Було також виявлено, що використання альтернативних реактивних палив призводить до зменшення температури газу в струменевій трубі. Це може позитивно впливати на довговічність матеріалів і конструкції двигуна проти високих температур, а також на зменшення викидів NO_x . Результати дослідження показують, що експлуатаційні параметри реактивного двигуна, оснащеного новими альтернативними реактивними паливами, повністю задовольняють експлуатаційні норми, встановлені в специфікації для перевіреного двигуна. Альтернативні авіаційні палива, запропоновані в дослідженні, можуть використовуватися як робочий елемент авіаційного двигуна без необхідності внесення змін у його конструкцію.

У статті детально представлені результати дослідження щодо таких показників: тяга, витрата палива, тиск на форсунках, температура газу за турбіною, відносна частота обертання ротора, прийомистість. Всі розрахунки представлені графічно та у таблицях. Зроблені висновки щодо кожного з перерахованих параметрів оцінки та проведено порівняння традиційного палива з винайденим альтернативним, згідно до чого було отримано, що використання результаті стендових випробувань було зроблено висновок, що експлуатаційні параметри ГТД за використання нових альтернативних палив повністю задовольняють експлуатаційні норми, встановлені для випробуваного ГТД.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВІАЦІЙНИЙ ДВИГУН, АВІАЦІЙНЕ ПАЛИВО, АЛЬТЕРНАТИВНЕ ПАЛИВО, БЮДОБАВКИ, ТЯГА, ВИТРАТА ПАЛИВА, ЕФЕКТИВНІСТЬ ДВИГУНА, СТЕНДОВИЙ ТЕСТ

ABSTRACT

Yakovlieva A.V., Boichenko S.V., Shcherbachenko V.A. Studying exploitation parameters of jet engine powered by alternative fuels based on renewable plant feedstock. Visnyk of National Transport University. Series "Technical sciences". Scientific and Technical Collection. Kyiv. National Transport University. 2018. Vol. 3(42).

This article is devoted to the evaluation of the parameters of the operation of a jet engine using conventional and alternative jet fuels obtained by mixing with bioadditives of vegetable oil during the tests on the stand. Standard jet fuels and newly created alternative jet fuels have been tested and compared with engine operating conditions. The hypothesis that alternative jet fuels can be used as a working element of jet engines to ensure its reliable and efficient work is proved and proved. It has been experimentally determined that the use of alternative jet fuels leads to improved performance of jet engines and fuel consumption reduction. They provide more energy-efficient operation of the jet engine. It has also been found that the use of alternative reactive fuels leads to a decrease in the temperature of the gas in the jet pipe. This can have a

positive effect on the durability of materials and design of the engine against high temperatures, as well as on the reduction of NO_x emissions. The results of the study show that the operating parameters of a jet engine equipped with new alternative reactive fuels fully meet the operating standards set in the specifications for a proven engine. Alternative jet fuels offered in the study can be used as a working element of a jet engine without the need for changes to its design.

The article presents in detail the results of the study on the following indicators: traction, fuel consumption, pressure on the nozzles, temperature of the gas behind the turbine, relative rotor speed, admittance. All calculations are presented graphically and in tables. Conclusions have been drawn for each of the listed estimation parameters and a comparison of traditional fuel with the inventoried alternative, according to which it was found that the use of the bench test resulted in the conclusion that the operating parameters of the jet engine for the use of new alternative fuels fully comply with the operating norms established for the tested jet engine.

KEYWORDS: JET ENGINE, JET FUEL, ALTERNATIVE FUEL, BIOADDITIVES, THRUST, FUEL FLOW, ENGINE EFFICIENCY, STAND TEST

РЕФЕРАТ

Яковлева А.В. Исследование эксплуатационных параметров авиационного двигателя с использованием альтернативных топлив на основе возобновляемого растительного сырья / А.В. Яковлева, С.В. Бойченко, В.А. Щербаченко // Вестник Национального транспортного университета. Серия "Технические науки". Научно-технический сборник. – К. : НТУ – 2018. – Вып. 3(42).

Данная статья посвящена оценке параметров работы реактивного двигателя с использованием обычного и альтернативного реактивного топлива, полученного путем смеси с биологическими добавками растительного масла, во время испытаний на стенде. Стандартное авиационное топливо и новое альтернативное авиационное топливо было исследовано и выполнено сравнение в условиях работы двигателя. Проверенная и доказанная гипотеза, что альтернативные реактивные топлива могут быть использованы как рабочий элемент реактивных двигателей, обеспечивающих его надежную и эффективную работу. Было экспериментально установлено, что использование альтернативных реактивных топлив приводит к улучшению характеристик штекера реактивных двигателей и уменьшению расхода топлива. Они обеспечивают более энергоэффективное функционирование реактивного двигателя. Было также обнаружено, что использование альтернативных реактивных топлив приводит к уменьшению температуры газа в струйной трубе. Это может положительно влиять на долговечность материалов и конструкции двигателя против высоких температур, а также на уменьшение выбросов NO_x. Результаты исследования показывают, что эксплуатационные параметры реактивного двигателя, оснащенного новыми альтернативными реактивными топливами, полностью удовлетворяют эксплуатационные нормы, установленные в спецификации для проверенного двигателя. Альтернативные реактивные топлива, предложенные в исследовании, могут использоваться как рабочий элемент реактивного двигателя без необходимости внесения изменений в его конструкцию.

В статье подробно представлены результаты исследования следующих показателей: тяга, расход топлива, давление на форсунках, температура газа за турбиной, относительная частота вращения ротора, приемистость. Все расчеты представлены графически и в таблицах. Сделанные выводы по каждому из перечисленных параметров оценки и проведено сравнение традиционного топлива с изобретенным альтернативным, согласно чего было получено, что использование результате стендовых испытаний был сделан вывод, что эксплуатационные параметры ГТД за использование новых альтернативных топлив полностью удовлетворяют эксплуатационные нормы, установленные для испытываемого ГТД.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ГАЗОТУРБИННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, АВИАЦИОННОЕ ТОПЛИВО, АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО, БИОДОБАВКИ, ТЯГА, РАСХОД ТОПЛИВА, ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДВИГАТЕЛЯ, СТЕНДОВЫЙ ТЕСТ

АВТОРИ:

Яковлева А.В. кандидат технічних наук, Національний авіаційний університет, доцент кафедри екології, Україна, 03680, Київ, просп. Комарова, 1, e-mail: pinchuk_anya@ukr.net, тел.: +380444067844, orcid.org/0000-0002-7618-7129

Бойченко С.В., доктор технічних наук, професор, Національний авіаційний університет, завідувач кафедри екології, Україна, 03680, Київ, просп. Комарова, 1, e-mail: chemmotology@ukr.net, тел.: +380444067087, orcid.org/0000-0002-1196-3852

Щербаченко В.А. магістр, Національний авіаційний університет, студент кафедри екології, Україна, 03680, Київ, просп. Комарова, 1, e-mail: vladyslav.shcherbachenko@gmail.com, тел.: +380444067844, orcid.org/0000-0002-0699-7716

AUTHORS:

Yakovlieva A.V., PhD, National Aviation University, associate professor of the ecology department, Ukraine, 03680, Kyiv, Kosmonavta Komarova ave. 1, e-mail: pinchuk_anya@ukr.net, tel.: +380444067844, orcid.org/0000-0002-7618-7129

Boichenko S.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Aviation University, head of the ecology department, Ukraine, 03680, Kyiv, Kosmonavta Komarova ave.1, e-mail: chemmotology@ukr.net, phone: +380444067087, orcid.org/0000-0002-1196-3852

Shcherbachenko V.A., master, National Aviation University, student of the ecology department, Ukraine, 03680, Kyiv, Kosmonavta Komarova ave.1, e-mail: vladyslav.shcherbachenko@gmail.com, tel: +380444067844, orcid.org/0000-0002-0699-7716

АВТОРЫ:

Яковлева А.В., кандидат технических наук, Национальный авиационный университет, доцент кафедры экологии, Украина, 03680, Киев, просп. Комарова, 1, e-mail: pinchuk_anya@ukr.net, тел.: +380444067844, orcid.org/0000-0002-7618-7129

Бойченко С.В., доктор технических наук, профессор, Национальный авиационный университет, заведующий кафедры экологии, Украина, 03680, Киев, просп. Комарова, 1, e-mail: chemmotology@ukr.net, тел.: +380444067087, orcid.org/0000-0002-1196-3852

Щербаченко В.А. магистр, Национальный авиационный университет, студент кафедры экологии, Украина, 03680, Киев, просп. Комарова, 1, e-mail: vladyslav.shcherbachenko@gmail.com, тел.: +380444067844, orcid.org/0000-0002-0699-7716

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Запорожець О.І., доктор технічних наук, професор, проректор з міжнародної діяльності, Національного авіаційного університету, Київ, Україна.

Матейчик В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Zaporozhets O. I., Doctor of Technical Sciences, Professor, vice-rector of international activities, National Aviation University, Kyiv, Ukraine.

Mateichyk V.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, professor of the ecology and life safety department, Kyiv, Ukraine.