

Л.М. Артюшин, С.В. Устінов, І.О. Буліч, О.Г. Карасьов

Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗБІЛЬШЕННЯ ВСТАНОВЛЕНОГО РЕСУРСУ ЗА НАПРАЦЮВАННЯМ ЖАРОВОЇ ТРУБИ ОСНОВНОЇ КАМЕРИ ЗГОРЯННЯ ДВИГУНА АЛ-31Ф

Інтенсифікація експлуатації авіації з моменту збройної агресії російської федерації і нарощування боездатності авіаційних частин, підрозділів та екіпажів досягається та супроводжується зростанням нальоту літаків типу Су-27, а відповідно, і напрацюванням їх авіаційних двигунів АЛ-31Ф. Це приводить до зменшення залишків встановлених ресурсів двигунів та їх основних і особливо відповідальних деталей і складальних одиниць, до яких відносяться жарові труби основної камери згоряння.

Створення науково-методичних та організаційних умов для максимального використання закладених запасів працездатності двигунів АЛ-31Ф та їх агрегатів на основі впровадження експлуатації за технічним станом, вдосконалення засобів і методів індивідуальної оцінки їх технічного стану, врахування умов навантаження і обґрунтування можливості збільшення встановленого ресурсу є актуальною науковою задачею.

У статті запропоновано розглядати проблему індивідуального збільшення встановленого ресурсу жарової труби основної камери згоряння комплексно на основі виконання програми досліджень і робіт щодо визначення можливості та умов збільшення встановленого ресурсу жарових труб, переведення на експлуатацію за технічним станом авіаційних двигунів АЛ-31Ф, розробки нових технологій (технологічних процесів) ремонту жарової труби при капітальному ремонті та в умовах експлуатації у продовжений період.

Ключові слова: *авіаційний двигун, основна камера згоряння, жарова труба, встановлений ресурс, міжремонтний ресурс, капітальний ремонт.*

Вступ

Постановка проблеми. Інтенсифікація експлуатації авіації з моменту збройної агресії російської федерації і нарощування боездатності авіаційних частин, підрозділів та екіпажів досягається та супроводжується зростанням нальоту літаків типу Су-27, а відповідно, і напрацювання їх авіаційних двигунів АЛ-31Ф. Це приводить до зменшення залишків встановлених ресурсів двигунів та їх основних і особливо відповідальних деталей і складальних одиниць (ОВДСО), до яких відносяться жарові труби основної камери згоряння (ЖТ ОКЗ).

Тому створення науково-методичних та організаційних умов для максимального використання закладених запасів працездатності двигунів АЛ-31Ф та їх агрегатів [1, 2] на основі впровадження експлуатації за технічним станом, вдосконалення засобів і методів індивідуальної оцінки їх технічного стану, врахування умов навантаження і обґрунтування можливості збільшення встановленого ресурсу є актуальною науковою задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З аналізу нормативної документації щодо випробувань із встановлення ресурсу двигунів четвертого покоління [3, с. 117; 4, с. 3...76; 5, с. 30...38] та наукової літератури щодо досліджень міцності їх основних деталей [6, с. 107...119; 7, с. 343] випливає, що за показниками експлуатаційної надійності та контролепридатності вони відповідають вимогам нормативних документів [4, с. 3...76, 8, с. 5...30], і для

них успішно застосовуються підходи, притаманні другій стратегії управління ресурсом [9, с. 81]. Ці двигуни, як правило, переведені на експлуатацію за технічним станом, для них розроблені методики і технології діагностування основних деталей.

Мета статті – визначити проблемні питання, що обмежують можливість встановлення ЖТ ОКЗ на черговий міжремонтний ресурс (МРР) і напрями їх вирішення.

Виклад основного матеріалу

Основна камера згоряння авіаційного газотурбінного двигуна є складним та виключно відповідальним вузлом, від ступеня досконалості якого залежать основні характеристики всього двигуна, його надійність та ресурс. Процеси, що відбуваються в ЖТ ОКЗ, важко піддаються теоретичним розрахункам, тому при створенні камери згоряння ключовими є дані експериментів з наступним тривалим і трудомістким доведенням на спеціальних стендах їх відповідних характеристик.

У Керівництві з капітального ремонту (КР) двигунів типу АЛ-31Ф 99В.00.000-РК містяться узагальнені відомості щодо встановлених ресурсів двигунів залежно від року їх виробництва, а також переліки їх ОВДСО з обмеженим ресурсом, значення їх ресурсних показників, а також обмеження напрацювання на максимальному і форсажному режимах (М+Ф).

Згідно з 99В.00.000-РК встановлений ресурс (ВР) ЖТ ОКЗ шифру 99.03.02.850 без покращеного охолодження складає 650 годин з обмеженнями в напрацюванні на режимах М+Ф залежно від налаштування електронного регулятора КРД-99.

На сьогодні залишається невирішеною задача комплектування під час КР двигунів АЛ-31Ф, які виготовлені до 01.04.88, ЖТ ОКЗ з належним залишком ВР для забезпечення наступного міжремонтного ресурсу (МРР) 300 годин.

Таким чином, є актуальна необхідність визначення можливості збільшення ресурсу ЖТ ОКЗ понад встановлені показники.

Для вирішення цього завдання розроблено Програму досліджень і робіт щодо визначення можливості та умов збільшення встановленого ресурсу жарових труб шифру 99.03.02.850 (без покращеного охолодження) основних камер згоряння двигунів АЛ-31Ф для забезпечення відпрацювання ними чергового міжремонтного ресурсу, яка затверджена ГІ авіації ПС ЗС України 22.12.2022. Програма передбачає аналітичні дослідження з визначення відмінностей конструкції ЖТ ОКЗ у ретроспективі, змін у технологіях ремонту ОКЗ, моделювання та кількісно-якісний аналіз теплового і напружено-деформованого станів ЖТ ОКЗ під дією експлуатаційних чинників та практичні дослідження технічного стану ЖТ ОКЗ на базі ТОВ "ЛРЗ "Мотор" щодо параметрів і ознак, які визначають їх технічний стан. На основі проведених досліджень розробляється Перелік робіт, який виконується в експлуатації із застосуванням штатних методів і обладнання.

Отже, однією з умов продовження ВР за загальним напрацюванням ЖТ ОКЗ шифру 99.03.02.850 для застосування на черговий МРР є переведення двигунів АЛ-31Ф належності ПС на експлуатацію за технічним станом (ЕТС) і вказівкою ГІ авіації ПС ЗС України від 06.05.2022 № 1958 (0122) цей механізм індивідуального переведення двигунів АЛ-31Ф на ЕТС було впроваджено.

Особливості протікання процесів у ОКЗ досліджуються з використанням методів і моделей обчислювальної газової динаміки. Обчислювальна газова динаміка і математичне моделювання процесів є основними сучасними методами дослідження фізичних і хімічних процесів при створенні та модернізації конструкції ЖТ ОКЗ газотурбінних двигунів [10, с. 90...123; 11, с. 61...67; 12, с.155...160; 13, с.43...46; 14, с.45...60; 15, с. 73...80; 16, с. 80...86].

Останнім часом, у зв'язку з розвитком чисельних методів розв'язання задач щодо складних елементів конструкції у сфері авіакосмічної техніки, з'явилась можливість аналізу напружено-деформованого стану ЖТ із застосуванням пакетів прикладних програм ANSYS [17, с. 145...153]. Але є додаткові проблемні питання, які пов'язані з експлуатаційними пошкодженнями ЖТ ОКЗ. За досвідом експлуатації складено таблицю 1 з описом причин виникнення

характерних пошкоджень ЖТ ОКЗ, їх зовнішнього вигляду та методів усунення відповідно до 99В.00.000-РК.

У [18, с. 91...120] виконано декомпозицію впливу факторів на накопичення пошкоджень і вичерпання ресурсу ЖТ АЛ-31Ф і визначено, що визначальний вплив на ЖТ мають тривала міцність, малоциклова міцність і термостійкість, суттєвий вплив – втомна міцність, ерозія та корозія.

Таким чином, ЖТ відноситься до деталей, на вичерпання ресурсу яких, великою мірою, впливають фактори, пов'язані з напрацюванням.

ЖТ ОКЗ не віднесені до критичних деталей згідно з [19, с. 50] і за результатами оцінки максимальної категорії відмови за тяжкістю наслідків для літального апарата відносяться до особливо відповідальних деталей, що мають доступність до контролю та діагностування в процесі експлуатації, можливість здійснювати оцінку ЖТ за допомогою засобів неруйнівного контролю і планувати періодичність оглядів для забезпечення ЕТС ЖТ.

Аналіз таблиці 1 показує, що основним методом усунення майже усіх пошкоджень ЖТ ОКЗ є аргоно-дугове електрозварювання (АДЕЗ). При цьому порушуються характеристики матеріалу ЖТ ОКЗ, що є причиною виникнення нових пошкоджень. За досвідом експлуатації є випадки пошкодження деталей турбіни елементами пошкоджених ЖТ ОКЗ.

У процесі чергового КР не передбачається заміна їх ЖТ ОКЗ з причини вичерпання ними ВР, за винятком отримання ЖТ ОКЗ таких експлуатаційних пошкоджень, які не підлягають відновленню існуючими технологічними процесами, або вартість їх відновлення під час КР виключно висока. У деяких випадках для таких двигунів можливо встановлення менших значень ВР окремих ОВДСО, ніж ВР двигуна.

Заміна ЖТ ОКЗ потребує обов'язкового проведення автономних "вогневих випробувань", які відмінені рішенням командувача ПС ЗС України від 17.04.2013 № 99В/ОКЗ/2013.01 у зв'язку з відсутністю обладнання для їх проведення на базі ремонтного підприємства.

У разі виявлення недопустимих пошкоджень при ремонті ЖТ ОКЗ необхідно пошкоджену ділянку ЖТ відрізати та взамін приварити нову. Принциповим у даній операції є вибір місця зварного шва та питання впливу повторного зварювання на міцнісні характеристики зварного шва і зони термічного впливу зварювання.

Для ОКЗ проблемним є також коксування паливного колектору та форсунок, що призводить до незапуску двигуна. Нерівномірне розпилювання пального, що упорскується в ОКЗ (руйнування конусу розпилу), збільшує величину градієнтів температур, що приводить до збільшення термічних напружень і пошкодженню ЖТ. Дефекти паливного колектору є найбільш частою причиною дострокового зняття двигунів АЛ-31Ф з експлуатації без урахування попадання сторонніх предметів до тракту двигуна.

Таблиця 1

Характерні експлуатаційні пошкодження та дефекти жарових труб ОКЗ двигуна АЛ-31Ф шифру
99.03.02.850 без покращеного охолодження, їх причини та методи усунення

№ з/п	Опис пошкодження, дефекту	Причини виникнення	Зовнішній вигляд	Метод усунення
1	Втрата рухомості завихрювача та відпрацювання посадочних поверхонь	Неприпустимі теплові деформації та знос контактуючих поверхонь і “вусів” завихрювачів		Заміна завихрювача у разі неприпустимих залишкових деформацій. АДЕЗ
2	Збільшення щілин (зазорів) між патрубками та секціями ЖТ ОКЗ	Недостатня локальна ефективність охолодження патрубків. Нерівномірність витрати палива форсунками, жолобкування секцій		Рихтування
3	Обгоряння, оплавлення і тріщини вихідних крайок та ребер патрубків	Недостатня локальна ефективність охолодження патрубків. Нерівномірність витрати палива форсунками		Заміна патрубків у разі неприпустимих оплавлень та тріщин. АДЕЗ
4	Тріщини:			
4.1	на обичайках	Недостатня локальна ефективність охолодження секції		АДЕЗ
4.2	від отворів компенсаційних прорізів			АДЕЗ
4.3	від відбортовки до торця (вихідної крайки) обичайки			АДЕЗ
4.4	по перетинкам між отворами (підводу охолоджуючого повітря в щілину між секціями)			АДЕЗ
4.5	по зварному шву			АДЕЗ
4.6	від крайок основних отворів, що розходяться	Недостатня локальна ефективність охолодження секції. Нерівномірність витрати палива форсунками		АДЕЗ
6	Місцеве сколювання теплозахисного покриття ВКПН-5 понад допустимих норм	Недостатня локальна ефективність охолодження секції. Підвищена нерівномірність витрати палива форсунками		Місцеве перенанесення покриття

Джерело: розроблено авторами.

Тому для збільшення ВР ЖТ ОКЗ, що забезпечить можливість її встановлення при капітальному ремонті на черговий МРР, необхідно провести відповідні заходи щодо удосконалення якості ремонту:

розробити нові методи і технологій ремонту

ЖТ ОКЗ із заміною пошкоджених ділянок (секторів);

розробити технології відновлення властивостей матеріалу після зварювальних робіт (можливо впровадити відновну термічну обробку ЖТ для відновлення мікроструктури матеріалу);

дослідити вплив повторного зварювання на міцність конструкції ЖТ;

удосконалити ремонт паливних колекторів ОКЗ з очисткою від продуктів коксування і заходами щодо попередження подальшого їх коксування в експлуатації;

вивчити вплив різних сортів і виробників пального на коксування паливних колекторів;

удосконалити ремонт паливних форсунок;

вивчити можливості заміни автономних “вогневих випробувань” аналогічним за результатом процесом.

Дослідження необхідно провести із залученням профільних провідних наукових установ Національної академії наук України.

Висновки

Існують технічні можливості індивідуального збільшення (продовження за технічним станом)

встановленого ресурсу ЖТ ОКЗ двигунів АЛ-31Ф на величину, що забезпечить безвідмовне відпрацювання двигунами чергового міжремонтного ресурсу після виконання їх капітального ремонту, переведення на ЕТС в умовах ДП “ЛРЗ “Мотор” на основі виконання переліку додаткових робіт, а також розроблення і впровадження сучасних технологій при виконанні капітального ремонту ЖТ ОКЗ та методик додаткового неруйнівного контролю в умовах експлуатації у продовжений період.

Перелік робіт і технології їх виконання мають забезпечувати об’єктивне визначення технічного стану та експлуатаційну надійність двигунів АЛ-31Ф протягом чергового МРР, що є предметом подальших досліджень.

Список літератури

1. Турбореактивный двухконтурный двигатель с форсажной камерой сгорания АЛ-31Ф / Под ред. Назарова А.А. – М.: ВВИА им. Н.Е.Жуковского, 1987. – 362 с.
2. Инструкция по технической эксплуатации 99.01 ИЭ Часть 1 (издание дополнено и переработано), 1990. – 252 с.
3. Бауер В.О. Современные подходы к подтверждению прочностной надежности при сертификации авиационных газотурбинных двигателей /В.О. Бауер, В.К. Куевда, Г.В. Мельникова, Ю.А. Ножницкий, Б.Ф. Шорр // Динамика, прочность и ресурс машин и конструкций. – Тезисы докладов. Киев, 2005. – Т. 1. – 238 с.
4. Положение об установлении ресурсов и увеличении ресурсов и сроков службы газотурбинных двигателей военной авиации, их агрегатов и комплектующих изделий. – М.: ЦИАМ, 2005. – 80 с.
5. Бармин О.В., Брусков В.А., Тюльпаков И.Н. Методический подход к индивидуальному исчислению фактического ресурса авиационных ГТД.. – Люберцы: ВИНТИ, 2001. – Выпуск № 3. – С. 30–38.
6. Современные методы обеспечения прочностной надежности деталей авиационных двигателей / Под редакцией Ю.А. Ножницкого, Б.Ф. Шорра, И.Н. Долгополова – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2010. – 456 с.
7. Григорьев В.А., Кузнецов С.П., Гишваров А.С. Испытание авиационных двигателей – М.: Машиностроение, 2009. – 230 с.
8. . ГОСТ 25 101-83. Расчет и испытания на прочность. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 30 с.
9. Карасьов О.Г., Бондар А.В., Агамова Р.Г. Аналіз можливості продовження ресурсу жарової труби за обраною стратегією управління ресурсом. Збірник наукових праць ДНДІА. Вип. №18(25), 2022. – С. 80–83.
10. Мингазов Б.Г. Камеры сгорания газотурбинных двигателей. Конструкция, моделирование процессов и расчет: Учебное пособие. Издание второе, исправленное. Казань: Из-во Казан. гос. техн. ун-та, 2006. – 220 с.
11. Мураева М.А., Ахмедзянов Д.А., Абдулин А.Я. Численное моделирование процессов горения в камерах сгорания авиационных ГТД (и ГТЭУ на их основе). – Уфа: Молодежный Вестник УГАТУ №2(7), 2013. – С. 61–67.
12. Ланский А.М., Лукачев С.В., Матвеев С.Г. Особенности формирования полей температуры газа на выходе из камер сгорания малоразмерных газотурбинных двигателей. Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета), 2010, №1(21). – С. 155–160.
13. Тепловое и напряженное состояние стенок жаровых труб камер сгорания ГТД. Сборник статей под редакцией А.Д. Рекина. Выпуск второй. Труды №1295, ЦИАМ, 1992. – 84 с.
14. Основные этапы доводки жаровой трубы по тепловому состоянию. В отчете “История доводки двигателя АЛ-31Ф. – М.: НПО “Сатурн”, 1989. – С. 45–60.
15. Старцев Н.И. Конструкция и проектирование камеры сгорания ГТД. Самара, СГАУ. 2007. – 120 с.
16. Тепловое состояние элементов жаровой трубы. О.В. Гречишников и др. ОАО “КУЗНЕЦОВ”, г. Самара, Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета № 3 (41) 2013, часть 2, – С. 80–86.
17. Шульгин А.А. та ін. Особливості застосування CAD/CAE систем у контексті продовження ресурсу жарових труб основних камер згорання ТРДДФ літаків тактичної авіації. Зб. наук. праць ДНДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. Вип. №3(13), 2022. – С. 145–153.
18. Елисеев Ю.С. и др. Технология эксплуатации, диагностики и ремонта газотурбинных двигателей. М.: 2002. – 355 с.
19. Авиационные правила. Часть 33. Нормы летной годности двигателей воздушных судов. – М. МАК, 2012. – 77 с.
20. Сиротин Н.Н. Конструкция и эксплуатация, повреждаемость и работоспособность газотурбинных двигателей. (Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок). – М.: РИА “ИМ-Информ”, 2002. – 442 с.

21. Третьяков О.Н. Методы и средства эксплуатационного сопровождения ресурса авиационных ГТД. М.: Изд-во МАТИ, 1999. – 210 с.

Надійшла до редколегії 07.11.2023

Схвалена до друку 25.11.2023

Відомості про авторів:

Артюшин Леонід Михайлович

доктор технічних наук
професор
головний науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-7488-7244>

Устінів Сергій Володимирович

начальник науково-дослідної лабораторії
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5532-1125>

Буліч Ігор Олексійович

старший науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-1201-6475>

Карасьов Олександр Григорович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
провідний науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-1967-9127>

Information about the authors:

Leonid Artushin

Doctor of Technical Sciences
Professor
Chief Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-7488-7244>

Serhiy Ustinov

Head of Research Laboratory
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5532-1125>

Ihor Bulich

Senior Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1201-6475>

Oleksandr Karasov

Candidate of Technical Sciences
Senior Researcher
Lead Researcher of State Research
Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine.
<https://orcid.org/0000-0002-1967-9127>

**RESEARCH OF THE POSSIBILITY OF INDIVIDUAL INCREASE OF THE INSTALLED
RESOURCE BY DESIGNING THE HEAT PIPE OF THE MAIN COMBUSTION CHAMBER OF THE
AL-31F ENGINE**

L. Artushin, S. Ustinov, I. Bulich., O. Karasov

The intensification of combat since the armed aggression of the Russian Federation and the increase in the combat capability of aviation units, units and crews is achieved and accompanied by an increase in the number of Su-27 type aircraft and, accordingly, the working of their AL-31F aircraft engines. This leads to a decrease in the remaining installed resources of engines and their main and especially responsible parts and components, which include the heat pipes of the main combustion chamber.

The creation of scientific, methodical and organizational conditions for the maximum use of the operational reserves of AL-31F engines and their units based on the implementation of operation according to the technical condition according to the performance, improvement of means and methods of individual assessment of their technical condition, taking into account the load conditions and substantiating the possibility of increasing the installed resource is an actual scientific problem.

The article proposes to consider the problem of individual increase in the installed resource of the heat pipe of the main combustion chamber on the basis of the implementation of a program of research and work on determining the possibility and conditions of increasing the installed resource of the heat pipes, transfer to operation according to the technical condition of AL-31F aircraft engines, development of new technologies (technological processes) of the repair of the heat pipe during major repairs, as well as the list of additional works and technologies for their performance during major repairs and in the conditions of operation in the extended period.

Keywords: aircraft engine, main combustion chamber, heat pipe, installed resource, inter-repair resource, overhaul.