

УДК 629.7.083.

ЛОБУНЬКО О.П., провідний науковий співробітник, кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник

САМУЛЄЄВ В.В., провідний науковий співробітник, кандидат технічних наук,
доцент

ШУЛЬГІН А.А., начальник науково-дослідної лабораторії, кандидат технічних наук

МЕТОДИКА ПРОДОВЖЕННЯ РЕСУРСУ ДИСКІВ РОТОРІВ ТРДДФ

Запропонована методика продовження ресурсу дисків роторів ТРДДФ, яка базується на врахуванні індивідуальних умов їх циклічного навантаження у попередній та прогнозований періоди експлуатації в межах допустимого для них експлуатаційного значення параметра Total Accumulated Cycle

Ключові слова: авіаційний двигун, основна деталь, ротор, цикл навантаження, ресурс

Напрацювання деякими авіаційними двигунами літаків тактичної авіації Повітряних Сил досягає значень, які наближаються до встановленого ресурсу. Це обумовлює потребу у проведенні досліджень щодо розв'язання завдання подальшого збільшення або індивідуального продовження за технічним станом саме встановленого ресурсу основних деталей (ОД) певних типів двигунів за умови забезпечення безпеки їх застосування у продовжений період. При цьому виникає низка проблемних питань, пов'язаних з потребою збільшення ресурсних показників парку турбореактивних двоконтурних двигунів з форсажною камерою згоряння (ТРДДФ), які встановлюються на літаках-винищувачах Су-27.

Конструктивно-технологічними особливостями ТРДДФ АЛ-31Ф є те, що деякі їх ОД роторів мають встановлений ресурс (ВР) менший ніж двигун, у складі якого вони застосовуються. Це приводить до потреби заміни деяких ОД на нові у певному капітальному ремонті (КР) двигуна для того, щоб забезпечити встановлення йому чергового міжремонтного ресурсу (МРР). Відомо [1, 2], що диски роторів компресорів та турбін відносяться до ОД, ресурс яких встановлюється у циклах навантаження.

У практиці авіадвигунобудування та експлуатації ТРДДФ тактичних літаків США і Європейських країн [2, 3], у якості одного з ключових параметрів, який характеризує вичерпання циклічного ресурсу як двигуна, так і його ОД, застосовується параметр загальної кількості накопичених циклів навантаження (англ. – Total Accumulated Cycle (TAC)).

В останніх модифікаціях двигунів сімейства АЛ-31Ф, які застосовуються на винищувачах типу Су-30, Су-34, Су-35 та інших, впроваджено облік накопичення циклічної пошкодженості визначених ОД [4], з початку експлуатації.

Для ТРДДФ ІV покоління [4, 5] характерно застосування електронних регуляторів (ЕР) систем автоматичного управління (САУ), які мають 2 – 3 режими налаштувань (обмежень) визначальних параметрів на максимальних режимах: частот обертання роторів, температури газів за турбіною тощо, у яких реалізуються цикли навантаження мирного часу та особливого періоду [1, 4].

Допустимі значення експлуатаційної пошкодженості ОД роторів ГТД у ТАС визначаються розрахунково-експериментальними методами відповідно [1, 2, 6] та підтверджуються при їх еквівалентно-циклічних випробуваннях у складі двигуна або на спеціальних розгінних стендах. У відповідності до [2] у загальному вигляді величина ТАС двигуна або його ОД визначається, як:

$$TAC = \frac{N_1}{K_1} + \frac{N_2}{K_2} + \frac{N_3}{K_3} + \frac{N_{зан} - N_1}{K_4}, \quad (1)$$

де: $N_1, N_2, N_3, N_{зан}$ – кількість повних циклів навантаження виду N_1 та елементарних циклів видів N_2 та N_3 , у яких реалізується певна амплітуда зміни частоти обертання ротора [6], та загальна кількість запусків двигуна $N_{зан}$ у попередній період експлуатації; K_1, K_2, K_3, K_4 – коефіцієнти, що визначають величину внеску у ТАС двигуна або ОД його роторів відповідно повних і елементарних циклів навантаження, а також запусків двигуна без подальшої реалізації в процесі роботи їх повних циклів виду N_1 .

Формула (1) не враховує суттєвої відмінності у величині ТАС, яка накопичується ОД роторів у залежності від налаштування ЕР САУ двигуна на режими особливого періоду і мирного часу, та не може бути безпосередньо застосованою до ОД двигунів, які мають суттєве попереднє напрацювання, і в системі експлуатації яких не реалізовано моніторинг циклічної пошкодженості ОД роторів з початку їх експлуатації, як це передбачено в [2, 3, 4].

У методиці, яка розроблена авторами, зазначений недолік усувається шляхом перетворення формули (1) до вигляду, який враховує таку особливість його САУ.

$$TAC_{од} = \frac{N_{1Б}}{K_{1Б}} + \frac{N_{2Б}}{K_{2Б}} + \frac{N_{3Б}}{K_{3Б}} + \frac{N_{1УБ}}{K_{1УБ}} + \frac{N_{2УБ}}{K_{2УБ}} + \frac{N_{3УБ}}{K_{3УБ}} + \frac{N_{зан} - N_{1Б} - N_{1УБ}}{K_4}, \quad (2)$$

де: $N_{1Б}, N_{2Б}$ та $N_{3Б}$ – загальна кількість повних та елементарних циклів у попередній період експлуатації двигуна при налаштуванні ЕР САУ на режим особливого періоду; $N_{1УБ}, N_{2УБ}$ та $N_{3УБ}$ – загальна кількість повних та елементарних циклів у попередній період експлуатації двигуна при налаштуванні ЕР САУ на режим мирного часу; $K_{1Б}, K_{2Б}$ та $K_{3Б}$ – коефіцієнти, що визначають внесок у $TAC_{од}$ повних та елементарних циклів при роботі двигуна з налаштуванням ЕР САУ на режим особливого періоду; $K_{1УБ}, K_{2УБ}$ та $K_{3УБ}$ – коефіцієнти, що визначають внесок у $TAC_{од}$ повних та елементарних циклів при роботі двигуна з налаштуванням ЕР САУ

на режим мирного часу; K_4 – коефіцієнт, що визначає внесок у $TAC_{ОД}$ циклів запусків двигуна, після яких він не виводився на максимальний режим.

Числові значення коефіцієнтів $K_{1Б}$, $K_{2Б}$, $K_{3Б}$, $K_{1УБ}$, $K_{2УБ}$, $K_{3УБ}$ та K_4 визначаються розрахунково-експериментальними методами [1, 6].

Таким чином, у загальному вигляді величину $TAC_{ОД}$ можна представити, як

$$TAC_{ОД} = TAC_{ОД ПБ} + TAC_{ОД ПУБ} + TAC_{ОД ЗМФ} + TAC_{ОД ЗМГ},$$

де: $TAC_{ОД ПБ}$ – величина TAC , яка накопичена ОД ротора двигуна в процесі виконання польотів при налаштуванні ЕР САУ на режим особливого періоду; $TAC_{ОД ПУБ}$ – величина TAC , яка накопичена ОД ротора двигуна в процесі виконання польотів при налаштуванні ЕР САУ на режим мирного часу; $TAC_{ОД ЗМФ}$ – величина TAC , яка накопичена ОД ротора у процесі виконання запусків для наземного технічного обслуговування (ТО) з виходом двигуна на максимальні режими; $TAC_{ОД ЗМГ}$ – величина TAC , яка накопичена ОД ротора в процесі виконання запусків для наземного ТО з виходом двигуна на режим малого газу без подальшого застосування максимального режиму.

Для створення умов практичного обчислення величини $TAC_{ОД}$, розроблено і впроваджено Методичні рекомендації щодо обліку наробітку двигунів на підвищених і перемінних режимах [7], які базуються на застосуванні методів інженерно-логічного аналізу.

При цьому узагальнюються інші дані формуляра двигуна з початку його експлуатації щодо його загального напрацювання та напрацювання на максимальних режимах. Для практичного застосування даних щодо напрацювання двигуна з початку його експлуатації, які отримані відповідно [7], формулу (2) перетворено у формулу (3)

$$TAC_{ОД} = \sum_j^{N_{ПБ}} \overline{TAC}_{ПБi} + \sum_j^{N_{ПУБ}} \overline{TAC}_{ПУБi} + \sum_k^i \cdot \sum_l^{N_{ЗМФk}} TAC_{ЗМФk,l} + \sum_m^{N_{ЗМГ}} TAC_{ЗМГm}, \quad (3)$$

де: $\overline{TAC}_{ПБi}$ – математичне очікування $TAC_{ОД}$ за узагальнений типовий польотний цикл (УТПЦ) [1] роботи двигуна при налаштуванні ЕР САУ на режим особливого періоду, яке визначається статистичними методами; $\overline{TAC}_{ПУБi}$ – математичне очікування $TAC_{ОД}$ за УТПЦ роботи двигуна при налаштуванні ЕР САУ на режим мирного часу, яке визначається статистичними методами; $TAC_{ЗМФk,l}$ – значення $TAC_{ОД}$ при k -му режимі наземного випробування двигуна; $TAC_{ЗМГm}$ – значення $TAC_{ОД}$ при виході двигуна на режим малого газу при наземному випробуванні двигуна або систем літака; $N_{ПБ}$ – кількість польотів, які виконано при налаштуванні ЕР САУ на режим особливого періоду; $N_{ПУБ}$ – кількість польотів, які виконано при налаштуванні ЕР САУ на режим мирного часу; $N_{ЗМФ}$ – кількість запусків двигуна з виходом на максимальний режим під час наземного випробування; k – вид режиму наземного випробування двигуна з пультами під час його ТО.

Таким чином, залишок ресурсу ($\Delta TAC_{ОД}$), який невичерпали ОД роторів двигуна, можливо визначити (оцінити) як:

$$\Delta TAC_{ОД} = TAC_{ОДдоп}^E - TAC_{ОД}, \quad (4)$$

де: $TAC_{ОДдоп}^E$ – допустима експлуатаційна величина $TAC_{ОД}$, яка за своєю фізичною сутністю є аналогом допустимого значення циклічної пошкодженості ОД роторів двигуна [1, 6] і визначається як відношення допустимого значення циклічної пошкодженості, встановлене за результатами випробування ОД у складі двигуна або випробувального стенда, до розрахункового значення її циклічної пошкодженості в одному повному циклі (циклі виду N_1), який прийнятий у якості циклу приведення.

Прогнозований залишок ресурсу ОД роторів ТРДДФ за напрацюванням (в одиницях часу) визначається як

$$\tau_{зал} = \frac{\Delta TAC_{ОД}}{\overline{TAC}_{ОДУТПЦ}} \cdot \tau_{УТПЦ}, \quad (5)$$

де: $\overline{TAC}_{ОДУТПЦ}$ – математичне очікування $TAC_{ОД}$ в УТПЦ для даного періоду експлуатації двигуна, яке визначається статистичними методами; $\tau_{УТПЦ}$ – прогнозована тривалість УТПЦ, для даного періоду експлуатації двигуна, яка визначається статистичними методами.

Крім того, встановлено, що при налаштуваннях ЕР САУ на режим особливого періоду, а також при застосуванні двигунів на літаках різних модифікацій, існують певні закономірності кількості реалізацій у типових польотах елементарних циклів навантаженні виду N_2 та N_3 , які наведено в [8].

На рисунку 1 наведено загальний алгоритм, що реалізує розроблену методику.

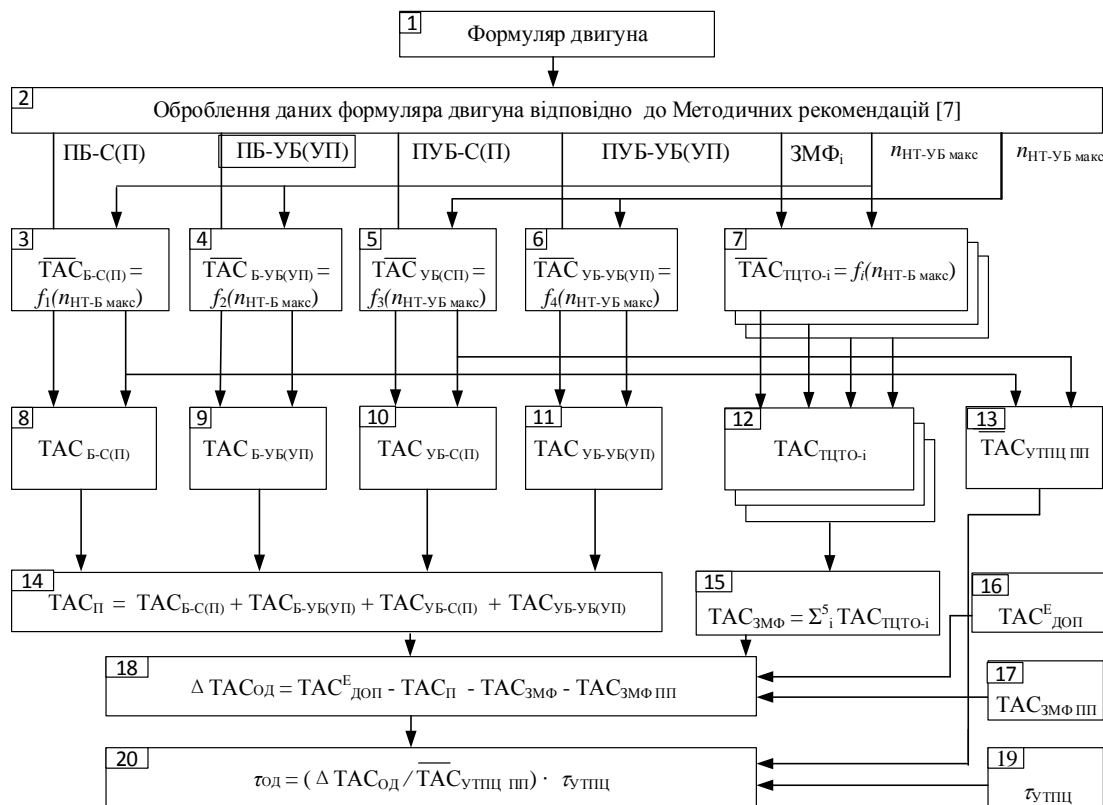


Рис. 1. Алгоритм реалізації розробленої методики

На основі проведених розрахунково-аналітичних і експериментальних досліджень [6] встановлено, що впровадження подібної методики обліку вичерпання циклічного ресурсу ОД ТРДДФ, дозволяє продовжити їх ВР за загальним напрацюванням на величину до 30 %.

Розроблена в ДНДІА методика захищена патентом на корисну модель [9] та впроваджена в практику капітального ремонту і експлуатації ТРДДФ літаків-винищувачів Повітряних Сил ЗС України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Положение об установлении ресурсов и увеличении ресурсов и сроков службы газотурбинных двигателей военной авиации, их агрегатов и комплектующих изделий. – М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова, 2005. - 80 с.
2. Engine structural integrity program (ENSIP), MIL-HDBK-1783B,w/Change 2, Department of defense handbook, 22 September 2004, - 188 pp.
3. W. Kotlarz, M. Królik, R. Kolasa. Influence of modular F100-PW-229 engine construction upon the fleet of F-16 aircraft exploitation. Poland. Dęblin, The Polish Air Force Academy. 2012, - 6 pp.
4. Двигатель АЛ-31ФП. Руководство по технической эксплуатации. 96 ФП. РЭ1 96-А/АМР-00-Р. ОАО “НПО “Сатурн” НТЦ имени А. Люльки, ОАО “Уфимское моторостроительное объединение”. - 2035 с.
5. Двигатель 99. Инструкция по эксплуатации. Книга 1, 2, 1990, - 117 с.
6. Бармин О.В., Брусков В.А., Тюльпаков И.Н. Методический подход к индивидуальному исчислению фактического ресурса авиационных ГТД. Сборник обзорной информации “Проблемы безопасности полетов”. Выпуск № 3. – Люберцы: ВИНТИ, 2001. – С. 30–38.
7. Методичні рекомендації оброблення даних формулярів літаків Су-27 і двигунів АЛ-31Ф та ведення обліку напрацювання двигунів на підвищених і перемінних режимах. Вказівка головного інженера авіації Повітряних Сил Збройних Сил України від 30.09.2016 № 1279(0116).
8. Типові польотні цикли, типові цикли технічного обслуговування та узагальнені типові польотні цикли роботи двигунів АЛ-31Ф у складі силових установок винищувачів Су-27 при виконанні польотів згідно з курсом бойової підготовки винищувальної авіації та під час їх технічного обслуговування. – К.: ДНДІА, 2017. - 14 с.
9. Патент UA №143286 МПК G01M 15/00, опубл. 27.07.2020 р. бюл. №14. Спосіб експлуатації авіаційного двигуна воєнного призначення. Лобунько О.П., Самулеєв В.В., Шульгін А.А.