

А.А. Шульгін, І.О. Буліч, В.В. Самулеєв, О.Г. Карасьов

Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ

ЗМІСТ, ОБСЯГИ ТА СПРОМОЖНОСТІ РІЗНИХ РІВНІВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ ЛІТАКІВ ТАКТИЧНОЇ АВІАЦІЇ

Підтримання льотної придатності авіаційних газотурбінних двигунів (ГТД) здійснюється виконанням технічного обслуговування і ремонту (ТОiP). В практиці організації ТОiP ГТД літаків фронтової авіації ВПС колишнього СРСР відомі вдалі приклади оптимізації системи їх ТОiP створенням дивізійних авіаремонтних майстерень і ремонтно-діагностичних центрів у ТЕЧ авіаційних частин. Освоєння Повітряними Силами експлуатації багатоцільових тактичних літаків типу F-16 та Міраж-2000-5 передбачає створення в Україні системи ТОiP їх ГТД оптимальної з точки зору мінімізації матеріальних та часових витрат на підтримання льотної придатності. У статті аналізується досвід функціонування трирівневої системи ТОiP двигунів F100-PW-229 і F110-GE-129 винищувачів F-16 та її переваги у порівнянні з успадкованою від ВПС колишнього СРСР системою ТОiP двигунів РД-33 та АЛ-31Ф. Виходячи з того, що тривалий час буде здійснюватись експлуатація наявних парків літаків тактичної авіації типу МиГ-29, Су-27, Су-24М та Су-25, корисним буде врахування досвіду ТОiP двигунів F100-PW-229 та F110-GE-129 при вдосконаленні існуючої системи ТОiP парків двигунів РД-33, АЛ-31Ф, АЛ-21Ф-3Т та Р-95Ш на заключному етапі стадії експлуатації їх життєвого циклу.

Ключові слова: авіаційний ГТД; система ТОiP; льотна придатність.

Вступ

Постановка проблеми. У структурі вартості життєвого циклу на стадії експлуатації парку літаків тактичної авіації певного типу, витрати на підтримання льотної придатності (ЛП) парку їх двигунів може сягати 25 % від загальних витрат на підтримання ЛП парку повітряних суден [1, с. 51]. Оптимізація витрат на підтримання ЛП парку авіаційних ГТД певного типу здійснюється створенням такої системи ТОiP, яка б орієнтувалась на максимальне виконання робіт з ТОiP ГТД на рівні підрозділів військової частини та мінімізувала б виконання капітальних ремонтів [2, с. 37; 3, с. 3]. Система ТОiP сучасних ГТД, наприклад, F100-PW-229 і F110-GE-129 винищувачів F-16 є трирівневою [1, с. 31; 4, с. 10; 5, с. 142...144]. На перший погляд вона є дуже громіздкою, а витрати на її утворення та функціонування здаються занадто високими. Разом з цим, типова система ТОiP двигунів F100-PW-229 і F110-GE-129 винищувачів F-16 ВПС США та Європейських країн НАТО є виключно автономною, оскільки її виробничі підрозділи, сили і засоби локалізуються на військовому рівні та, при певній чисельності парку ГТД та інтенсивності їхнього застосування, врешті, забезпечує мінімізацію витрат на підтримання їх ЛП на належному рівні для

проведення бойової підготовки та, у разі потреби, ведення бойових дій заданої інтенсивності.

У зв'язку із доступом до нових документів, які визначають порядок експлуатації та ТОiP сучасних ГТД, наприклад, F100-PW-229 і F110-GE-129 винищувачів F-16 [4, с. 83; 6, с. 88...95; 7, с. 102...110], з'явилась можливість критично проаналізувати успадковану Україною від ВПС колишнього СРСР систему ТОiP двигунів РД-33, АЛ-31Ф, АЛ-21Ф-3Т та Р-95Ш у порівнянні із системами ТОiP двигунів F100-PW-229 та F110-GE-129, і, на цій основі, розробити рекомендації і пропозиції щодо напрямків удосконалення системи ТОiP на заключному етапі стадії експлуатації життєвого циклу авіаційних ГТД Повітряних Сил Збройних Сил України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Переважна кількість типів авіаційних ГТД, які застосовуються у складі силових установок літаків тактичної авіації Повітряних Сил та палубних літаків флоту США, мають інтегровані бортові й наземні системи моніторингу визначальних (діагностичних) параметрів для відстеження й надання даних персоналу, які забезпечують їх експлуатацію та мають вирішальне значення для оптимального планування управління ресурсом й процесом ТОiP [6, с. 88; 8, с. 146...161; 9, с. 155].

Ці системи моніторингу у процесі функціонування двигунів виділяють й реєструють різні типи циклів на основі аналізу змін частоти обертання роторів. Разом з тим, оскільки ресурс багатьох компонентів двигуна (наприклад: підшипники, агрегати паливної системи і системи керування, електронні агрегати тощо) визначається часом їх напрацювання, а не кількістю циклів, системи моніторингу також відстежують загальний час роботи двигуна та час роботи двигуна у польоті [7, с. 103; 10, с. 2].

Для тих компонентів ГТД, ресурс яких обмежений часом напрацювання при високій температурі повітря на вході до двигуна, температурі газу перед та/або за турбіною, відстежується час напрацювання при високих рівнях температури і час роботи на важких режимах: максимальному й форсованому [11, с. 139].

Плани ТОiP сучасних ГТД літаків тактичної авіації США та країн Європи базуються на глибокому розумінні їх індивідуального експлуатаційного використання та відповідних обмежень, які встановлені для кожного відстежуваного (визначального) параметра на основі аналізу цього використання [4, с. 85; 11, с. 140].

Встановлені на борту літаків тактичної авіації реєстратори польотних навантажень забезпечують детальний опис експлуатаційного використання ГТД [4, с. 58]. Наявні системи відстеження циклічного навантаження ГТД у ПС та флоті США, здебільшого, базуються на використанні загальної кількості накопичених повних циклів (TAC – Total Accumulated Cycle, загальна кількість накопичених повних циклів) [11, с. 153; 12, с. 80], які обліковуються як для окремих основних деталей (ОД) ГТД $TAC_{од}$, так і для двигуна в цілому $TAC_{дв}$.

Гранично допустимі значення $TAC_{дв}^{доп}$ та $TAC_{од}^{доп}$ визначаються та унормовуються за результатами еквівалентно-циклічних випробувань щодо підтвердження надійності і ресурсу ГТД та їх ОД. Досягнення в процесі експлуатації ГТД унормованого гранично допустимого значення $TAC_{дв}^{доп}$, або $TAC_{од}^{доп}$ однією з його ОД, є підставою вважати, що двигун досягнув на цьому етапі експлуатації граничного стану та потребує виконання ТОiP певного обсягу.

Сучасні ГТД літаків тактичної авіації у своєму складі мають понад 20 ОД, циклічний ресурс яких обмежується допустимими значеннями $TAC_{од}^{доп}$ [11, с. 137; 12, с. 79]. ОД сучасних двигунів входять до складу модулів, кількість яких може досягати 10 одиниць.

У залежності від особливостей індивідуального циклічного навантаження ГТД у

період після виготовлення (ЗПЕ) темпи зростання TAC кожної з ОД відрізняються від інших ОД. Момент досягнення однією з ОД $TAC_{од}^{доп}$, і, таким чином, момент планованого ТОiP прогнозується системою моніторингу [10, с. 3]. Таким чином, прогнозується, який з модулів двигуна, що містить ОД із максимальним TAC, потребуватиме заміни під час ТОiP.

Оскільки таких модулів у ГТД декілька і їх ОД також піддаються циклічному навантаженню, а значення їх TAC можуть наближатись до $TAC_{од}^{доп}$, виникає завдання оптимізації обсягу заміни модулів під час планованого ТОiP, з точки зору економії коштів на підтримання ЛП екземпляра ГТД. Стратегії оптимального ТОiP модульних двигунів почали розвиватись у США ще у середині 70-х років минулого сторіччя [8, с. 146...161].

Але, крім вичерпання TAC ОД ГТД, що потребує виконання їх планового ТОiP, двигуни також зазнають експлуатаційних пошкоджень, наприклад, внаслідок потрапляння сторонніх предметів, птахів, криги тощо, які є випадковими подіями. Випадковими подіями також є відмови агрегатів та деяких неосновних деталей, наслідки яких, хоча й не є небезпечними, але потребують усунення виконанням певного рівня ТОiP.

Таким чином, підтримання ЛП парку сучасних ГТД модульної конструкції передбачає створення та функціонування багаторівневої системи ТОiP, на кожному з рівнів якої виконання процедур ТОiP має бути оптимальним з точки зору матеріальних та часових витрат.

У [2, с. 2; 13, с. 5] зазначається, що для двигунів F100-PW-229 і F110-GE-129 винищувачів типу F-16 ПС США та інших країн світу, функціонують трирівневі системи ТОiP. На кожному з рівнів таких систем виконується певний обсяг робіт з ТОiP авіаційних ГТД.

Мета статті – на основі критичного аналізу змісту та обсягу розв'язку задач підтримання ЛП двигунів F100-PW-229 і F110-GE-129 винищувачів F-16 на різних рівнях систем їх ТОiP, у порівнянні із системою ТОiP ГТД виробництва колишнього СРСР, розробити рекомендації і пропозиції щодо напрямків вдосконалення системи ТОiP двигунів РД-33, АЛ-31Ф, АЛ-21Ф-3Т та Р-95Ш на заключному етапі стадії експлуатації їх життєвого циклу, а також щодо відтворення на військовому рівні авіаційних частин ПС Збройних Сил діючої системи ТОiP двигунів F100-PW-229.

Виклад основного матеріалу

Сучасні авіаційні ГТД є виключно складними об'єктами авіаційної техніки. Ступінь важливості та

впливу наслідків їх можливих відмов на безпеку польотів повітряних суден є виключно високою.

Відповідно до ПрІАЗ-2016 [15, с. 4] та інших нормативно-правових актів у сфері забезпечення та підтримання ЛП, під льотною придатністю повітряних суден, авіаційного ГТД та повітряного гвинта розуміють властивість, що визначена та забезпечена нормами, реалізованими в їх конструкції та характеристиках, які дозволяють забезпечувати безпечний політ у межах встановлених експлуатаційних обмежень та визначених методів технічної експлуатації.

Сучасні вимоги щодо забезпечення ЛП повітряних суден, ГТД, повітряних гвинтів передбачають сертифікацію їх типу. Невід'ємною складовою сертифікату типу є програма ТОіР, посилання на яку міститься у додатку до сертифікату. Зазвичай опис програми ТОіР ГТД міститься як у окремому документі, так і в інструкції з експлуатації, певних розділах регламенту ТОіР, інструкції по заміні модулів (нормативно-технічні документи).

Підтримання ЛП авіаційних ГТД відбувається в експлуатації виконанням ТОіР. Для виконання ТОіР ГТД утворюється відповідна система ТОіР.

Відповідно до ГОСТ В 25883- 83 система ТОіР ГТД представляє собою сукупність взаємопов'язаних засобів, виконавців та документації з технічного обслуговування, які необхідні для підтримання та відновлення якості (підтримання ЛП) ГТД, що входять у цю систему.

Тобто, система ТОіР ГТД представляє собою сукупність власне ГТД з притаманними ним властивостями (експлуатаційна технологічність, контролепридатність, ремонтпридатність), нормативно-технічної документації, яка визначає обсяг та періодичність планового ТОіР, а також випадків та умов виконання позапланового ТОіР, засобів (будівлі, приміщення, спеціальне обладнання і інструменти), які необхідні для виконання ТОіР ГТД, і, нарешті, підготовлених кваліфікованих фахівців, які пройшли спеціальну фахову підготовку і встановленим порядком допущені до виконання певних операцій ТОіР ГТД на заданому рівні. Система ТОіР ГТД для свого безперебійного функціонування потребує відповідного матеріально-технічного забезпечення – постачання відповідно до встановлених норм і потреб запасних частин і матеріалів, електроенергії, водопостачання тощо.

На рис. 1 наведено розроблену авторами на основі відомостей, опублікованих в [14, с. 68...73], та власного досвіду схему щодо порівняння рівнів ТОіР авіаційних ГТД літаків тактичної (фронтової) авіації ВПС колишнього СРСР (ліворуч), яка частково зберіглась і функціонує в авіації ПС Збройних Сил, та систему ТОіР авіаційних ГТД сучасних літаків тактичної авіації США і Європейських країн НАТО (праворуч).

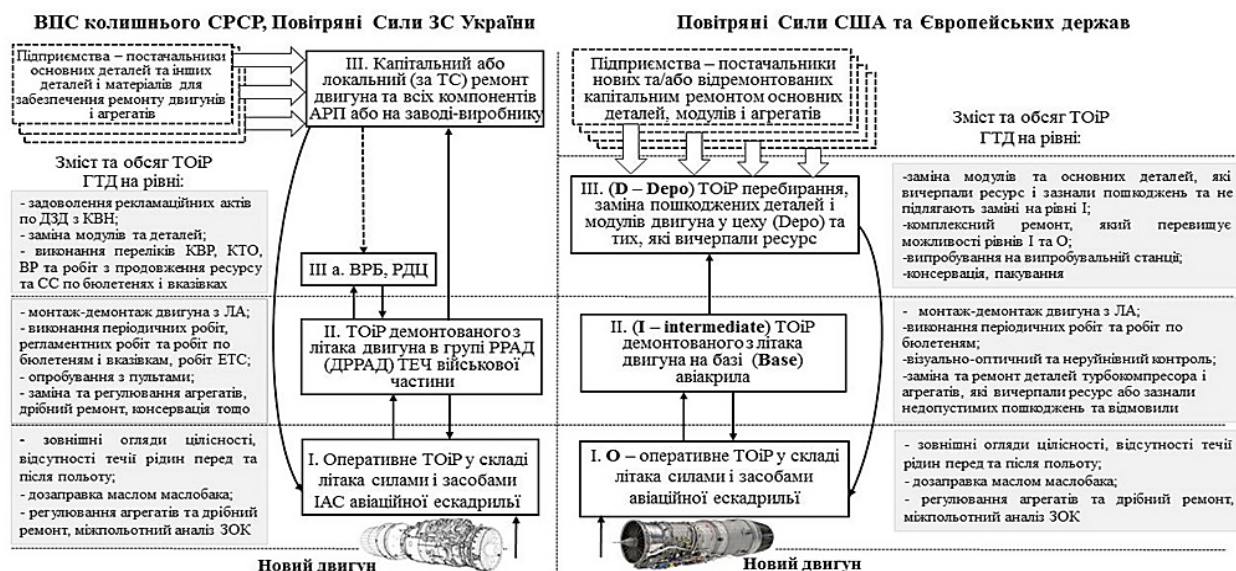


Рис. 1. Порівняння змісту та обсягу процедур технічного обслуговування і ремонту авіаційних ГТД літаків тактичної (фронтової) авіації на різних рівнях системи

Джерело: розроблено авторами

Нижчим (І-м рівнем) обох систем ТОіР ГТД є рівень авіаційної ескадрильї, на якому виконуються всі роботи (процедури) з ТОіР двигунів у складі літаків. Зміст та обсяг робіт наведені на рисунку 1 і

практично нічим не відрізняються. Відмінність полягає виключно у рівні інформаційного забезпечення персоналу, який забезпечує технічну експлуатацію ГТД у складі повітряного судна,

даними про події, які відбуваються у двигунів у попередніх польотах, які вимагають прийняття рішення про призупинення застосування двигуна для більш поглибленого визначення їх технічного стану та, за результатами його визначення (оцінки), виконання певного обсягу ТОіР на оперативному рівні (І) або перенесення ТОіР ГТД на вищий, другий рівень системи ТОіР.

Рівень інформаційного забезпечення персоналу, який забезпечує технічну експлуатацію двигунів F100-PW-229 та F110-GE-129 у складі винищувачів F-16, дещо перевищує аналогічний рівень інформаційного забезпечення ТОіР двигунів АЛ-31Ф та РД-33 у складі винищувачів Су-27 та МиГ-29. Це обумовлено певними відмінностями бортових, наземно-бортових та наземних систем індикації про події, пов'язані з відмовами компонентів силових установок, міжпольотного аналізу даних, зареєстрованих засобами об'єктивного контролю, та програмно-алгоритмічного забезпечення інформаційної підтримки прийняття рішень за результатами аналізу [4, с. 45 ; 10, с. 4 ; 11, с.].

Другий рівень систем ТОіР ГТД передбачає виконання дослідження технічного стану двигунів, які демонтовані з літака, у спеціальному цеху.

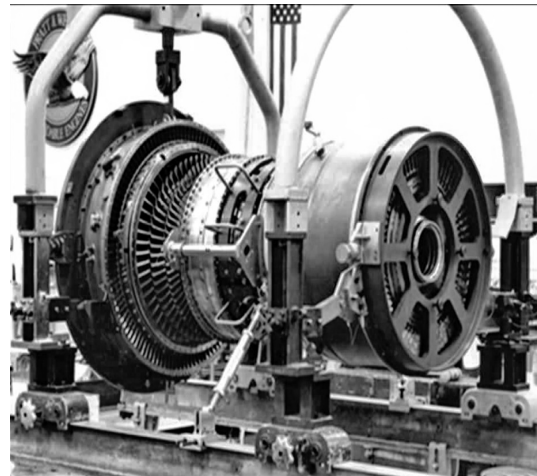
Для ГТД тактичної авіації Повітряних Сил – це відповідні спеціально обладнані приміщення ТЕЧ АТ, в яких здійснюється ТОіР фахівцями груп регламенту та ремонту авіаційних двигунів (РРАД) відповідно до завдань і в обсягах, зазначених в [16, с. 4] та наведених на рисунку 1.

Другий рівень ТОіР двигунів F100-PW-229 та F110-GE-129 (І – intermediate) [10, с. 3], зазвичай, реалізується на базі (Base) авіакрила, який можливо розглядати як аналог ТЕЧ АТ. Основна відмінність технологічних можливостей ТОіР двигунів F100-PW-229 та F110-GE-129 від ТОіР двигунів АЛ-31Ф та РД-33 на цьому рівні полягає у більшій можливості виконання заміни та ремонту певних деталей турбокомпресора і агрегатів, які вичерпали ресурс або зазнали недопустимих пошкоджень та відмовили. Це обумовлено більшою експлуатаційною технологічністю двигунів F100-PW-229 та F110-GE-129.

На рис. 2 наведено вигляд газогенераторів двигунів, які розташовані на вертикальному та на горизонтальному стапелях [14, с. 70]. Наявність таких стапелів створює зручний підхід персоналу для виконання на другому рівні ТОіР ГТД заміну пошкоджених робочих лопаток компресорів усіх ступенів на нові та робочих лопаток деяких ступенів газових турбін.



а)



б)

Рис. 2. Газогенератор ГТД а) на вертикальному та б) на горизонтальному стапелях
Джерело: [10, с. 4]

Вищим, III рівнем, системи ТОіР двигунів F100-PW-229 і F110-GE-129, зазвичай, є рівень (D – Деро) [14, с. 71], який наведено на рисунку 1 (праворуч). На цьому рівні виконується перебирання двигунів та заміна пошкоджених деталей і модулів двигуна у цеху (Деро) та модулів і основних далей, які вичерпали ресурс (ТАС яких досягли $TAC^{доп}_{ОД}$). Також виконується заміна модулів та ОД двигунів, які зазнали

пошкоджень і не підлягають заміні на другому рівні.

Виконується комплексний ремонт двигуна, обсяг якого перевищує можливості ТОіР рівнів І та О.

На рис. 3 наведено типовий цех перебирання авіаційних двигунів (Деро) авіабази Повітряних Сил США в Шпангдалемі (Німеччина).



Рис. 3. Цех перебирання авіаційних двигунів (Деро) авіабази Повітряних Сил США в Шпангдалемі
Джерело: фото авторів

Після завершення робіт з ТОіР двигунів F100-PW-229 і F110-GE-129 на рівні Деро

виконується їх випробування на випробувальній станції (рис. 4, 5) консервація і пакування.



Рис. 4. ГТД F100-PW-129 на випробувальному стенді
Джерело: [14, с. 70]



Рис. 5. Вид на випробувальну станцію авіабази Повітряних Сил США Шпангдалем
Джерело: фото авторів

На рис. 6 наведено копії титульного листа справи ремонту двигуна F110-GE-100, серійний номер E9973, який був виконаний у січні – березні 2001 року на другому рівні системи ТОіР авіабази Повітряних Сил США в Шпангдалемі (Німеччина) та списку виконавців. У ВПС колишнього СРСР наприкінці 80-х років на базі військової частини 21888 відбулась достатньо вдала спроба створення при ТЕЧ АТ ремонтно-діагностичного центру ГТД для виконання ТОіР двигунів АЛ-31Ф [3, с. 4] (рис. 7), який умовно можна вважати рівнем III, а ТОіР при цьому - аналогічним рівню Деро двигунів F100-PW-229 і F110-GE-129 (рис. 1). В ньому було успішно відпрацьовано та продемонстровано заміну модулів компресорів низького тиску двигунів АЛ-31Ф та модулів форсажної камери згоряння й реактивного сопла, заміну пошкоджених робочих лопаток всіх ступенів компресорів низького та

високого тиску, заміну коробок приводу агрегатів двигунів. Показано значний економічний ефект від впровадження у війська ремонтно-діагностичних центрів ГТД [3, с. 22].

Третім рівнем системи ТОіР авіаційних ГТД тактичної (фронтової) авіації (рисунок 1, ліворуч) ВПС колишнього СРСР, яка успадкована Повітряними Силами, є рівень АРП, на якому виконується капітальний або локальний (за технічним станом) ремонт двигунів та їх компонентів. Сукупність всіх трьох рівнів системи ТОіР реалізують стратегію ТОіР за ресурсом [17, с. 114...117]. Вона є недостатньо пристосованою до підтримання льотної придатності парку двигунів АЛ-31Ф та РД-33 методом експлуатації за технічним станом (ЕТС), оскільки АРП, який перебуває на III-му рівні та, по суті, є комерційною організацією, не вмотивований до цього.

озброєння тактичних літаків попередніх поколінь, пов'язаного із переозброєнням на нові платформи.

Підприємства вітчизняного авіабудівного комплексу для безперебійного функціонування такої системи мають бути залученими до ліцензійного виробництва основних деталей та капітального ремонту модулів і агрегатів.

3. Система ТОiP авіаційних двигунів РД-33, АЛ-31Ф, АЛ-21Ф-3Т та Р-95Ш успадкована Україною від ВПС колишнього СРСР. Вона також є трирівневою, але лише перший та другий рівні локалізовані на базі військових авіаційних частин. Існуючі системи ТОiP двигунів виробництва колишнього СРСР не у повній мірі реалізують високий рівень експлуатаційної контролепридатності та експлуатаційної технологічності, закладений свого часу розробником та виробником. Тому вона переважно реалізує стратегію ТОiP ГТД за ресурсом. Це призводить до високих фінансових та часових витрат на відновлення ГТД, яке відбувається в умовах АРП.

4. Напрямами удосконалення та підтримання безперервного функціонування системи ТОiP

авіаційних двигунів РД-33, АЛ-31Ф, АЛ-21Ф-3Т та Р-95Ш на завершальних етапах стадії експлуатації є:

подальше освоєння в Україні, у порядку імпортозаміщення, виробництва основних деталей та складальних одиниць, інших деталей й комплектувальних виробів для забезпечення ними капітального ремонту ГТД;

на підставі досвіду продовження ресурсів ГТД в період дії правового режиму воєнного стану переглянути значення їх міжремонтних та призначених ресурсів, впроваджуючи ЕТС силових установок за напрацюванням;

розвиток технологічної бази ТЕЧ АТ шляхом оснащення груп РРАД сучасними засобами неруйнівного контролю, навчання, схвалення та допуску персоналу до виконання діагностування критичних компонентів ГТД, які обмежують ресурс та надійність.

Подальші дослідження авторів будуть спрямовані на оцінку впливу різноманітних систем ТОiP авіаційних ГТД на вартість експлуатації як стадії їх життєвого циклу для вибору оптимальної системи.

Список літератури

1. Wong J. S. Whole life cost methods for aero-engine design. University of Southampton. <http://eprints.soton.ac.uk///> 2012. 151p.
2. Kotlarz W., Królik M., Kolasa R. Influence of modular F100-PW-229 engine construction upon the fleet of F-16 aircraft exploitation. Journal of Polish CIMAC. - Gdansk University of Technology. 2012. – p.p 36 – 42.
3. Технический отчет № 99.193.02 ОТ-88. Организация работ по восстановлению изделий 99В в условиях эксплуатирующих организаций. – Люберцы: в/ч 75360, 1988 – 28 с.
4. TO 00-25-257-1. Engine Health Management Plus (EHM+) User's Manual. Instructions for Turbofan Engine model: F100-220. - Pratt&Witney, 2008 – 108 p.
5. Maletta P. NATO RTO: "Recommended Practices for Monitoring Gas Turbine Engine Life Consumption", Appendix 1: US Military Engine Tracing and Operational Usage Methods, RTO-TR-28, (AC/323(AVT)TP/22), 2000. – pp. 142–144.
6. SZRAMA, S. F-16 turbofan engine monitoring system. Combustion Engines. 2019, 177(2), 23 - 35. DOI: 10.19206/CE-2019-205. – pp. 88–95.
7. Hocko M., Vencel' M., Divok M., Husťák M. General Electric F110-GE-129 Turbofan Engine. Acta Avionica. Volume XXV, 49 – No.2, 2023, DOI: 10.35116/aa.2023.0015. – pp. 102–110.
8. Davenport O. NATO RTO: "Recommended Practices for Monitoring Gas Turbine Engine Life Consumption", RTO Technical Report 28, Appendix 2: Maintenance Policies and Procedures, RTO-TR-28, (AC/323(AVT)TP/22), 2000. – pp. 146–161.
9. NATO RTO Workshop on Life Management Techniques for Aging Engines; Aging Mechanisms and Control, Symposium B: Monitoring and Management of Gas Turbine Fleets for Extended Life and Reduced Costs, Symposium held in Manchester, UK, October 2001, RTO-MP-079(I), 2003. – pp. 153–166.
10. Engine Management and Tracking System. Southwest Research Institute. San Antonio, Texas. – p. 4.
11. Engine Structural Integrity Monitoring Requirements. Technical Airworthiness Authority, TAA Advisory 2016-02e, 2016, – pp. 137...155.
12. Самулеєв В.В. Методичний підхід щодо визначення накопиченої пошкодженості основними деталями ГТД військового призначення. Тези доповідей та виступів Міжнародної науково-практичної конференції "Перспективи розвитку військової авіації. Кооперація підприємств авіаційної промисловості. – Київ: ДНДІА, 2016. – С. 79 – 80.
13. James Fellenstein. F100-PW-220/E/229 Engine Life Management Plan and Part Lifting Programs. 8th Israeli Symposium on Jet Engines and Gas Turbines. Nov. 2009, 17 p.
14. Szrama S., Kadziński A. Hazard identification process in the selected analysis domain of the F100 turbofan engines maintenance system. Combustion Engines. 2017, 171(4), 68-73. DOI: 10.19206/CE-2017-412 p.p 68 – 73.
15. Правила інженерно-авіаційного забезпечення державної авіації України (ПрІАЗ - 2016). – Київ: 2016 - 590 с.
16. Методические рекомендации группам диагностики, регламента и анализа авиадвигателей – Люберцы: в/ч 75360,. Вып. № 5300, 1984 - 20 с.
17. Смирнов Н. Н., Владимиров Н.И., Черненко Ж.С. и др. Техническая эксплуатация летательных аппаратов. – М.: Транспорт, 1990 – 423 с.

Надійшла до редколегії 26.10.2025

Схвалена до друку 02.12.2025

Відомості про авторів:

Шульгін Артем Анатолійович

кандидат технічних наук
старший дослідник
начальник науково-дослідного управління
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-2403-7348>

Буліч Ігор Олексійович

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

Самуєєв Володимир Вікторович

кандидат технічних наук
доцент
провідний науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-3793-5083>

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:

Artem Shulhin

Candidate of Technical Sciences
Senior Researcher
Head of Research Management
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-2403-7348>

Ihor Bulich

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

Volodymyr Samulieiev

Candidate of Technical Sciences
Associate Professor
Leading Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3793-5083>

Oleksandr Karasov

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

CONTENT, SCOPE AND CAPABILITIES OF DIFFERENT LEVELS OF MAINTENANCE AND REPAIR OF AVIATION GAS TURBINE ENGINES OF TACTICAL AVIATION AIRCRAFT

A. Shulhin, I. Bulich, V. Samulieiev, O. Karasov

The airworthiness of aviation gas turbine engines (GTEs) used in tactical aviation is sustained through a comprehensive system of maintenance and repair (M&R). The paper investigates the content, scope, and functional capabilities of various M&R levels for aviation GTEs, focusing on a comparative assessment of two approaches: the classical Soviet hierarchical maintenance system applied to engines such as the RD-33, AL-31F, AL-21F-3T, and R-95Sh, and the three-level maintenance model used for Western engines such as the F100-PW-229 and F110-GE-129. The authors provide an analytical evaluation of the work composition at each M&R level, the scale of diagnostic and repair operations, personnel qualification requirements, material and technical support, and spare-parts logistics. It is demonstrated that the three-level maintenance architecture—with a significant role played by field repair units and specialized repair-diagnostic centers—ensures greater flexibility in allocating repair workloads, reduces aircraft downtime, and optimizes resource utilization while maintaining the required level of flight safety.

The paper also considers practical steps for integration, including standardization of technical documentation and terminology, upskilling of engineering and technical personnel, establishment of repair-diagnostic centers, definition of spare-parts requirements and logistics chains, and implementation of resource accounting and repair quality control systems. Recommendations are provided for optimizing cost and time during the transition to a modified M&R system, including phased introduction of diagnostic technologies, centralization of complex repair activities, and delegation of routine servicing tasks to lower echelons. It is emphasized that incorporating operational and maintenance experience from the F100 and F110 engine programs can enhance resource management efficiency and extend the service life of legacy Soviet-designed engines through the implementation of modern diagnostic methodologies and optimized logistics.

Keywords: aviation gas turbine engine (GTE); maintenance and repair (M&R) system; airworthiness.