

А.В. Бондар¹, С.В. Устінов¹, Р.Г. Агамова¹, О.А. Мартиросян²

¹Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ

²Головне управління державної авіації України, Київ

ШЛЯХИ ПІДТРИМАННЯ СПРАВНОСТІ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ЗА ПРИЗНАЧЕННЯМ ПАРКУ ЛІТАКІВ ПОВІТРЯНИХ СИЛ

У статті наведено систематизований підхід основних пріоритетів щодо заходів реалізації технічної політики щодо відновлення та підтримання справності авіаційних двигунів для забезпечення ефективного та безпечного застосування за призначенням парку літальних апаратів.

Представлено основні варіанти відновлення та підтримання справності авіаційних силових установок бойових літальних апаратів авіації Збройних Сил України шляхом освоєння їх капітального ремонту на підприємствах вітчизняної промисловості в умовах відсутності авторського супроводження з боку розробників та виробників.

Ключові слова: літальний апарат, авіаційний двигун, підтримання справності, силова установка, деталі та/або складальні одиниці, особливо відповідальні деталі та/або складальні одиниці, винищувальна авіація.

Вступ

Постановка проблеми. Конструктивно-технологічними особливостями авіаційних двигунів та інших компонентів силової установки (далі – СУ) є те, що вони комплектуються деталями та/або складальними одиницями (далі – ДСО), особливо відповідальними деталями та/або складальними одиницями (далі – ОВДСО) та агрегатами, встановлений ресурс яких менший, ніж встановлений ресурс компонентів СУ в цілому. Крім того, значна кількість ДСО та агрегатів зазнає експлуатаційних пошкоджень, які не підлягають відновленню під час їх ремонту. Також є значна кількість ДСО, які підлягають обов'язковій заміні під час чергового ремонту компонентів СУ.

Тому, при відсутності постачання та закупівлі у підприємств-виробників оригінальних ДСО, ОВДСО та агрегатів, які підлягають заміні при капітальному ремонті компонентів СУ, а також агрегатів і ДСО обов'язкової заміни, як правило унеможливується виконання їх 2-го та наступних капітальних ремонтів. Вже зараз виникла проблема комплектування авіаційних двигунів “ресурсними” ОВДСО та агрегатами певної номенклатури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день існують багато досліджень та публікацій щодо підтримання справності авіаційних двигунів [1, с. 51...55; 2, с. 9...17; 3, с. 153...161; 4, с. 144...148], але питання відновлення справності авіаційних двигунів в них не розглядалось.

Метою статті є систематизований виклад основних пріоритетів, шляхів, заходів реалізації

технічної політики щодо відновлення та підтримання справності авіаційних двигунів для забезпечення ефективного та безпечного застосування за призначенням парку літаків.

Виклад основного матеріалу

Авіація Повітряних Сил Збройних Сил України є одним із основних носіїв бойового потенціалу Українського війська.

На етапі створення нового виду Збройних Сил України (далі – ЗС України) – Повітряних Сил (далі – ПС) процес створення нормативно-правової бази був започаткований розпорядженням Президента України від 27 вересня 2005 № 1175 “Про заходи щодо забезпечення розвитку Повітряних Сил Збройних Сил України” Цим розпорядженням Президент України – Верховний Головнокомандувач ЗС України доручив Кабінетові Міністрів України організувати видання нормативно-правових та нормативно-технічних актів для забезпечення виконання вітчизняними підприємствами робіт з модернізації, ремонту, продовження ресурсу та строку служби ОВТ іноземної розробки та виробництва, які перебувають на озброєнні ПС.

До складу силової установки літальних апаратів (далі – ЛА) входять два турбореактивних двигуни з форсажною камерою згоряння.

Якщо прийняти допущення, що число двигунів (агрегатів), в яких закінчився призначений ресурс в умовах бойових дій, скоротиться пропорційно зменшенню літакового парку, то фактична кількість таких двигунів M'_P може бути визначена за

формулою [5, с. 173...178]:

$$M'_P = M_P \frac{N_n}{N_0} \quad , \quad (1)$$

де M_P – кількість двигунів, що підлягають заміні за ресурсом без врахування бойових втрат літаків; N_0 і N_n – кількість літаків відповідно на початок і кінець періоду бойових дій.

Кількість двигунів (агрегатів) M_6 , що необхідно буде замінити в результаті бойових ушкоджень, може бути визначена з рівняння:

$$M_6 = K_n A \epsilon_i K_{yi} \quad , \quad (2)$$

де K_n – коефіцієнти відходу в поточний ремонт; A – число літако-вильотів за період бойових дій; ϵ_i – кількість двигунів установлених на 1 літаку; K_{yi} – умовна імовірність ураження двигуна на літаку.

Величина K_{yi} у формулі (2) визначається, як відношення площі ураження двигуна S_d до площі ураження всього літака S_L .

По формулі (2) можна розраховувати також кількість агрегатів, що необхідно буде замінити в результаті бойових ушкоджень. При цьому величини K_y , S_y вибираються відповідно агрегату, для якого виконується розрахунок.

Для розрахунку втрат двигунів формула (2) є наближеною, тому що коефіцієнт K_n більше характеризує літак, а не силову установку.

Якщо отриманий з досвіду бойових дій коефіцієнт бойового ушкодження двигунів $K_{уд}$ досить вірогідний для даного типу літаків, то розрахунок двигунів, що одержали бойові ушкодження, і які підлягають заміні, доцільно виконувати за формулою:

$$M_6 = K_{уд} A \epsilon_i t_n \frac{1}{100} \quad , \quad (3)$$

яка враховує статистичні дані ураження двигуна (коефіцієнт $K_{уд}$ – у відсотках) і його наробіток за час бойових дій ($A \cdot t_n$)

Кількість двигунів (агрегатів) M_6 , які необхідно буде замінити з ненадійності їх роботи і порушенні правил експлуатації, визначається рівнянням:

$$M_6 = \lambda_i \epsilon_i A t_n \quad , \quad (4)$$

де λ_i – інтенсивність відмов двигунів (агрегатів) даного типу (величина, зворотна наробітку на одну відмову в польоті) за означеними вище причинами.

Для визначення числа агрегатів, що підлягають заміні через відмови з ненадійності або з експлуатаційних причин, формула (4) доповнюється:

$$M_{Ba} = \lambda_a \epsilon_a A t_n K_a \quad , \quad (5)$$

де $K_a = \frac{t_a}{t_n}$ – коефіцієнт, що враховує відносний

час роботи агрегату t_a за час польоту літака t_n ; λ_a, ϵ_a – ті ж параметри що й у формулі (4), але стосовно типу агрегатів.

Якщо за статистичними даними із практичного досвіду відомий коефіцієнт дострокового зняття двигунів, то для більшої точності розрахунків прийнято визначати кількість необхідних для заміни двигунів через відмови M_B за наступним рівнянням:

$$M_B = K_{Дст} A t \epsilon \frac{1}{100} \quad , \quad (6)$$

яке враховує статистичні дані з передчасного зняття двигунів ($K_{Дст}$ – у відсотках) і їх наробіток за час бойових дій.

Після підрахунку складових частин (M_P , M_6 і M_6) рівняння $M_3 = M_P + M_6 + M_B$,

де, M_3 – загальний відхід; M_P – виробленню технічного ресурсу; M_6 – бойових ушкоджень; M_B – відмов через недостатню надійності або порушення правил експлуатації особовим складом, виконується розрахунок загальної кількості двигунів (агрегатів) $M_{заяв}$, на які повинна бути подана заявка в службу забезпечення:

$$M_{заяв} = M_3 + M_{\Phi} - (M_{скл} + M_{рем}) \quad , \quad (7)$$

де M_3 – загальний відхід двигунів агрегатів за період розрахунку; M_{Φ} – оборотний фонд двигунів (установлюється директивною з урахуванням ресурсу, кількості одиниць в експлуатації, термінів доставки і т.п.); $M_{скл}$ – кількість запасних двигунів, що є на складі; $M_{рем}$ – кількість двигунів, що надійдуть у частину з ремонту за період розрахунку.

Формула (7) повною мірою відповідає розрахункам агрегатів літака, радіоелектронного, авіаційного обладнання і озброєння.

Однак при виконанні інженерно-оперативних розрахунків для відносно короткого періоду бойових дій або невеликого числа літако-вильотів (200...300) кількість запасних агрегатів, що підрахована формулами (2) і (4), може значно розходитися з дійсною потребою частини або з'єднання в агрегатах [5, с. 173...178].

У цьому випадку варто робити розрахунок, попередньо задаючись величиною імовірності P того, що за планований період сума агрегатів, що відмовили M_B , і ушкоджених M_6 не перевищить кількість M агрегатів, що отримані у запас, тобто:

$$P = P \{ (M_B + M_6) \leq M \}.$$

При постійній інтенсивності відмов λ імовірність появи рівно i відмов визначається законом Пуассона;

$$P_i = \frac{M_i}{i!} e^{-N_i} \quad , \quad (8)$$

де M_6 – середнє число агрегатів, що відмовили (математичне очікування числа відмов).

Тоді імовірність P появи не більш M відмов:

$$P = \sum_{i=0}^M P_i = \sum_{i=0}^M \frac{M^i}{i!} e^{-M_6} \quad (9)$$

З формули (9) виходить, якщо в запасний фонд отримано M агрегатів, то з імовірністю P їх достатньо для заміни агрегатів цього типу.

Якщо вибрати заздалегідь величини P і M_B і змінювати i у межах $i=0$ до $i=M$, при якому виконується рівність (9), можна скласти табл. 1 залежності $M(P, M_B)$.

Таблиця 1

Кількість потрібних агрегатів даного типу

P	0,8	0,85	0,9	0,95	0,98	0,99
$M_B, M_{\text{Б}}, M_{\text{ВБ}}$	M					
1	1	2	2	3	3	4
2	3	3	4	5	5	6
3	4	4	4	5	5	6
4	5	5	6	7	8	9
5	6	7	7	8	10	11
6	8	8	9	10	11	12
8	10	11	12	13	14	15
10	13	13	14	15	17	13
20	22	24	26	27	29	31
30	34	36	37	39	41	43
40	45	46	48	50	53	55
50	56	57	59	62	65	67
60	66	68	70	73	76	78
80	87	89	92	95	99	101
100	108	110	113	116	120	121

Джерело: [5, с. 178]

Фактично потрібна кількість запасних агрегатів M визначається за даними табл. 1 у залежності від отриманої за розрахунком (по формулі (2)) величини M_B , і обраної імовірності P безперебійного постачання.

Аналогічні міркування справедливі і для кількості агрегатів, що вимагають заміни з бойових ушкоджень M_6 , тому що коефіцієнт k_n прийнятий постійним і імовірність виходу з ладу агрегатів через ушкодження також підпорядкована законові Пуассона.

Отже, при заданій імовірності P за допомогою таблиці 1 можна визначити фактично потрібну кількість запасних агрегатів M на заміну тих, що відмовили, і тих, що одержали пошкодження.

Для цього знаходиться величина $M_{\text{ВБ}} = M_B + M_6$ і по таблиці 1 визначається M для заданого значення P .

Загальне число потрібних агрегатів даного типу знайдеться як сума числа M по табл. 1 і числа

запасних агрегатів M_p для заміни тих, що відпрацювали свій ресурс.

На сьогодні в умовах дії правового режиму воєнного стану справність авіаційних двигунів (далі – АД) та їх агрегатів, забезпечується такими шляхами [6, с. 156...161; 7, с. 93...98; 8, с. 93...98]:

виконання капітального ремонту на авіаремонтних підприємствах;

продовження призначеного ресурсу з напрацювання ДСО та ОВДСО на основі оцінки їх циклічного пошкодження в експлуатації;

збільшення призначеного ресурсу з кількості запусків в міжремонтний період після виконання визначеного переліку робіт;

переведення на експлуатацію за технічним станом (ЕТС) по строку служби з виконанням визначених контрольно-відновних робіт та контрольно-технічних оглядів і допуску до подальшого етапу експлуатації;

переведення на експлуатацію за технічним станом по напрацюванню в годинах з виконанням спільно з авіаційним ремонтним підприємством переліків контрольно-відновних робіт, при цьому, величина призначеного ресурсу двигуна визначається індивідуально в межах мінімальної величини встановленого ресурсу його ДСО та ОВДСО;

відновлення з періодичною оцінкою працездатності та поетапним продовженням встановлених показників.

У подальшому планується запровадити систему нормативно-правових актів та нормативно-технічних документів, яка забезпечить формування й реалізацію технічної політики в галузі підтримання справності, експлуатації, ремонту та модернізації авіаційної техніки авіації ЗС України, зокрема такої, за якою не здійснюється авторський нагляд [1, с. 51...55; 9, с. 110...120; 10, с. 5...14; 11, с. 116...118].

Разом з тим, досвід розв'язання проблеми забезпечення ремонту компонентів СУ "ресурсними" ДСО, ОВДСО та агрегатами певної номенклатури вимагає значних обсягів розрахунково-експериментальних досліджень та суттєвих матеріальних витрат, залучення до їх розв'язання низки підприємств і організацій, підготовки їх виробничо-технологічної бази та персоналу тощо і може тривати декілька років до отримання позитивного результату.

Тому процес розв'язання проблем відновлення справності компонентів СУ літаків має бути планомірним, скоординованим, мати чітко визначені пріоритети та шляхи, пов'язаними та синхронізованими із реалізацією заходів з

вирішення аналогічних проблем, які виникають у сфері забезпечення цілісності конструкції планерів літаків по мірі вичерпання ними як ресурсу, так і досягнення строків служби понад 35...45 років, реалізації програм модернізації та ремонту, та перезоброєння ПС на нову авіаційну техніку.

Пропонується декілька варіантів вирішення проблеми відновлення та підтримання справності АД.

1. Закупівля у іноземних постачальників нових оригінальних ДСО, ОВДСО та агрегатів які мають достатній залишок встановленого ресурсу для їх відновлення. Переведення певної кількості компонентів СУ належності ПС у нижчу категорію для списання, розбирання та вилучення з них ремонтпридатних ДСО, ОВДСО та агрегатів для цілей забезпечення ними капітального ремонту визначених перспективних компонентів СУ.

2. Планомірне виконання досліджень і робіт із збільшення (продовження за технічним станом) встановленого ресурсу ОВДСО та агрегатів до величини, яка забезпечує їх установку в компоненти СУ на черговий міжремонтний ресурс [12, с. 74...84]. Серійне виконання робіт з продовження їх ресурсу у разі отримання позитивних результатів досліджень. Переведення на ЕТС компонентів СУ із ОВДСО, по яких розроблено технологічні процеси ремонту та методики оцінки (прогнозування) досягнення граничного стану у процесі експлуатації.

3. Освоєння виробництва в Україні у порядку імпортозаміщення певної номенклатури особливо дефіцитних ОВДСО, ДСО обов'язкової заміни та агрегатів. Разом з тим, застосування аналогічних вітчизняних матеріалів та матеріалів і заготівель іноземного походження вимагає значеного обсягу досліджень та випробувань щодо обґрунтування ресурсу та допуску до застосування виготовлених з них ОВДСО. В умовах обмеженої потреби у кількості таких деталей це може бути економічно не вигідним.

4. Освоєння та впровадження в практику капітального ремонту технологій (технологічних процесів), які забезпечують відновлення ОВДСО,

ДСО та агрегатів, які раніше вважались неремонтопридатними.

Для реалізації відновлення та підтримання справності авіаційних двигунів авторами пропонується:

забезпечувати застосування за призначенням існуючого парку літальних апаратів ПС;

забезпечувати реалізацію індивідуальних програм експлуатації визначених ЛА і підвищення їх бойового потенціалу шляхом модернізації;

підвищити якість ремонтного виробництва авіаційних двигунів та їх компонентів до рівня провідних світових підприємств, міжнародних стандартів та вдосконалити національну систему підтримання льотної придатності АТ, за якою не здійснюється авторський нагляд;

зберегти робочі місця, висококваліфікований, професійний і мотивований персонал та створити додаткові робочі місця в усіх суб'єктах авіаційної діяльності державної авіації України.

Висновки

З метою відновлення та підтримання справності АД для ЛА авторами запропоновано основні шляхи щодо забезпечення справності АД та літаків ПС в умовах відсутності авторського нагляду. Також надано методики розрахунків відходу АТ до втрат і ремонту, відновлення пошкодженої АТ та розрахунків необхідної кількості запасного фонду агрегатів.

Подальші дослідження. Важливим напрямом підвищення надійності функціонування авіаційних двигунів в сучасних умовах є зростання ефективності контролю за станом їх вузлів та агрегатів з використанням зростаючих можливостей сучасних комп'ютерних технологій з застосуванням складних моделей прогнозування та штучного інтелекту. На розробку таких моделей з використанням елементів штучного інтелекту та можливостей передових комп'ютерних програм будуть спрямовані подальші дослідження авторів.

Список літератури

1. Пашенко С.В., Лобунько О.П., Самуєв В.В. Забезпечення справності авіаційних силових установок бойових літальних апаратів – основа боєздатності військової авіації, Наука і оборона, 4'2013, – С. 51-55.
2. Харченко О.В, Пашенко С.В., Мавренков О.Є. Система підтримання справності та забезпечення розвитку авіації Збройних Сил України, Зб. наук. праць Державного науково-дослідного інституту авіації, 2019. Вип. 15 (22). – С. 9-17.
3. Лобунько О.П., Яровіщин О.В., Сучасні науково-технологічні аспекти ремонту деталей авіаційних двигунів, Зб. наук. праць Державного науково-дослідного інституту авіації, 2019. Вип. 15 (22). – С. 153-161.

4. Гришин В.М., Шульгін А.А., Економічні аспекти обґрунтування експлуатаційних витрат на підтримання справності авіаційної техніки впродовж строку її служби, Зб. наук. праць Державного науково-дослідного інституту авіації, 2019. Вип. 15 (22). – С. 144-148.
5. Організація технічного забезпечення авіації Збройних Сил України. Підручник В.І. Соловйов, Г.Н. Котельніков, В.А. Лихоманенко та ін.: /За ред. В.І. Соловйова. – К: НАОУ, 2005. – 480 с.
6. Коцюрба В., Даценко І., Бологін А. Сучасні методи прогнозування технічного стану авіаційної техніки. Journal of Scientific Papers “Social Development and Security”. 2021. Vol. 11, № 3. – С. 156-161.
7. Кузьміч О. Є., Аркушенко П. Л., Андрушко М. В., Ратушний С. В. Щодо організації процесу забезпечення інформаційної складової життєвого циклу повітряних суден. Зб. наук. праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. 2022. Вип. 4(14). – С. 93-98.
8. Кузьміч О. Є., Аркушенко П. Л., Андрушко М. В., Ратушний С. В. Щодо організації процесу забезпечення інформаційної складової життєвого циклу повітряних суден. Зб. наук. праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. 2022. Вип. 4(14). – С. 93-98.
9. Старцев В.В., Третьак В.Ф., Міхальова Л.В., Коломійцев О.В., Борщ В.В., Олійник Р.М Основні положення методики оцінювання можливостей відновлення озброєння та військової техніки Повітряних Сил Збройних Сил України, пошкоджених під час ведення бойових дій. Зб. наук. праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. 2022. Вип. 3(13). – С.110-120.
10. Дачковський В.О., Коцюрба В. І. Методика оцінювання ефективності функціонування системи відновлення озброєння та військової техніки. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2020. Вип. 1(37). – С. 5-14.
11. Павловський О. В. Прогнозування величини втрат озброєння та військової техніки під час операцій (бойових дій). Системи озброєння і військова техніка. 2015. Вип. 4. – С. 116-118.
12. Звіт за результатами досліджень з визначення можливості та умов збільшення встановленого ресурсу авіаційних двигунів до величини, що забезпечує відпрацювання двигунами чергового міжремонтного ресурсу. – К.: ДНДІА, 2020 – 320 с.

Надійшла до редколегії 04.11.2024

Схвалена до друку 05.12.2024

Відомості про авторів:

Бондар Андрій Васильович

кандидат технічних наук
провідний науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-3350-4331>

Устінов Сергій Володимирович

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

Агамова Раїса Геннадіївна

молодший науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9723-2988>

Мартиросян Олег Арович

провідний документознавець
Головного управління державної авіації України,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0009-0001-9639-6059>

Information about the authors:

Andrei Bondar

Candidate of Technical Sciences
Leading Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3350-4331>

Serhiy Ustinov

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

Raisa Ahamova

Junior Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9723-2988>

Oleh Martyrosian

Leading Document Expert
of Head Office of State Aviation of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0001-9639-6059>

WAYS OF MAINTAINING THE PERFORMANCE OF AVIATION ENGINES TO ENSURE THE INTENDED USE OF THE AIR FORCE AIRCRAFT FLEET

A. Bondar, S. Ustinov, R. Ahamova, O. Martyrosian

The article provides a systematic overview of the vision of the main priorities, ways, and measures for the implementation of the technical policy regarding the restoration and maintenance of the aircraft engines to ensure the effective and safe use of the aircraft fleet.

This will lead to conditions for reducing the number of components of the components that can be restored for their installation on the fighter, both during their repair and modernization, and during the current operation of serviceable aircraft. Thus, conditions will arise for a forced physical reduction in the number of serviceable and combat-ready aircraft.

The main options for restoring and maintaining the serviceability of aviation power plants of combat aircraft of the Armed Forces of Ukraine by mastering their overhaul at enterprises of domestic industry in the absence of author support from developers and manufacturers are presented.

Therefore, the process of solving the problems of restoring the serviceability of the components of the fighter jets should be planned, coordinated, have clearly defined priorities and paths, connected and synchronized with the implementation of measures to solve similar problems that arise in the field of ensuring the structural integrity of aircraft airframes fighter jets to the extent that they exhaust both the resource and reach service periods of more than 35-45 years, the implementation of modernization and repair programs, and the rearmament of the Air Force Base with new aviation equipment.

Thus, to restore and maintain the serviceability of aircraft engines for fighters, it is necessary: to ensure the intended use of the fleet of type fighters with a specified range in accordance with the training needs of crews, units and units of the Air Force; to ensure the implementation of individual programs for the operation of certain examples of aircraft and increase their combat potential through modernization; to raise the quality of repair production of aircraft engines and their components to the level of leading global enterprises, international standards and to improve the national airworthiness maintenance system of JSC state aviation; to preserve jobs, highly qualified, professional and motivated personnel and to create additional jobs in all subjects of aviation activity of the state aviation of Ukraine.

Keywords: aircraft engine, maintenance, power plant, parts and/or components, especially responsible parts and/or components, fighter aircraft.