

М.Б. Сушак, О.І. Євмешкін, М.М. Деревянко, С.О. Фокін

Державний науково-дослідний інститут авіації, м. Київ

МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ЩОДО КІЛЬКІСНОЇ ОЦІНКИ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ НА ЕТАПІ ЇЇ РЕМОНТУ В УМОВАХ АВІАРЕМОНТНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Представлено методичний підхід щодо кількісної оцінки ремонтпридатності авіаційної техніки на етапі її ремонту в умовах авіаремонтного підприємства. Використання запропонованого методичного підходу дозволить виявляти основні недоліки конструкції, які знижують рівень ремонтпридатності та отримувати вихідні дані для збільшення рівня ремонтпридатності літальних апаратів. Методичний підхід щодо оцінки ремонтпридатності авіаційної техніки на етапі її заводського ремонту акцентовано на оцінці ремонтпридатності літального апарату в цілому, а також ремонтпридатності планеру та його систем.

Ключові слова: *авіаційна техніка, заводський ремонт, ресурс, ремонтпридатність, технологія ремонту, трудомісткість, доступність, контролепридатність, легкознімність, взаємозамінність.*

Вступ

Постановка проблеми. Ремонт авіаційної техніки (далі – АТ) є важливою складовою її життєвого циклу, забезпечує відновлення технічних характеристик літальних апаратів (далі – ЛА) і продовження їх експлуатаційного ресурсу. Однак на етапі заводського ремонту часто виявляються недоліки конструкції, що ускладнюють процес ремонту та збільшують його вартість і тривалість. Відсутність чіткої методології оцінки ремонтпридатності АТ на етапі ремонту може призвести до неефективного відновлення ЛА та зниження їх надійності в процесі експлуатації.

Актуальним проблемним питанням при ремонті АТ є необхідність розробки такого підходу, який дозволяє систематично оцінювати її ремонтпридатність в умовах авіаремонтного підприємства, з урахуванням конструктивних особливостей, виявляти недоліки конструкції, що впливають на це, давати рекомендації щодо їх усунення. Це також важливо для формування вимог до проєктування нових ЛА із оптимальним рівнем їх ремонтпридатності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Під ремонтпридатністю ЛА розуміється їх конструктивна пристосованість для виконання всього циклу ремонтних робіт із мінімальними затратами праці, матеріальних засобів та часу.

Під час розробки ЛА показники ремонтпридатності суворо регламентуються нормативними документами [1...3]. Однією із необхідних умов формування високого рівня ремонтпридатності на етапі проєктування є

наявність оптимальних вимог до них, що формується з урахуванням наступного:

оцінка ремонтпридатності ЛА попередніх серій (з урахуванням досвіду іноземних авіабудівних компаній);

аналіз тенденцій та перспектив конструктивного удосконалення АТ;

урахування можливих змін організаційно-штатної структури інженерно-авіаційної служби;

урахування можливостей впровадження перспективних форм технічного обслуговування та ремонту АТ.

На цей час у науково-технічній літературі описано низку методів забезпечення ремонтпридатності АТ із зазначенням важливості цього процесу на етапі проєктування ЛА [4...6].

Ремонтпридатність ЛА формується під час його проєктування. Уже на цьому етапі конструкція ЛА повинна бути спеціально пристосованою до усіх видів можливих ремонтно-відновлювальних робіт. На більш пізніх етапах життєвого циклу ЛА (дослідне та серійне виробництво, експлуатація) ефективно впливати на властивість ремонтпридатності практично не є можливим.

Досвід експлуатації повітряних суден, які виготовлені підприємством “Антонов” за останні 30 років показує, що значну частину у загальних затратах на їх утримання у справному стані протягом призначених ресурсних показників складають затрати на виконання контрольно-відновлювальних робіт, як в умовах експлуатації, так і на базі авіаремонтних підприємств (далі – АРП). Однією з причин, що впливає на збільшення

потрібних затрат, окрім конструктивного ускладнення ЛА, збільшення їх габаритів, кількості систем і агрегатів, є недостатньо високий рівень їх ремонтпридатності.

Оцінка ремонтпридатності відпрацьовується в кількісній та якісній формі для ЛА в цілому, а також для планера та його систем, авіаційного обладнання, радіоелектронного обладнання, авіаційного озброєння, десантно-транспортного та спеціального обладнання [7...9]. Окремо виконуються оцінки ремонтпридатності двигунів ЛА [10].

Основним джерелом вихідної інформації для оцінки ремонтпридатності ЛА на етапі їх ремонту мають бути дані про фактичні витрати праці, матеріальних засобів та часу, а також дані щодо складових структури ціни цих затрат.

Ремонтпридатність конструкції ЛА – комплексна та багатопланова властивість. Задача забезпечення необхідного рівня ремонтпридатності перспективного військово-транспортного літака, що створюється, повинна бути інтегрована з передбачуваними умовами подальшої експлуатації та ремонту цього ЛА. Принаймні ремонтпридатність за видом ремонту розподіляється на:

ремонтпридатність щодо стаціонарних профілактично-відновлювальних ремонтів (капітальний, середній) в умовах АРП;

ремонтпридатність щодо ремонту бойових пошкоджень як в умовах авіаційних бригад, так і на базі АРП;

ремонтпридатність щодо поточного ремонту в умовах авіаційних бригад.

У відповідності до цього одна і та сама конструкція ЛА може мати різні характеристики ремонтпридатності в залежності від умов експлуатації та ремонту.

Представлений в статті методичний підхід призначений для оцінки ремонтпридатності ЛА, що характеризує профілактично-відновлювальний ремонт в умовах АРП.

Звісно, що оцінка ремонтпридатності ЛА під час ремонту їх на базі АРП має наступні цілі:

виявлення фактичного стану ремонтпридатності, його відповідності наявним вимогам до показників ремонтпридатності ЛА;

визначення шляхів та можливостей удосконалення технологічних процесів ремонту, організації ремонтного виробництва;

виявлення найбільш реальних можливостей удосконалення конструкції (в тому числі проведення конструктивних доробок) ЛА для покращення його ремонтпридатності;

отримання вихідної інформації для формування вимог до ремонтпридатності ЛА на етапі їх проєктування;

отримання вихідної інформації для розробки та провадження перспективних форм експлуатації та ремонту (у тому числі за технічним станом).

Комплексна властивість ремонтпридатності складається із цілого ряду складових частин, таких як:

доступність – можливість виконувати технологічні операції під час ремонту без попередніх затрат на забезпечення необхідного робочого простору в зоні робіт. Виконавці робіт при цьому працюють з максимальною виробничою потужністю;

контролепридатність – пристосованість до виконання всіх необхідних контрольних-діагностичних операцій при мінімальному об'ємі підготовчо-допоміжних робіт;

агрегатування – можливість розстикування ЛА з мінімальними затратами на ряд складових частин, для яких можливий автономний ремонт;

легкознімність – властивість конструкції, що характеризується кількістю та типом елементів кріплення, які використовуються для з'єднання (фіксації) складових частин;

взаємозамінність – можливість заміни складових частин виробу зі збереженими характеристиками функціонування без виконання підгоночно-регулювальних та інших допоміжних робіт;

блочність – об'єднання ряду агрегатів, що виконують близькі або суміжні функції, в об'єднані блоки, панелі, що характеризуються загальними корпусними деталями, вузлами кріплення та стилями комунікацій;

однозначність варіантів збору – конструктивна неможливість неправильного встановлення деталей, монтажу агрегатів, під'єднання комунікацій;

зонність – упорядкованість розміщених агрегатів систем за зонами, що передбачає розташування у кожній із зон агрегатів мінімального числа систем;

відновлюваність деталей та вузлів.

Наявність у конструкції ЛА перерахованих вище властивостей має забезпечувати виконання ремонту ЛА з мінімальними затратами труда, матеріальних засобів та часу за умов забезпечення необхідної післяремонтної надійності в межах встановленого ресурсу до наступного ремонту або до списання.

Перелік обов'язкових робіт під час ремонту, що визначає основну частину ремонтних затрат, залежить не тільки від довговічності складових частин ЛА, а і значною мірою від стану ремонтпридатності ЛА.

До найбільш найпоширеніших недоліків ремонтпридатності, у першу чергу, прийнято відносити наявність у переліку виконуваних робіт таких робіт або технологічних операцій, яких могло

б не бути за умови спеціальної пристосованості конструкції ЛА до ремонту [11...16].

Мета статті – оприлюднення основних положень методичного підходу щодо кількісної оцінки ремонтпридатності АТ на етапі її ремонту в умовах авіаремонтного підприємства, що дасть можливість сформувати вхідні дані для розробки рекомендацій та вимог до проектування ЛА із підвищеним рівнем ремонтпридатності.

Виклад основного матеріалу

Кількісна оцінка ремонтпридатності ЛА у цілому може бути виконана за наявності даних про ремонт даного типу ЛА на базі АРП, а саме:

вид ремонту що виконується;

дата освоєння ремонту кожної із модифікацій ЛА (дата схвалення);

на підставі якого переліку робіт (назва переліку, дата введення в дію) та після яких ресурсних показників (строків служби) виконується ремонт кожної із модифікацій ЛА;

дата введення в дію на АРП керівництва з ремонту ЛА (за модифікаціями);

забезпеченість АРП керівництвами з ремонту;

забезпеченість покупними виробами (в процентах до кількості номенклатурних одиниць виробів для систем планера, авіаційного обладнання, радіоелектронного обладнання, авіаційного озброєння, десантно-транспортного та спеціального обладнання);

дані щодо конструктивних доробок ЛА:

загальна кількість доробок, що виконується на базі АРП;

доробки, що виконуються бригадами промисловості на базі АРП;

доробки, що виконуються за ремонтними бюлетенями. Для зручності, дані щодо конструктивних доробок мають надаватися від АРП у табличному вигляді із зазначенням кількості доробок та трудомісткості їх в людино-годинах. У загальну кількість доробок входять доробки, що виконують АРП за бюлетенями, які не виконані у авіаційних бригадах. У випадках, якщо на базі АРП на кожному з ЛА, що ремонтуються, виконується різна кількість доробок, в таблицю необхідно заносити їх середню кількість за період, який розглядається;

річний рівень завантаженості АРП (виробнича потужність);

загальна (штатна) чисельність персоналу АРП;

фактична чисельність персоналу АРП (на момент формування даних для подальшої оцінки ремонтпридатності ЛА у цілому).

Кількісна оцінка ремонтпридатності ЛА у цілому здійснюється за наступними показниками:

середня фактична трудомісткість ремонту T_p розраховується на підставі даних, що попередньо отримані від АРП, за формулою:

$$T_p = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n}, \quad (1)$$

де T_i – фактична трудомісткість ремонту i -го ЛА; n – кількість ЛА, що відремонтовані за період, який розглядається.

Величина T_p може розраховуватись для першого року ремонту або для будь-якого j -го року ремонту (зазвичай приймається $j = 5$) після закінчення процесу освоєння ремонту ЛА даного типу. Величина T_p повинна окремо розраховуватись для середнього та капітального ремонту. Але у зв'язку з тим, що етап освоєння ремонту зазвичай затягується на тривалий період, величина T_p може бути визначена лише умовно з урахуванням T_i . Слід враховувати, що під час освоєння ремонту ЛА частіше всього здійснюється поступове (поетапне) освоєння ремонту складових частин ЛА (агрегатів, блоків), нових (прогресивних) технологічних процесів. Тому часто трудомісткість ремонту в міру освоєння не знижується, а в окремих випадках навіть зростає. Через цю ж причину ділення ремонтів на середні та капітальні носить, в основному, формальний характер. У зв'язку з тим, що трудомісткість ремонту перших трьох одиниць ЛА залежить від ряду суб'єктивних факторів, для оцінки ремонтпридатності слід використовувати статистичні дані, отримані за результатами ремонту п'яти одиниць ЛА, які пройшли ремонт на АРП.

Середня фактична вартість ремонту C_p розраховується аналогічно трудомісткості на ремонт T_p на підставі даних, що надаються попередньо від АРП за формулою:

$$C_p = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}. \quad (2)$$

Для величини C_p справедливі всі зауваження, що відносяться до T_p .

Питома трудомісткість на ремонт $\bar{T}_p$ розраховується на підставі даних, що надаються попередньо від АРП за формулою:

$$\bar{T}_p = \frac{T_p}{t_{\text{сер}}} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{\sum_{i=1}^n t_i}, \quad (3)$$

де n – кількість ЛА, за даними про ремонт яких розраховується величина T_p ; t_i – напрацювання i -го ЛА при надходженні в ремонт.

При розрахунку $\bar{T}_p$, також як і при розрахунку T_p , необхідно використовувати статистичні дані, починаючи з п'ятого ЛА із числа тих, що пройшли ремонт на АРП.

Питома приведена трудомісткість ремонту $\bar{T}_p'$ розраховується на підставі даних, що надаються попередньо від АРП за формулою:

$$\overline{T}_p' = \frac{\overline{T}_p}{G}, \quad (4)$$

де $\overline{T}_p$ – питома трудомісткість ремонту; G – вага конструкції ЛА.

Питома вартість ремонту $\overline{C}_p$ розраховується аналогічно показнику $\overline{T}_p$ за формулою:

$$\overline{C}_p = \frac{C_p}{t_{\text{сер}}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{\sum_{i=1}^n t_i}. \quad (5)$$

Питома приведена вартість ремонту $\overline{C}_p'$ розраховується аналогічно показнику $\overline{T}_p'$ за формулою:

$$\overline{C}_p' = \frac{\overline{C}_p}{G}. \quad (6)$$

Середня оперативна тривалість ремонту ЛА розраховується на підставі даних, що попередньо надходять з АРП, аналогічно показнику $\overline{T}_p$ за формулою:

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i}{n}, \quad (7)$$

де τ_i – оперативна тривалість ремонту i -го ЛА, що не включає в себе всі види організаційних простоїв, перерв технологічного процесу через відсутність матеріалів, запасних частин (комплектувальних виробів); n – кількість ЛА, як і для показника $\overline{T}_p$ вхідну інформацію для розрахунку показника τ слід використовувати, починаючи з n -го ЛА, що пройшов ремонт.

Коефіцієнт конструкторської доробки $K_{\text{дор}}$ розраховується за формулою:

$$K_{\text{дор}} = \frac{T_p - T_{\text{дор}}}{T_p}, \quad (8)$$

де T_p – середня трудомісткість ремонту ЛА; $T_{\text{дор}}$ – середня трудомісткість доробок, що виконуються на АРП.

$T_{\text{дор}}$ розраховується аналогічно показнику $\overline{T}_p$ за формулою:

$$T_{\text{дор}} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{\text{дор } i}}{n}. \quad (9)$$

У тих випадках, коли відсутні дані про доробки кожного із відремонтованих ЛА, величина $T_{\text{дор}}$ не розраховується за формулою (9), а береться із даних від АРП або із відповідного переліку обов'язкових робіт, що виконуються підприємством під час ремонту.

Коефіцієнт контролепридатності $K_{\text{кп}}$ розраховується тільки для робіт за результатами дефектації (визначеного технічного стану) ЛА до його розбирання, за дефектацією незнімного обладнання після розбирання ЛА, за дефектацією

демонтованих агрегатів, блоків, вузлів в агрегатних цехах АРП.

Коефіцієнт $K_{\text{кп}}$ для ЛА в цілому розраховується на підставі коефіцієнтів контролепридатності систем (комплексів) ЛА за формулою:

$$K_{\text{кп}} = \frac{\sum_{i=1}^m K_{\text{кп } i} \cdot t_{\text{к } i}}{\sum_{i=1}^m t_{\text{к } i}}, \quad (10)$$

де $K_{\text{кп } i}$ – коефіцієнт контролепридатності (за трудомісткістю) i -тої системи (комплексу) ЛА; $t_{\text{к } i}$ – трудомісткість контрольних операцій (дефектації) i -тої системи (комплексу) ЛА; m – кількість систем (комплексів), для яких за формулою (10) були розраховані коефіцієнти контролепридатності.

Величина $t_{\text{к } i}$ береться на АРП попередньо. Значення $K_{\text{кп } i}$ розраховується за формулою:

$$K_{\text{кп } i} = 1 - \frac{\sum_{j=1}^m t_{\text{дон } j}}{\sum_{j=1}^m t_j}, \quad (11)$$

де t_j – трудомісткість дефектації (контролю) j -го елемента системи (комплексу); $t_{\text{дон } j}$ – трудомісткість допоміжних робіт, необхідних для виконання контрольно-діагностичних операцій, що регламентовані для j -го елемента; m – кількість елементів, що підлягають дефектації.

Вихідна інформація для розрахунку значень $K_{\text{кп } i}$ береться на АРП попередньо.

Коефіцієнт контролепридатності ЛА у цілому може регулюватися у двох випадках:

для установленної на АРП технологічної послідовності попередньої дефектації, розробки (демонтажу), дефектації незнімного обладнання, дефектації агрегатів, блоків після їх розбирання в спеціалізованих цехах АРП;

для випадку забезпечення контролю технічного стану за вхідної умови повністю зібраного ЛА.

У першому та другому варіантах коефіцієнт контролепридатності буде істотно відрізнятися за рахунок збільшення об'єму робіт, що враховуються як допоміжні роботи, ніж у другому варіанті.

Через цю причину під час розрахунку $K_{\text{кп}}$ ЛА на підставі $K_{\text{кп } i}$ систем (комплексів) необхідно звернути увагу на те, за яким варіантом розраховувались $K_{\text{кп } i}$, що використовуються.

Коефіцієнт взаємозамінності $K_{\text{вз}}$ розраховується аналогічно коефіцієнту контролепридатності за формулою:

$$K_{\text{вз}} = \frac{\sum_{i=1}^m K_{\text{вз } i} \cdot t_{\text{з } i}}{\sum_{i=1}^m t_{\text{з } i}}, \quad (12)$$

де $K_{\text{вз } i}$ – коефіцієнт взаємозамінності i -тої системи (комплексу) ЛА; $t_{\text{з } i}$ – загальна

трудомісткість замін, яка враховувалась у розрахунку $K_{\text{вз } i}$; m – кількість систем (комплексів) ЛА, для яких за формулою (12) були розраховані значення $K_{\text{вз } i}$.

Значення ($K_{\text{вз } i}$) розраховується за формулою:

$$K_{\text{вз } i} = 1 - \frac{\sum_{j=1}^m t_{\text{нр } j}}{\sum_{j=1}^m t_j}, \quad (13)$$

де t_j – загальна трудомісткість заміни j -го елементу системи (комплексу); $t_{\text{нр } j}$ – трудомісткість підгоночно-регулювальних робіт при заміні j -го елементу; m – кількість елементів системи (комплексу), щодо яких існує інформація про здійснення замін.

Вихідна інформація для розрахунку значень $K_{\text{вз } i}$ береться на АРП попередньо.

Для планеру ЛА величини $K_{\text{вз } i}$ розраховуються двічі:

для заміни на запасні частини *I* категорії;

для заміни на запасні частини *II* категорії (перестановка з літака на літак). Визначальним фактором при цьому є геометрична взаємозамінність складових частин (комплектувальних виробів).

Для систем планеру практично повністю забезпечена геометрична взаємозамінність складових частин, а тому визначальну роль буде відігравати функціональна взаємозамінність, та $K_{\text{вз } i}$ для випадків замін на *I* або *II* категорії будуть практично однаковими.

Коефіцієнти взаємозамінності можуть розраховуватись у двох варіантах:

для заміни на запасні частини *I* категорії;

для заміни на запасні частини *II* категорії (перестановка з літака на літак).

При розрахунку $K_{\text{вз } i}$ ЛА у цілому необхідно звернути увагу на те, за яким варіантом були розраховані величини вхідних показників $K_{\text{вз } i}$ систем (комплектів) ЛА [17...23].

Якісні оцінки ремонтпридатності є важливим доповненням до кількісного, а в низці випадків є

єдиним для оцінки тих чи інших сторін комплексної властивості ремонтпридатності.

Якісні оцінки можливо умовно розділити на дві групи:

оцінка виконання конкретно заданих вимог до ремонтпридатності ЛА або встановлених нормативними документами загальних вимог до ремонтпридатності;

оцінка фактичної реалізації в конструкції ЛА новітніх технічних можливостей для дослідження високого рівня ремонтпридатності.

Оцінки першої групи є контрольними і мають реалізовуватися до прийняття ЛА на озброєння, а їх результати враховуються в актах державних

випробувань. Однак, в Україні до сьогоднішнього дня такі оцінки практично не проводились через відсутність вимог до ремонтпридатності в технічних завданнях на розробку нових зразків ЛА.

Оцінки другої групи є дослідницькими і призначені для виявлення фактичного рівня ремонтпридатності ЛА, які проходять ремонт на базі АРП. Результати таких оцінок повинні давати вихідну інформацію для порівняння ремонтпридатності різних типів ЛА, для визначення можливостей удосконалення організації ремонтного виробництва, для формування перспективних вимог до ремонтпридатності ЛА.

Під час відпрацювання загальної якісної оцінки ремонтпридатності ЛА необхідно характеризувати:

загальну пристосованість конструкції ЛА до виконання встановленого переліку обов'язкових робіт під час ремонту на АРП;

пристосованість конструкції ЛА до впровадження під час ремонту прогресивних форм організації ремонтного виробництва, прогресивних технологічних процесів;

можливість виконання ремонту з використанням мінімальної кількості спеціального технологічного обладнання та інструменту;

відповідність рівня ремонтпридатності складових частин ЛА їх відносній надійності;

стан конструктивної досконалості ЛА.

Вихідна (початкова) інформація про ремонтпридатність ЛА формується на АРП, яка виконує ремонт цього типу ЛА силами інженерно-технічного складу АРП під методичним керівництвом фахівців Державного науково-дослідного інституту авіації. Збір та оформлення вихідної інформації має здійснюватися систематизовано у відповідності з попередньо визначеними формами за спеціальностями: планер та його системи, авіаційне обладнання, радіоелектронне обладнання, авіаційне озброєння, десантно-транспортне та спеціальне обладнання.

Основний вид збираної інформації на АРП – відомості про фактичну трудомісткість на ремонт у цілому, а також про складові цієї трудомісткості. У форми збору інформації відомості представляються:

із звітної документації АРП про затрати на ремонт усіх ЛА, які відремонтовані за період, що розглядається;

із діючих нормативів ремонтних затрат;

за результатами обробки даних хронометражів, які проводяться службами АРП;

за результатами спеціальних хронометражів, які проводяться для забезпечення оцінки ремонтпридатності;

за результатами спеціально проведених експертних оцінок.

Експертні оцінки рекомендуються застосовувати переважно в тих випадках, коли будь-яку загальну величину затрат необхідно розбити на її окремі складові. Експертна група повинна складатись не менше ніж із трьох осіб. До складу групи доцільно вводити інженера-технолога технічного відділу або технолога цеху, нормувальника, майстра цеху або найбільш кваліфікованого виконавця оцінюваної роботи, представника керівного складу цеху. До складу групи призначається керівник, який має чітке розуміння про цілі, завдання експертної оцінки та порядок збору інформації для оцінки ремонтпридатності ЛА.

У разі, коли розбіжність

$$\bar{\tau} = \frac{\tau_{\max} - \tau_{\min}}{\tau_{\min}} \cdot 100 \%$$

між оцінками експертів менше 100 % результуюча оцінка формується шляхом осередкування значень, що надані експертами. Якщо величина розбіжності $\tau > 100 \%$, то керівник групи повинен організувати обговорення усіх аспектів оцінки в групі та провести її повторно [24].

Решта відомостей повинні формуватися за фактичними або нормативними затратами виробничих робочих цехів основного виробництва АРП.

Висновки

Наведений у статті методичний підхід, щодо кількісної оцінки ремонтпридатності АТ під час її заводського ремонту призначений для оцінки ремонтпридатності ЛА, виявлення основних недоліків конструкції, які знижують рівень ремонтпридатності, що дозволяє отримувати вихідні дані для розроблення відповідних вимог до розробника щодо корегування властивостей ремонтпридатності ЛА під час його проектування.

Даний методичний підхід на відміну від вже існуючих побудований з урахуванням вихідної інформації, яка попередньо формується на АРП під час виконання ремонту АТ заданого типу, що дозволяє під час проектування (розробки) конструкції ЛА закласти підвищення його ремонтпридатності у майбутньому.

Основним джерелом вихідної інформації оцінки ремонтпридатності ЛА на етапі ремонту повинні бути відомості про фактичні затрати праці, матеріальних засобів та часу, а також відомості про складові цих затрат.

Подальші дослідження авторів будуть зосереджені на питаннях можливого впровадження та застосування запропонованого методичного підходу щодо оцінки ремонтпридатності АТ у процесі проектування літального апарату.

Список літератури

- ГОСТ 22952-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Методы расчета показателей ремонтпригодности по статистическим данным.
- ГОСТ 21623-76. Система технического обслуживания и ремонта техники. Показатели для оценки ремонтпригодности. Термины и определения.
- ГОСТ 23146-78. Выбор и задание ремонтпригодности. Общие положения.
- Сушак М.Б., Деревянко М.М., Фокін С.О. Аналіз технологічних способів покращення якості ремонту виробів авіаційної техніки Збройних Сил України // 36. наук. праць Державного науково-дослідного інституту авіації. 2022. – Випуск № 18 (25). – С. 187 – 196.
- Есин Б.И. Теоретические основы ремонтпригодности машин. – М.: “Знание”, 1978. – 94 с.
- Шапиро А.Ш., Лысов В.В. Зарубежный опыт оценки и обеспечения эксплуатационной технологичности и ремонтпригодности авиационной техники. Выход № 3703.
- U Dinesh Kumar, John Crocker, J Knezevic, M EI-Haram. (2000) Reliability, Maintenance and Logistic Support – A Life Cycle Approach, Kluwer Academic Publishers, USA.
- Каннингхем К., Кокс В. Методы обеспечения ремонтпригодности. – М.: “Сов. радио”, 1978. – 312 с.
- Nevell D., (2000) Using Aggregated Cumulative Hazard Plots to Visualise Failure Data, Quality and Reliability Engineering International, 16.2 pp. 209-219.
- Бакулев В.И. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок, под ред. В.А. Сосунова, В.М. Чепкина. / В.И. Бакулев. – М.: “МАИ”, 2003. – 436 с.
- Silverman, M. and Kleynner, A. (Eds.) (2012) What is Design for Reliability and What is Not? Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), Reno, 23-26 January 2012, 1-5.
- Метелкин И.С., Леляков В.А. Оценка ремонтпригодности ЛА на этапе их ремонта в авиаремонтных предприятиях Военно-Воздушных Сил. Выход № 4957. Введено в действие Указанием № КВР-842 (8099) Главного инженера ВВС от 08.02.1982.
- Susova, G.M. and Petrov, A.N. (Eds.) (1997) Markov Model-Based Reliability and Safety Evaluation for Aircraft Maintenance-System Optimization, Annual Reliability and Maintainability Symposium, Philadelphia, 13-16 January 1997, 29-36. <http://dx.doi.org/10.1109/RAMS.1997.571660>.
- Основы проектирования летательных аппаратов (транспортные системы): учебник / В.П. Мишин, В.К. Безвербный, Б.М. Панкратов, В.И. Зернов. – М.: “Машиностроение”, 2005. – 688 с.
- Knotts R., (1996), “Analysis of the impact of Reliability, Maintainability and supportability on the Business and Economics of Civil Air Transport Aircraft Maintenance and Support”, M. Phil. Thesis, University of Exeter, UK.

16. Knezevic, J. (2006) "Systems Maintainability – Analysis, Engineering and Management", Chapman & Hall.
17. Сушак М.Б., Борохвостов В.К. Оцінка ефективності та проблемні фінансові, економічні та виробничо-технологічні питання впровадження на підприємствах України імпортозаміщення під час заводського ремонту авіаційної техніки // 36. наук. праць Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України. 2019. – Випуск № 2 (73). – С. 71 – 79.
18. Сушак М.Б., Іленко Є.Ю., Стешенко П.М. Вирішення задач мінімізації ризиків імпортозаміщення в процесі заводського ремонту військової авіаційної техніки в умовах особливого періоду // 36. наук. праць Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба. 2020. – Випуск № 4 (56). – С. 19-26.
19. Сушак М.Б., Мясян В.І., Бездельний В.В. Визначення ймовірних властивостей процесу гарантійного обслуговування зразків авіаційної техніки, які експлуатуються за межами попередньо встановлених ресурсних показників // 36. наук. праць Національного університету "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка". 2021. – Випуск № 2 (64). – С. 21-26.
20. Сушак М.Б., Васянович М.М. Методика визначення ймовірних властивостей процесу гарантійного обслуговування зразків авіаційної техніки, які експлуатуються за межами попередньо встановлених ресурсних показників // 36. наук. праць Центрального науково-дослідного інституту ЗС України. 2021. – Випуск № 2 (97). – С. 249 – 262.
21. Сушак М.Б., Грень В.М., Клобукова Н.В., Чернозубкін І.О. Методичний підхід щодо визначення основних показників надійності зразків авіаційної техніки в міжремонтний період експлуатації // 36. наук. праць Державного науково-дослідного інституту авіації. 2021. – Випуск № 17 (24). – С. 79 – 88.
22. Сушак М.Б., Грицюк Ю.Д. Аналіз технічних аспектів проблем якості ремонту військової авіаційної техніки // 36. наук. праць Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського, збірник матеріалів IV Всеукраїнської науково-промислової конференції "Проблеми якості оборонної продукції: організаційні, технічні та фінансово-економічні аспекти". 2022. – С. 150-163.
23. Сушак М.Б., Братусь Ю.М., Васянович М.М. Вирішення задачі забезпечення справності парку авіаційної техніки Збройних Сил України в умовах особливого періоду // журнал "Військова наука", Центрального науково-дослідного інституту ЗС України. 2024. – Том 2 № 1. – С. 207 – 219.
24. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам / Пер. с англ. – М.: Мир 1989. – 388 с.

Надійшла до редколегії 09.11.2024

Схвалена до друку 18.11.2024

Відомості про авторів:

Сушак Михайло Борисович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
начальник науково-дослідного відділу
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7747-2303>

Євмешкін Олександр Іванович

старший науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0009-0000-7660-2209>

Дерев'янко Михайло Миколайович

старший науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-5470-4164>

Фокін Сергій Олексійович

старший науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4198-1074>

Information about the authors:

Mykhaylo Sushak

Candidate of Technical Sciences
Senior Researcher
Head of Research Department
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7747-2303>

Oleksandr Yevmeshkin

Senior Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0000-7660-2209>

Mykhailo Derevianko

Senior Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5470-4164>

Sergiy Fokin

Senior Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4198-1074>

**A METHODOLOGICAL APPROACH TO QUANTITATIVE ASSESSMENT
OF THE REPAIRABILITY OF AVIATION EQUIPMENT AT THE REPAIR STAGE IN THE
CONDITIONS OF AN AIRCRAFT REPAIR ENTERPRISE**

M. Sushak, O. Yevmeshkin, M. Derevianko, S. Fokin

A methodological approach for the quantitative assessment of the maintainability of aviation equipment during its repair at an aircraft repair enterprise is presented. The use of the proposed methodological approach will allow identifying the main design flaws that reduce the level of maintainability and obtaining initial data to increase the level of maintainability of aircraft. The methodological approach to assessing the maintainability of aviation equipment during its factory repair focuses on assessing the maintainability of the aircraft as a whole, as well as the maintainability of the airframe and its systems.

The maintainability assessment is carried out in quantitative and qualitative forms for the aircraft as a whole, as well as for the airframe and its systems, aviation equipment, radio-electronic equipment, aviation weapons, airborne transport equipment and special equipment. Separate assessments of the maintainability of aircraft engines are performed.

The main source of initial information for assessing the maintainability of aircraft during their repair should be data on actual labor, material resources, and time costs, as well as data on the structure of these costs.

The maintainability of the aircraft design is a complex and multifaceted property. The task of ensuring the necessary level of maintainability of the created military transport aircraft should be integrated with the anticipated conditions of subsequent operation and repair of this aircraft. At least, maintainability is distributed as follows:

- stationary preventive and restorative repairs (capital, medium) at the aircraft repair enterprise (hereinafter - ARE);*
- repair of combat damage both in aviation brigades and at the ARE base;*
- current repair in aviation brigades.*

Accordingly, the same aircraft design may have different maintainability characteristics depending on the conditions.

The methodological approach presented in the article is intended for assessing the maintainability of aircraft, characterizing preventive and restorative repair in ARE conditions.

Of course, the assessment of aircraft maintainability during their repair in ARE has the following goals:

- identifying the actual state of maintainability, its compliance with the existing requirements for aircraft maintainability indicators;*
- determining ways and possibilities for improving repair technological processes, organizing repair production;*
- identifying the most realistic possibilities for improving the design (including making design modifications) of the aircraft to improve its maintainability;*
- obtaining initial information for forming requirements for aircraft maintainability at the design stage;*
- obtaining initial information for developing and implementing advanced forms of operation and repair (including condition-based maintenance).*

Conclusion: The presented methodological approach for assessing the maintainability of aviation equipment during its factory repair is intended for assessing the maintainability of aircraft, identifying the main design flaws that reduce the level of maintainability, which allows obtaining initial data for developing appropriate requirements for the developer to adjust the maintainability properties of the aircraft during its design.

The methodical approach, in contrast to the already existing ones, is built taking into account the initial information, which is previously formed at the aircraft repair enterprise during the repair AT of a given type, which allows during the design (development) of the structure LA lay the improvement of its maintainability in the future.

The main source of initial information for assessing the maintainability of aircraft during the repair stage should be data on actual labor, material resources, and time costs, as well as data on the structure of these costs.

Keywords: aviation equipment, factory repair, repair technology, labor intensity, accessibility, controllability, removability, interchangeability, recoverability.