

ЕКСПЕРТНА ОЦІНКА РІШЕНЬ ВІДНОВЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПЛАНЕРІВ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ З БОЙОВИМИ ПОШКОДЖЕННЯМИ

Предмет досліджень полягає в розробці методичного підходу до прийняття рішень щодо визначення шляхів усунення бойових пошкоджень конструкції планерів літальних апаратів. Розглянуто особливості застосування нечітких моделей оцінки технічного стану планерів літальних апаратів за інформацією баз даних та баз знань в складі експертних систем діагностики. Пропонується проводити класифікацію ступеня пошкодження та виду ремонту на основі часових критеріїв виконання робіт. Пошук раціональних методів відновлення конструкцій відбувається з використанням принципу Парето. Аналіз результатів обробки даних діагностики експертно-аналітичними методами в умовах невизначеності наслідків пошкоджень дозволяє отримати науково обґрунтовані рішення.

Ключові слова: планер літального апарата, бойові пошкодження, нечіткі моделі експертних оцінок.

Вступ

Результати впливу бойових пошкоджень на експлуатаційну міцність конструкції планера літальних апаратів (ЛА) обумовлено дією двох груп факторів: перша з яких – це конструктивно-технологічні схеми побудови пошкодженого агрегату чи вузла. Наприклад, структурні схеми компоновки, матеріали силових елементів та запас міцності, елементи з'єднання частин конструкції планера та інше.

Другу групу факторів складають особливості пошкоджень від дії різних засобів ураження: осколки, кулі, фугасні заряди, ударна хвиля та інше.

Множина комбінацій, які виникають під час аналізу особливостей бойового пошкодження внаслідок взаємного впливу цих двох груп факторів, призводить до того, що на практиці виникає проблема прийняття рішення щодо технологічних операцій для усунення конкретного бойового пошкодження при збереженні міцності елементів конструкції.

В ремонтній документації, яка розроблена для кожного типу ЛА, наведено методи та типові технології військового ремонту агрегатів і вузлів конструкції планера ЛА. Однак на практиці інженерно-технічний склад додатково до документації використовує набутий досвід оцінки поточного технічного стану та вибору відповідного виду ремонту для пошкодження конкретного елемента конструкції. При цьому фахівці інженерно-авіаційної служби, як експерти наприклад, уточнюють обсяг задач, які можливо виконати після військового ремонту: експлуатація ЛА на знижених

режимах польоту чи бойове застосування в повному обсязі.

Постановка завдання та його актуальність.

Необхідно розробити математичну модель, яка враховує ступінь невизначеності відповідної інформації під час аналізу експертами результатів дії вищезазначених факторів.

Експертна оцінка технічного стану конструкції планера ЛА передбачає класифікацію типів бойового пошкодження на п'ять груп: незначне пошкодження, слабе, середнє, сильне та знищення ЛА.

Відповідно до типу пошкодження, яке експерти встановили під час класифікації, приймається рішення відносно вибору шляхів усунення бойового пошкодження. Наявність деякої невизначеності в процесі класифікації впливає на вибір виду ремонту: дрібний, поточний, середній в умовах військових частин за участі представників авіаремонтних заводів, а також відновлювальний ремонт безпосередньо в умовах авіаремонтних заводів. Крім цього, можливе прийняття рішення що ЛА ремонту не підлягає.

Наявність невизначеності в даних контролю технічного стану ЛА спричиняє на практиці виникненню проблемних питань стосовно відновлення конструкції планера ЛА.

Актуальність завдання полягає в своєчасному отриманні керівним складом інженерно-авіаційної служби обґрунтованих рішень вибору шляхів відновлення технічного стану ЛА.

Аналіз попередніх досліджень. В теперішній час відсутні роботи, в яких досліджуються проблемні питання використання досвіду експертів

при відновленні бойових пошкоджень конструкції планерів ЛА.

Мета статті передбачає дослідження шляхів побудови математичного забезпечення систем підтримки рішень на основі використання досвіду експертів стосовно шляхів усунення бойових пошкоджень конструкції планерів ЛА.

Підставою для експертної оцінки є інформація, яка зберігається в базі даних:

розміри та кількість пошкоджень;

наслідки аналізу результатів розрахунків з точки зору забезпечення міцності;

трудомісткість ремонтних робіт та наявність технологічних рекомендацій по їх виконанню за допомогою відповідних фахівців;

можливість виконання заміни агрегату планера в військових умовах;

наявність витратних матеріалів, обладнання, інструментів, контрольно - повірочної апаратури.

Виклад основного матеріалу

Вхідні дані математичної моделі:

$t_{ЗД}$ – час, який задано керівним складом інженерно-авіаційної служби для підготовки ЛА до вирішення необхідних задач;

$N_{ЗД}$ – кількість фахівців інженерно-технічного складу, яких максимально можливо задіяти в ремонті;

M – кількість пошкоджених агрегатів та вузлів;

L , S – лінійні та площадні розміри пошкоджень;

V – перелік вторинних наслідків бойових пошкоджень;

T_P – трудомісткість ремонту агрегатів та вузлів;

e – відхилення кількісних значень розмірів елементів, які використано для відновлення конструкції, від значень, які отримано в результаті розрахунків рівномірності та рівножорсткості.

В якості вихідних даних розглядається на основі інформації бази даних M, L, S, V множина рішень класифікації технічного стану конструкції $W = (w_1, w_2, w_3, w_4, w_5)$:

w_1 – незначне пошкодження;

w_2 – слабе пошкодження;

w_3 – середнє пошкодження;

w_4 – сильне пошкодження;

w_5 – знищення ЛА.

Перелік вхідних та вихідних даних дозволяє запропонувати реалізацію експертно-аналітичного підходу до визначення шляхів усунення бойових пошкоджень за наступними алгоритмами.

Нечітка модель експертної оцінки

Основними етапами нечіткого логічного висновку є такі дії.

1. Формування бази правил продукцій систем нечіткого висновку.

2. Фазіфікація вхідних змінних.

3. Агрегування підумов у нечітких правилах.

4. Активізація або композиція висновків у нечітких правилах.

5. Акумуляування висновків нечітких правил продукцій.

В якості вхідних лінгвістичних змінних, для одного з фрагментів бази знань, введено наступні змінні:

L – лінійні розміри пошкоджень;

S – кількість пошкоджень на одиниці площі;

V – перелік вторинних наслідків пошкоджень;

Перелік вхідних лінгвістичних змінних може бути збільшеним відповідно до необхідної інформації, яка зберігається в базі даних.

Вказаним вхідним лінгвістичним змінним введемо наступні терми:

$L - M_1$ – “малий розмір”, C_1 – “середній розмір”, B_1 – “великий розмір”;

$S - M_2$ – “мала кількість”, C_2 – “середня кількість”, B_2 – “велика кількість”;

$V - M_3$ – “малий перелік”, B_3 – “великий перелік”;

Вхідні змінні L, S, V задано на універсальних множинах:

$L = \{0 \dots 500\}$ мм, $S = \{0 \dots 20\}$ одиниць,

$V = \{0 \dots 15\}$ до 10 відсотків.

В якості вихідної лінгвістичної змінної множини W введено ступінь пошкодження, яка задана на універсальній множині значень рангів експертних оцінок $\overline{Rang} = \{0.0 \dots 1.0\}$ та величини, яка відповідає вербально-чисельній шкалі Харрінгтона [1, с.28]:

якщо “Дуже високий рівень безпеки”, $\overline{Rang} \hat{=} [0.00 \dots 0.20]$, то планер ЛА має технічний стан w_1 . При цьому виконуються огляди конструкції згідно інструкції з експлуатації;

якщо “Високий рівень безпеки” має місце, $\overline{Rang} \hat{=} [0.20 \dots 0.36]$. При цьому планер ЛА має технічний стан w_2 , при якому огляди планера виконують після 6 місяців експлуатації або 50 годин нальоту;

якщо “Середній рівень безпеки” має місце, $\overline{Rang} \hat{=} [0.36 \dots 0.64]$. При цьому планер має технічний стан w_3 , при якому необхідно

виконувати ремонт в умовах і засобами військової частини із залученням представників авіаремонтних заводів;

якщо “Низький рівень безпеки” має місце, $\overline{Rang} \hat{I} [0.64 \dots 0.80]$. При цьому планер має технічний стан W_4 , при якому необхідно виконання відновлювальних робіт в умовах і засобами авіаремонтних заводів;

якщо “Дуже низький рівень безпеки” має місце, $\overline{Rang} \hat{I} [0.80 \dots 1.00]$. При цьому планер має технічний стан W_5 , при якому необхідно приймати рішення про недоцільність виконання ремонту ЛА.

Перелік продукційних правил логічного висновку вихідної змінної W визначається на основі аналізу переліку рішень, які приймають експерти інженерно-авіаційної служби, науково-дослідних установ, авіаремонтних підприємств за результатами експлуатації ЛА.

Наприклад:

якщо $(L \hat{I} M_1 \text{ або } L \hat{I} C_1 \text{ та } S \hat{I} C_1 \text{ та } V \hat{I} M_3)$, то $\overline{Rang} \hat{I} w_1$ – в наявності технічний стан нормальний;

якщо $(L \hat{I} C_1 \text{ або } L \hat{I} B_1 \text{ та } S \hat{I} C_2 \text{ та } V \hat{I} M_3)$, то $\overline{Rang} \hat{I} w_3$ – має місце середнє пошкодження.

Модель формування множини $U = (u_1, \dots, u_m)$ варіантів усунення пошкоджень

Множина U розробляється на основі результатів класифікації W_1, W_2, W_3, W_4 , а також поточної чисельності спеціалістів N і значень відхілення e .

Кожний елемент множини U характеризується параметрами t_P, N, e .

Параметр t_P має функціональну залежність від N , яка визначається трудомісткістю робіт ремонту T_P :

$$t_P = \frac{T_P}{N}. \quad (1)$$

Для вибору найкращого варіанту застосовується принцип Парето. Невідома множина Парето-оптимальних рішень отримується з множини U послідовним вилученням заздалегідь неоптимальних векторів на основі критеріїв t_P, N .

За критерії пошуку раціональних методів відновлення технічного стану конструкції планера ЛА в математичній моделі експертної оцінки використано:

t_P – час усунення пошкоджень;

N – кількість фахівців інженерно-технічного складу, які виконують ремонтні роботи.

Алгоритми математичної моделі згідно критеріїв t_P, N повинні забезпечити виконання умов їх мінімізації при обмеженнях $t_P \in t_{3AD}, N \in N_{3AD}$:

$$\begin{cases} t_P \rightarrow \min \\ N \rightarrow \min \end{cases} \quad (2)$$

Оскільки для визначення оптимального варіанту рішень відновлення технічного стану прийнято два критерії t_P, N , то поставлена задача відноситься до задач багатокритеріальної оптимізації [2, с. 70].

У задачі вибору оптимального рішення j кожному елементу простору рішень W ставиться у відповідність n - вимірний вектор параметрів. Для випадку $n=3$ існує відображення:

$$j : W \rightarrow R^3,$$

де W - простір рішень, у якому задана множина можливих рішень X , при чому $m \in X$. Таким чином, відображення j є вектор-функцією, що містить оптимальне рішення $j((t_P)_i, N_i), i \in m$.

Для пошуку оптимального рішення (2) використано поняття домінування за Парето, коли жодний з критеріїв не може бути покращеним без погіршення іншого [3, с. 70].

Розрахунок критерію t_P виконується на підставі залежностей, які враховують особливості двох методів ремонту:

заміна пошкоджених агрегатів планера справними агрегатами;

безпосереднє відновлення агрегатів із застосуванням різних засобів ремонту (склеювання, зварювання, склеювання та інше).

Для розрахунку критерію t_P на основі співвідношення (1) необхідно попередньо визначити T_P трудомісткість ремонту.

У випадку ремонту методом заміни трудомісткість складає T_{3AM} . В іншому випадку трудомісткість складає $T_{ВД}$.

Аналітичні залежності розрахунку приблизних значень T_{3AM} та $T_{ВД}$ мають вигляд:

1. Під час ремонту методом заміни пошкоджених агрегатів планера

$$T_{3AM} = \sum_{i=1}^n T_{i3AM}, \quad (3)$$

де n - число агрегатів планера, які необхідно замінити; T_{i3AM} - трудомісткість заміни i -го пошкодженого агрегату.

2. Під час ремонту методом безпосереднього відновлення та заміною пошкоджених агрегатів

$$T_{ВІД} = T_{БЕЗ.ВІД} + \sum_{i=1}^n T_{i\text{ ЗАМ}} , \quad (4)$$

де $T_{БЕЗ.ВІД}$ - трудомісткість усунення пошкодженої обшивки та елементів силового набору конструкції:

$$T_{БЕЗ.ВІД} = \sum_{g=1}^8 \sum_{t=1}^6 m_{gt} T_{gt\text{ CP}} , \quad (5)$$

де g - номер типової групи елементів конструкції планера, які отримали пошкодження. При цьому, якщо пошкоджено:

обшивку планера, $g=1$;

шпангоути та рами, $g=2$;

лонжерони, балки, $g=3$;

нервюри крила та оперення, $g=4$;

вузли стикування, вузли навіски, $g=5$;

рідинні та газові ємності, $g=6$;

рідинні та газові трубопроводи, $g=7$;

елементи системи управління (тяги, качалки, кронштейни), $g=8$;

t - умовний номер розміру бойового пошкодження елемента конструкції g -ої типової групи планера. Числове значення t визначається експертами;

m_{gt} - кількість пошкоджень t -го розміру на елементах g -ої типової групи планера в зоні бойового пошкодження;

$T_{gt\text{ CP}}$ - середня трудомісткість ремонту одного бойового пошкодження t -го розміру на елементах g -ої типової групи одним із можливих

засобів ремонту. Значення $T_{gt\text{ CP}}$ наведено в довідниках із ремонтної документації.

Таким чином, методичний підхід передбачає виконання робіт з наповнення баз даних та баз знань експертних систем на етапах:

аналізу відомостей дефектування конструкції планера ЛА, яка отримала бойові пошкодження;

узгодження математичних моделей нечіткого логічного висновку з досвідом експертів під час оцінки та класифікації технічного стану конструкції планера ЛА;

виконання розрахунків стосовно відновлення пошкоджених частин при виконанні умов забезпечення рівномірності та рівножорсткості після ремонту;

визначення переліку рішень можливих варіантів відновлення планера ЛА та їх оцінка за критеріями часу виконання робіт і кількісного складу виконавців робіт.

Висновок

Запропонований методичний підхід до побудови математичної моделі обробки даних бойових пошкоджень доцільно використовувати в системах підтримки прийняття рішень, що дозволить обґрунтовано вибрати метод усунення пошкоджень та забезпечити відновлення ЛА в оптимальні строки з найменшими витратами.

Напрямок подальших досліджень полягає в розробці методів та алгоритмів Парето-оптимальних рішень прогнозування технічного стану після відновлення планера ЛА з бойовими пошкодженнями.

Список літератури

1. Костерев М.В., Бардик Є.І. Питання побудови нечітких моделей оцінки технічного стану об'єктів електричних систем. – К.: НТУУ “КПІ”, 2011. – 148 с.
2. Воронин А.Н., Зиятдинов Ю.К., Харченко А.В., Осташевский В.В. Сложные технические и эргатические системы: методы исследования. / Монография. – Харьков: Факт, 1997. – 240с.
3. Костерев М.В., Літвінов В.В. Імовірісно-нечіткий підхід до визначення місць встановлення пристроїв синхронізованих векторних вимірювань в електроенергетичній системі. / Гідроенергетика України, 1-2 / 2020.

Надійшла до редколегії 18.11.2022

Схвалена до друку 12.12.2022

Відомості про авторів:

Бологін Андрій Сергійович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
начальник науково-дослідного управління
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0656-7799>

Манулін Юрій Олексійович

начальник науково-дослідного відділу
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-9676-4846>

Горохов Георгій Тітович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
провідний науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-1479-816X>

Information about the authors:

Andrij Bolohin

Candidate of Technical Sciences
Senior Researcher
Head of Research Management
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0656-7799>

Yurii Manulin

Head of Research Department
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9676-4846>

Heorhii Horokhov

Candidate of Technical Sciences
Senior Researcher
Leading Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-1479-816X>

**EXPERT ASSESSMENT OF DECISIONS TO RESTORE THE DESIGN OF AIRCRAFT
GLIDERS WITH COMBAT DAMAGE**

A. Bolohin, Y. Manulin, H. Horokhov

The subject of the research is the development of a methodical approach to decision-making regarding the determination of ways to eliminate combat damage to the structure of aircraft airframes. Considered a set of combinations of the results of the action of two groups of factors: structural and technological schemes of construction of the damaged unit and features of damage caused by the action of various means of damage. In practice, the elimination of specific combat damage takes place taking into account the experience of the engineering and technical staff, who as experts, in addition to the repair documentation, provide for the specifics of the subsequent operation of the aircraft airframe.

The basis for the expert assessment is the information stored in the database: the size and number of damages; the result of analysis of calculations from the point of view of ensuring strength; the complexity of repair work and the availability of technological recommendations for their implementation with the help of relevant specialists; the possibility of replacing the glider unit in military conditions; availability of consumables, equipment, tools, control equipment. The methodical approach involves filling databases and knowledge bases of expert systems with relevant information in four stages: analysis of information on defects in the design of the aircraft airframe; performing calculations to obtain the necessary data regarding the restoration of damaged parts while meeting the conditions for ensuring uniform strength and uniform stiffness after repair; reconciliation of mathematical models in the knowledge base of fuzzy logical conclusion with the experience of experts during the assessment and classification of the technical condition of the aircraft airframe design; determination of the list of solutions for possible options for the restoration of the aircraft airframe and their evaluation according to the criteria of the time of completion of the work and the quantitative composition of the work performers. The value of the labor intensity of work was used to calculate the time of the work. The search for an optimal solution based on the criteria of time and the quantitative composition of performers is based on the concept of Pareto dominance, when none of the criteria can be improved without worsening the other.

Keywords: aircraft airframe, combat damage, fuzzy models of expert evaluations.