

А.С. Бологін, Ю.О. Манулін, Г.Т. Горохов

Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРО ПРОДОВЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Для удосконалення існуючих і створення нових інноваційних систем прийняття та ухвалення управлінських рішень про подальшу експлуатацію літальних апаратів, у яких закінчилися встановлені ресурсні показники, запропоновано методичний підхід до підготовки варіантів рішень до їх прийняття відповідальними особами. Розглянуто особливості створення та функціонування інтелектуальної системи прийняття рішень у реальних умовах експлуатації військової авіаційної техніки. На прикладі, з застосуванням статистичних математичних моделей та методів нечіткого логічного аналізу, показано можливості збільшення обсягу вибірки в задачах класифікації, особливості прогнозування змін технічного стану, порядок та етапність підготовки варіантів рішень.

Ключові слова: літальний апарат, експлуатація, система прийняття рішень.

Вступ

Безперервне зростання кількості інформації та постійне ускладнення завдань, які виконуються старіючим парком авіаційної техніки (далі – АТ), свідчить про необхідність удосконалення існуючих та створення нових інноваційних систем прийняття та ухвалення управлінських рішень. Саме інтелектуальні системи прийняття рішень (далі – ІСПР) здатні реалізувати у режимі реального часу неперервний контрольований процес прийняття рішень у складних ситуаціях, які мають багато складових та характеризуються невизначеністю та несталою структурованістю. ІСПР може стати основою вітчизняної інформаційно-комунікаційної системи супроводження експлуатації АТ державної авіації України, яка створюється на сучасному етапі як система, що здатна забезпечити оперативне надходження і обробку інформації та автоматизацію процесів управління надійністю АТ.

Постановка завдання та його актуальність. Розробка математичного забезпечення ІСПР передбачає проведення досліджень, які мають вказати шляхи з вирішення завдання пошуку раціональної структури математичної моделі для процесів розрахунків і обчислення інформації баз даних щодо технічного стану планера літальних апаратів (далі – ЛА) на всіх етапах їх експлуатації. Результати досліджень дозволять визначити методи підготовки варіантів рішень та вибір найбільш раціонального варіанту до їх прийняття відповідальними особами.

Прийняття рішень щодо продовження термінів експлуатації елементів планерів конструкцій ЛА

безпосередньо пов'язано з завданнями, які виникають під час вирішення проблемних питань побудови математичних моделей прогнозу змін характеристик складних технічних систем.

Стосовно авіаційних конструкцій структура математичної моделі в формалізованому вигляді передбачає наявність наступних функціональних залежностей [1, с. 54]:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 f_1(X_1) + \dots + b_h f_h(X_1, \dots, X_K),$$

де $b_0, \dots, b_h$ – коефіцієнти математичної моделі; $X_1, \dots, X_k$ – керовані фактори в натуральних значеннях; k – кількість керованих факторів; $f_1, \dots, f_h$ – функції від факторів $X_1, \dots, X_k$.

Вищенаведена структура математичної моделі використовує експериментально-статистичний підхід і реалізує апроксимацію реальних даних технічної експлуатації ЛА моделями лінійними по параметрам і, в загальному випадку, нелінійними по факторам.

Актуальність пошуку раціональної структури математичної моделі пояснюється відсутністю в теперішній час вітчизняної інформаційно-комунікаційної системи супроводження експлуатації АТ державної авіації України, для якої необхідно створити математичне забезпечення.

Аналіз попередніх досліджень. Виконані в останні роки дослідження [2, 3] та зміст положень керівних документів [4...6] вказують на достатньо розвинений науково-методичний апарат логічного аналізу та досвід його застосування [7], який може бути використаний при коригуванні програм (планів) технічного обслуговування і ремонту, а

також регламентів технічного обслуговування старіючого парку ЛА. Зазначені роботи, організовані за результатами попереднього визначення технічного стану елементів конструкції виробу, надають методичний інструмент обґрунтування та прийняття управлінських рішень та встановлення функціональним системам та їх комплектувальним виробам методів технічної експлуатації за станом: технічної експлуатації до передвідмовного стану та технічної експлуатації до відмови.

Особливості експлуатації ЛА в сучасних умовах, коли польоти в більшості випадків здійснюються під час великого навантаження на силові елементи конструкції планера ЛА, потребують проведення досліджень щодо впливу існуючих особливостей на прогнозні оцінки з продовження строків служби планерів ЛА.

У математичних моделях ІСПР необхідно визначити перелік функціональних залежностей, за допомогою яких можливо отримувати результати обробки баз даних реальної експлуатації ЛА.

Мета статті полягає в аналізі параметрів та факторів, які необхідно використовувати в математичних моделях під час розробки структури математичного забезпечення ІСПР.

Виклад основного матеріалу

На сьогодні більшість рішень про подальшу експлуатацію ЛА приймається за результатами визначення технічного стану елементів конструкції виробу з урахуванням історії їх навантаження у процесі експлуатації. Фактичний технічний стан визначається за результатами експертних оцінок, на основі бази експертних знань, умінь та навичок відповідних фахівців та осіб, що приймають рішення.

Інформація про технічний стан виробу АТ, наявність, кількість, обсяг дефектів та несправностей є основним масивом вхідних даних у ІСПР. При цьому критеріальне поле не структуровано та не систематизовано для прийняття рішення, можуть недостатньо враховуватись вхідні дані щодо параметрів технічного стану АТ, взаємозв'язок між ними, експлуатаційні обмеження та інше, що може привести до недостатньої обґрунтованості рішення, яке приймається.

Для розуміння сутності ІСПР необхідно мати загальне розуміння призначення й діапазону використання даної системи для виконання визначених завдань. У процесах експлуатації АТ, де частіше використовується термін “системи управлінських рішень”, ІСПР (DSS-Decision Support System) – це інтерактивна прикладна система, яка забезпечує кінцевим експлуатантам АТ, котрі

приймають рішення про її подальшу експлуатацію, легкий і зручний доступ до даних і моделей підтримання справності, у який відпрацьовано відповідні алгоритми прийняття рішень у напівструктурованих і неструктурованих ситуаціях з різними вхідними даними. При цьому ІСПР підтримує і посилює (але не замінює і не відмінює) міркування та оцінки особи, що приймає рішення. Сутність та важливість оцінок експертів не зменшується, контроль за прийняттям рішення лишається за людиною [8].

Необхідність створення ІСПР у експлуатації АТ нині зумовлена:

- збільшенням обсягів інформації, що надходить до органів управління і безпосередньо до керівників;

- ускладненням завдань, що розв'язуються щоденно і на перспективу;

- необхідністю обліку і урахування великої кількості взаємопов'язаних факторів і вимог, що швидко змінюються;

- необхідністю зняття невизначеності, пов'язаної з неможливістю кількісного вимірювання окремих чинників;

- збільшенням важливості наслідків рішень, що приймаються, тощо.

Оскільки основу ІСПР складає масив даних за результатами визначення технічного стану елементів конструкції виробу, на основі якого розроблено комплекс алгоритмів та заходів, спрямованих на забезпечення справності, основними особливостями впровадження ІСПР у експлуатацію АТ є:

- надання особі, що приймає рішення, допомоги в процесі прийняття рішень і забезпечення підтримки в усьому діапазоні експлуатаційних та бойових завдань;

- інтегрування загальних та індивідуальних алгоритмів прийняття рішень, моделей та аналітичних методів зі стандартним доступом до даних і вибіркою даних. Для надання допомоги у прийнятті рішень активізуються одна чи кілька моделей (математичних, статистичних, імітаційних, кількісних, якісних або комбінованих). Зміст баз та сховищ даних охоплює інформацію про надійність та технічний стан АТ, історію поточних і попередніх операцій, виконаних робіт, а також інформацію про середовище (функції інформаційно-комунікаційної системи супроводження експлуатації АТ);

- побудова ІСПР за принципом інтерактивного розв'язування завдань. Користувач має змогу підтримувати діалог із ІСПР у безперервному режимі, а не обмежуватись введенням окремих команд з наступним очікуванням результатів;

зорієнтованість на гнучкість та адаптивність для пристосування до змін у бойовій обстановці чи в підходах до розв'язування задач, які обирає користувач. Керівник має пристосуватися до змінюваних умов сам і відповідно підготувати систему. Еволюція та адаптація системи мають бути поєднані з її життєвим циклом.

Можливість продовження експлуатації в математичній моделі прогнозу можливості продовження строку служби конкретного ЛА здійснено на основі результатів порівняльного аналізу значень факторів, що характеризують особливості процесу технічної експлуатації ЛА, що досліджується, із даними головної групи, яка визначена посеред усього парку ЛА даного типу.

У головній групі ЛА мають випереджальні значення факторів, які характеризують ранг R_{II} пошкодження планера на інтегральному рівні опису авіаційних конструкцій.

Авіаційні конструкції ЛА головної групи мають ранг R_{II} більшого ступеня пошкодження відносно досліджуемого ЛА, що і є підставою для прийняття рішень стосовно залишкової довговічності авіаційних конструкцій.

До переліку факторів, які впливають на зміни параметрів технічного стану планера ЛА, доцільно віднести три групи факторів:

структуру експлуатаційного навантаження (рівень навантажень та їх повторюваність у процесі польотів);

випадковий інтервал змін характеристик втомних властивостей елементів конструкції в залежності від кліматичних впливів на різних ЛА парку;

якість обслуговування авіаційних конструкцій літака інженерно-технічним складом.

У кожній групі факторів можливо виділити окрему підмножину параметрів, які детально характеризують технічний стан планера ЛА. Наприклад, коефіцієнт використання ресурсу, а також загальна кількість тріщин та місць корозії, їх розмір та швидкість розвитку.

З метою визначення факторів, які найбільш впливають на зміни технічного стану і які доцільно застосувати під час прогнозу в регресійних залежностях, застосовано метод групового обліку аргументів (МГУА) [9, с. 42].

Застосування алгоритма МГУА з пороговим відбором факторів для лінійних поліномів регресії дозволив визначити п'ять основних факторів, які характеризують поточні значення:

фактор ф1 – календарний строк служби t_K ;

фактор ф2 – наліт в годинах t_P ;

фактор ф3 – кількість капітальних ремонтів N_{KR} , що має дискретні значення 0, 1, 2, 3;

фактор ф4 – міжконтрольний (після останнього ремонту) строк експлуатації $t_{ПОР}$;

фактор ф5 – міжконтрольний наліт t_R .

На основі методів нечіткого логічного аналізу проводиться порівняння поточних значень факторів ф1, ф2, ф3 для досліджуемого ЛА зі значеннями факторів ф1, ф2, ф3 стосовно кожного ЛА парку. В результаті визначається перелік ЛА в головній групі, які створюють кластер К1. Перелік інших ЛА, які не приналежать до головної групи, створюють кластер К0.

Методи нечіткого логічного аналізу передбачають такі етапи.

1. Визначення базових функцій належності в формі трикутника під час опису змін лінгвістичних значень “менше”, “приблизно дорівнюють”, “більше” для інтервалу неперевних значень факторів ф1, ф2. і які використовуються шляхом застосування звичайного логічного висновку під час аналізу.

2. Визначення вихідної змінної “тип кластеру”, яка має лінгвістичні значення “належить до кластеру К1” та “належить до кластеру К0”.

3. Фазифікація вхідних значень факторів ф1, ф2 і розрахунки ступеню впевності на основі базових функцій належності для кожного головної групи.

4. Формування бази правил системи нечіткого висновку під час використання алгоритма Мамдані.

Продукційні правила класифікації мають вигляд типу “ЯКЩО..., ТО...” та передбачають функціональні логічні залежності:

якщо $(\Delta_1 \text{ більше}) \wedge (\Delta_2 \text{ більше}) \wedge (\Delta_3 \text{ більше})$, то “кластер К1”;

якщо $(\Delta_1 \text{ приблизно нуль}) \wedge (\Delta_2 \text{ більше}) \wedge (\Delta_3 \text{ більше})$, то “кластер К1”;

.....;

якщо $(\Delta_1 \text{ менше}) \wedge (\Delta_2 \text{ менше}) \wedge (\Delta_3 \text{ менше})$, то “кластер К0”.

Загальна кількість продукційних правил визначається в залежності від допусків, які застосовують експерти під час порівняльного аналізу.

Продукційні правила характеризують різницю факторів ф1, ф2, ф3 поміж ЛА, який досліджується, та ЛА парку і надають можливість визначити функції належності для нечітких лінгвістичних змінних $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$, що використовують експерти: “від’ємне та менше нуля”;

факторів ϕ_4 та ϕ_5 дозволило для кластера K_1 головної групи прийняти припущення стосовно наявності лінійної регресійної залежності поміж випадковими значеннями факторів ϕ_1 та ϕ_2 .

Також з метою збільшення достовірності результатів статистичної обробки невеликої кількості (30 значень масиву міжконтрольних даних) здійснено вибір кутового коефіцієнта нижньої границі регресії, яка має мінімальне значення кутового коефіцієнта $K_{ut_REG} = 0.0096$.

Для аналізу можливості продовження призначеного строку служби проведено обчислення значення календарного строку служби на час нальоту $t_p = 2621$ годин згідно з рівнянням лінії

прогнозу:

$$t_K(t_p) = t_K(2621) = 0,0088 \times 2621 + 26,73 = 49,80 \approx 50,00$$

Результат розрахунку $t_K(2621) \approx 50,00$ років дозволяє зробити позитивний висновок щодо можливості продовження ЛА призначеного строку служби до 49 років.

Такий методичний підхід до вирішення питань продовження встановлених показників виробам АТ неодноразово апробовано у реальних умовах експлуатації, чим підтверджується точність та адекватність отриманих результатів.

Точність результатів прогнозу визначається кількістю ЛА головної групи та додатково синтезованих точок ЛА і складає (97...100) відсотків.

Практичне значення застосування особою, яка приймає рішення про продовження експлуатації, методів нечіткого логічного аналізу полягає у забезпеченні логічно обґрунтованих та математично підтверджених підстав для прийняття рішення з врахуванням фактичного технічного стану, посиленні контролю процесу прийняття рішень в умовах невизначеності.

Весь комплекс методів продовження встановлених показників, об'єднаний у загальну методологію забезпечення життєвого циклу виробів АТ, складає основу інтелектуальної системи прийняття рішень.

Висновок

Таким чином, впровадження та застосування ІСПР у експлуатацію АТ дозволить удосконалити оброблення релевантної інформації та знань щодо стану АТ у реальному режимі часу, покращити ефективність та обґрунтованість рішень щодо подальшої експлуатації та використанню за призначенням АТ, забезпечить можливість особі, що приймає рішення, розв'язувати проблеми та завдання, пов'язані з технічною експлуатацією та бойовим застосуванням АТ авіації Збройних Сил України.

Напрями подальших досліджень.

Передбачено продовжувати дослідження щодо визначення бази правил системи нечіткого висновку під час вибору експертами зони допуску значень порівняльного аналізу рангів пошкодження планера ЛА.

Список літератури

1. Радченко С.Г. Формализованные и эвристические решения в регрессионном анализе. Монография. – К.: “Корнійчук”, 2015. – 236 с.
2. Далецкий Е.С., Далецкий С.С. Контроль надёжности изделий авиатехники при эксплуатации до безопасного отказа. Научный вестник МГТУ ГА №130. М.: МГТУ ГА, 2008. – С. 187–191,
3. Руководство по проведению анализа логистической поддержки изделий авиационной техники. Методические указания. Научно-исследовательский центр CALS-технологий “Прикладная логистика”. М.: 2010. – 204 с.
4. ATA MSG-3. Revision 207.1 Operator/Manufacturer Scheduled Maintenance Development. ATA. – 2007. Руководство по разработке программ технического обслуживания.
5. Положение о технической эксплуатации по состоянию летательных аппаратов военного назначения. Военно-воздушные силы. Выпуск № 7301, 2010. – 20 с.
6. Методические рекомендации по организации и выполнению контрольно-восстановительного обслуживания летательных аппаратов военного назначения. Военно-воздушные силы. Выпуск № 7304. 2010, – 26 с.
7. Акопян К.Э. Применение методики MSG-3 при разработке программ ТОиР отечественных воздушных судов: автореф. дис. ... канд. тех. наук; М.: МГТУ ГА, 2010. - 21 с.
8. Герасимов Б.М., Локазюк В.М., Оксіюк О.Г., Поморова О.В. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень. К.: Видавництво Європейського університету, 2007. – 334 с.
9. Методология, теория, технология и приложения метода группового учета аргументов как метода индуктивного моделирования: спец. вып. // Управляющие системы и машины. № 2, 2003. – 144 с.
10. Коваленко І.П. Математична статистика у прикладах і задачах. Навчальний посібник. – К.: Видавничий Дім “Слово”, 2012. – 496 с.
11. Shujuan Wang, Yuntao Dai, Jihong Shen, Jingxue Xuan. Research on expansion and classification of imbalanced data based on SMOTE algorithm // Scientific Reports 11, Article number: 24039 (15 december 2021).
12. Чуев Ю.В., Михайлов Ю.Б. Прогнозирование в военном деле. М., Воениздат, 1975 г. – 279 с.

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:

Andriy 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>

METHODOLOGICAL BASICS OF BUILDING AN INTELLIGENT SYSTEM FOR MAKING DECISIONS ON CONTINUED OPERATION OF AIRCRAFT

A. Bolohin, Y. Manulin, H. Horokhov

In order to improve the existing and create new innovative systems for making and making management decisions about the further operation of aircraft that have reached the end of their resource indicators, a methodical approach to preparing decision options for their adoption by responsible persons is proposed. The peculiarities of the creation and functioning of the intelligent decision-making system in the real conditions of the operation of military aviation equipment are considered. On the example, using statistical mathematical models and methods of fuzzy logical analysis, it is shown the possibilities of increasing the sample volume in classification tasks, the peculiarities of forecasting changes in the technical state, the order and phasing of the preparation of decision options.

The statistical mathematical model involves the use of methods of cluster analysis and determination of the equation of the regression line. As a result of the cluster analysis, a list of aircraft of the main group is determined, which have anticipatory values of the current calendar terms of service and resource relative to the aircraft, which are being investigated for the possibility of continued operation. In the process of performing the cluster analysis, methods of fuzzy comparative logical analysis of the operation data of the aircraft of the main group with the data of the aircraft under investigation were used. Making a decision on the possibility of extending the resource indicators of the service life and flight time involves the determination of the angular coefficient of the lower limit of the linear regression of the current values of the service life and flight time, which have the airframe designs of the aircraft of the main group after their last control inspection. In the case of a small number of aircraft in the main group, the SMOTE method was used, which allows you to increase the number by adding conditional synthesized aircraft. The angular coefficient of the forecast line is calculated as the result of half the sum of the angular coefficient of the regression line and the experts' forecast line, regarding the possibility of continued exploitation.

Keywords: aircraft, operation, decision-making system.