

Г.Т. Горохов, П.О. Жикол, О.І. Скляр

Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ НЕЧІТКОГО ДИНАМІЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ РІШЕНЬ З ВІДНОВЛЕННЯ СПРАВНОСТІ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН В УМОВАХ АВІАЦІЙНИХ ЧАСТИН

Інженерно-авіаційне забезпечення передбачає виконання завдань стосовно проведення заходів з утримання авіаційної техніки в справності і постійній готовності до ведення бойових дій. Серед переліку заходів значна увага приділяється виконанню інженерних розрахунків щодо обґрунтування потрібних сил і засобів під час технічної експлуатації та ремонту повітряних суден. У статті розглянуто особливості використання методів теорії нечітких множин, які є складовою частиною теорії штучного інтелекту, і за допомогою яких проводяться необхідні розрахунки для обґрунтування оптимальності рішень із відновлення справності повітряних суден. Пошук шляхів отримання оптимальних рішень здійснено на основі математичного апарату динамічного програмування з урахуванням особливостей невизначеності інформації, які характеризують діяльність інженерно-технічного складу в умовах авіаційних частин.

Ключові слова: *повітряне судно, технічна експлуатація, система прийняття рішень.*

Вступ

Необхідність підтримання бойової готовності авіаційних частин на високому рівні вимагає від інженерно-авіаційної служби (ІАС) пошуку шляхів та заходів із підтримання готовності повітряних суден (ПС) до виконання завдань за призначенням. Готовність ПС визначається їх справністю і часом, який необхідний на підготовку ПС до виконання бойових завдань. Справним вважається ПС, стан якого відповідає усім вимогам нормативної та конструкторської документації [1, с. 27].

Для досягнення справного стану пошкоджених конструкцій планера ПС особовим складом ІАС здійснюється виконання цілого ряду завдань, в тому числі з організації проведення розрахунків сил і засобів, які необхідні для технічної експлуатації та військового ремонту ПС.

Постановка завдання та його актуальність. В сучасних умовах діяльність ІАС спрямована на вирішення задач підтримання максимально можливої кількості справних ПС в ситуаціях, коли виникають пошкодження агрегатів в раніше непередбачених місцях конструкції планера ПС. Виникає нагальна потреба прийняття рішень щодо оперативного відновлення справності пошкоджених агрегатів ПС.

Результати досліджень повинні дозволити визначити методичний підхід до підготовки варіантів рішень, які необхідно надавати особам, що їх приймають (ОПР) в умовах авіаційних частин, з оцінкою ефективності процесу відновлення справності ПС.

Прийняття обґрунтованих рішень безпосередньо пов'язано з проблемними питаннями, які виникають в процесі відповідних розрахунків.

Наприклад, у випадках пошкодження агрегатів системи управління ПС відсутність технологічних люків для доступу потребує розрахунків нестандартних рішень для ОПР щодо відновлення справності цих агрегатів.

Актуальність розробки математичної моделі пояснюється необхідністю приймати в авіаційних частинах рішення за наявності невизначеності в інформаційних даних щодо шляхів усунення відмов і пошкоджень агрегатів конструкції планера ПС.

Вказану особливість невизначеності можливо врахувати шляхом застосування в математичних моделях принципів побудови систем штучного інтелекту, що дозволить ОПР в структурних підрозділах ІАС приймати рішення при існуючих обмеженнях на працевтрати, час виконання робіт, кількість і кваліфікацію особового складу ІАС та наявності інших обмежень, які необхідно враховувати внаслідок непередбачених факторів процесу експлуатації.

Аналіз попередніх досліджень. Аналіз виконаних в останні роки досліджень вказує на достатньо розвинений науково-методичний апарат побудови систем обробки даних із метою підготовки проєктів рішень для їх ефективного застосування.

Так, у роботі [2, с. 176] досліджено методичні підходи до багатокритерійної оптимізації процесу розподілу обмежених ресурсів під час прийняття

рішень. У роботах [3...5] розглянуто особливості застосування методів штучного інтелекту для вирішення задач прийняття рішень стосовно розробки структур складних технічних систем.

До одного з розділів побудови математичного забезпечення систем штучного інтелекту відносяться принципи використання методів теорії нечітких множин. У рамках цієї теорії розроблено методи прийняття рішень в умовах нечіткої інформації [6, с. 18].

Методи пошуку оптимальних рішень для задач, в яких визначено чіткі значення параметрів, що характеризують об'єкти досліджень, всесторонньо розглянуто у багатьох роботах із тематики теорії динамічного програмування [7...9].

Досвід практичного застосування методів динамічного програмування може бути використано з метою коригування програм і регламентів технічної експлуатації старіючого парку ПС.

Результати зазначених науково-методичних робіт надають математичний апарат для обґрунтування та прийняття управлінських рішень щодо оптимального розподілу ресурсів ІАС, у тому числі з урахуванням існуючих обмежень у часі виконання робіт і рівнем кваліфікації особового складу в процесі технічної експлуатації ПС.

Мета статті полягає у визначенні переліку функціональних аналітико-логічних залежностей, які необхідно використовувати в математичних моделях під час пошуку оптимальних рішень із підготовки можливих варіантів відновлення справності ПС за результатами обробки баз даних щодо реальної експлуатації ПС.

Викладання основного матеріалу

На теперішній час більшість рішень щодо подальшої експлуатації ПС приймається на основі результатів оцінки технічного стану елементів

конструкції ПС з урахуванням історії їх навантаження у процесі експлуатації. Фактичний технічний стан визначається за результатами експертних оцінок на основі бази знань експертів та навичок відповідних фахівців і осіб, що приймають рішення.

Інформація про технічний стан агрегатів конструкції планера ПС, наявність та кількість їх відмов і пошкоджень є основним масивом вхідних даних. При цьому критеріальне поле не структуровано та не систематизовано для прийняття рішення. Можуть недостатньо враховуватись вхідні дані щодо параметрів технічного стану ПС і взаємозв'язків поміж ними, переліку експлуатаційних обмежень та інших факторів. Все це може привести до недостатньої обґрунтованості рішення, яке приймається.

У якості критеріїв оцінки проєктів рішень приймаються два критерії цільової функції:

кількість відновлених ПС, у яких агрегати конструкції планера мали відмови та пошкодження; строк виконання робіт особовим складом ІАС з відновлення справності агрегатів планера ПС.

Для використання на практиці фахівцями ІАС математичних моделей доцільно в моделях застосувати метод динамічного програмування в поєднанні з методами нечіткого аналізу даних.

До одного з важливих проблемних питань нечітких множин належить визначення типу функції належності лінгвістичних змінних.

На рисунках 1а, 1б показано приклад апроксимації функцій належності лінгвістичної змінної "Кваліфікація особового складу".

Функції належності отримують за результатами оцінок експертів і в подальшому передбачають їх застосування у вигляді трикутних функцій, що приводить до незначного зменшення точності розрахунків.

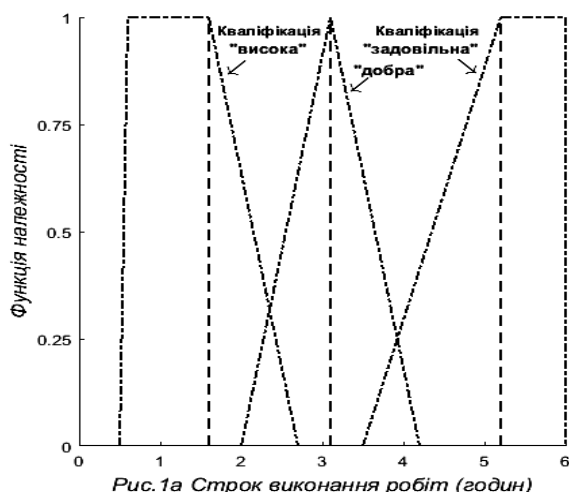


Рис. 1а Строк виконання робіт (годин)

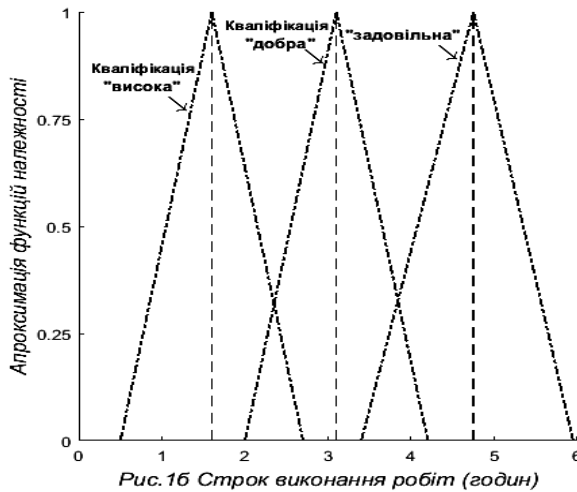


Рис. 1б Строк виконання робіт (годин)

Джерело: розроблено авторами

Лінгвістичні змінні “висока”, “добра”, “задовільна” можливо співвідносити з формалізованими оцінками “майстер”, “1 та 2 клас”, “3 клас та без класу” нормативного документу [1, додаток 44].

Суть динамічного програмування полягає в заміні складної задачі послідовністю однокрокових задач, за допомогою яких виконується направлений послідовний перебір варіантів і як результат, обов’язково отримують глобальне значення цільової функції.

Нехай X_k - вектор змінних керування, який треба визначити на k -му кроці. Тоді для задач, для яких застосовується метод динамічного програмування, використовується основне рекурентне співвідношення

$$\Lambda_k(\zeta) = \max_k \{f(X_k, \zeta) + \Lambda_{k-1}(T(\zeta, X_k))\},$$

де $T(\zeta, X_k)$ - вектор стану попереднього $(k-1)$ кроку за умов ζ та X_k [10, с. 237].

У ході обчислень на k -му кроці, коли визначається вибір напрямку продовження пошуку оптимального рішення, пропонується застосовувати методи нечіткого логічного аналізу під час порівняння значень змінних керування.

За наявності багатьох критеріїв оптимальності (нечітких відношень переваги) у подальшому розглядається алгоритм вибору альтернатив рішень за умов використання нечітких множин [10, с. 328].

Як приклад, результат застосування методів нечіткого логічного аналізу спільно з методом

динамічного програмування представлено на рисунку 2.

Досліджено задачу підготовки проєктів рішення з відновлення справності агрегатів на 8 одиницях ПС.

Вхідні дані задачі:

Необхідно використати два критерія: максимальну кількість відновлених агрегатів та мінімальний строк виконання відновних робіт особовим складом ІАС.

Загальний час ремонту 8 агрегатів $A1, A2, \dots, A8$ не повинен перевищувати $T_0=12$ годин. Загальна кількість особового складу ІАС, яку можливо направити на ремонт, становить $C_0=11$ осіб, з них 3 мають кваліфікацію – “висока”, 6 осіб – “добра”, 2 особи – “задовільна”.

Для оцінки кваліфікації особового складу використано лінгвістичну змінну “Кваліфікація”. Час роботи з кваліфікацією “висока” апроксимується трикутною функцією належності в інтервалі $(0,5 \dots 5)$ години, кваліфікацією “добра” – $(2 \dots 4)$ години, кваліфікацією “задовільна” – $(4 \dots 6)$ годин.

Працевитрати ремонту кожного агрегату різні та можуть бути оцінені за допомогою лінгвістичної змінної “Працевитрати” в інтервалах: $A1=(1-2)$ людино-годин; $A2=(1-4)$ людино-годин; $A3=(1-5)$ людино-годин; $A4=(1-2)$ людино-годин; $A5=(1-7)$ людино-годин; $A6=(1-4)$ людино-годин; $A7=(1-2)$ людино-годин; $A8=(1-5)$ людино-годин. Працевитрати теж апроксимовано трикутною функцією належності.

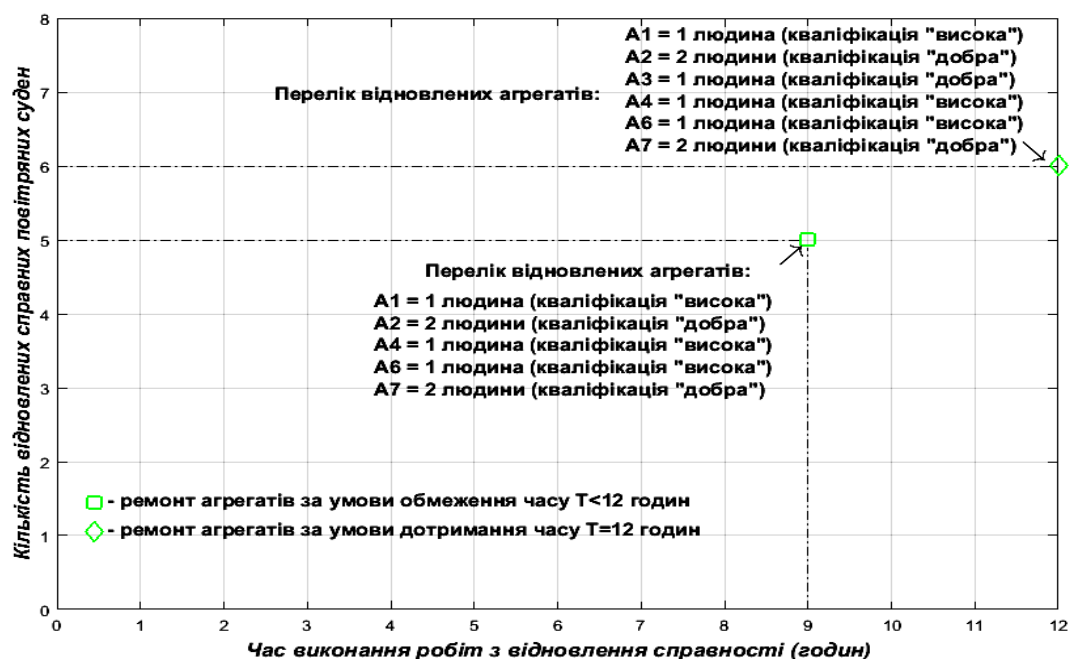


Рис. 2. Результати пошуку оптимальних рішень з відновлення справності 8 одиниць ПС
Джерело: розроблено авторами

Результати виконання розрахунків для двох варіантів згідно з умовами задачі з відновлення справності 8 одиниць ПС показано на рисунку 2. Під час виконання розрахунків використано програмні засоби Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB.

Остаточний вибір одного з двох варіантів відновлення справності максимально можливої кількості пошкоджених агрегатів у залежності від поточних умов діяльності ІАС покладеться на особу, що приймає рішення.

Практичне значення застосування особою ІАС, яка приймає рішення про можливість відновлення справності пошкоджених ПС на основі використання методів нечіткого логічного аналізу та динамічного програмування, полягає у забезпеченні логічно обґрунтованих та математично підтверджених підстав для прийняття рішення з урахуванням фактичного технічного стану ПС в умовах невизначеності.

Висновок

Таким чином, впровадження математичних моделей та застосування їх для підготовки проєктів

рішень на основі функціональних залежностей методів теорії нечітких множин та методу динамічного програмування дозволить удосконалити оброблення релевантної інформації та знань щодо стану ПС у реальному режимі часу, покращити ефективність та обґрунтованість рішень щодо подальшої експлуатації та використанню за призначенням ПС, забезпечить можливість особі, що приймає рішення, розв'язувати проблеми та завдання, які пов'язані з технічною експлуатацією під час бойового застосування ПС авіації Збройних Сил України.

Напрями подальших досліджень.

Продовжувати дослідження щодо визначення бази правил системи нечіткого логічного аналізу, в якому необхідно передбачити вплив різних факторів технічної експлуатації ПС під час вибору одного з варіантів проєкту рішення, наприклад, залишку ресурсних показників пошкоджених агрегатів, кількість особового складу при одночасному перебуванні на одному робочому місці та інші фактори.

Список літератури

1. Наказ Міністерства оборони України від 05.07.2016 №343 "Про затвердження Правил інженерно-авіаційного забезпечення державної авіації України".
2. Воронин А., Зиятдинов Ю. Теория принятия многокритериальных решений. 2018. – 215 с.
3. Герасимов Б.М., Локазюк В.М., Оксюк О.Г., Поморова О.В. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений. К.: Видавництво Європейського університету, 2007. – 334 с.
4. Нікольський Ю.В., Пасічник В.В., Щербіна Ю.М. Системи штучного інтелекту: навчальний посібник. – Львів: "Магнолія-2006". 2019 – 280 с.
5. Кирик В.В. Математичний апарат штучного інтелекту в електроенергетичних системах: підручник / В.В. Кирик. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во "Політехніка", 2019. – 224 с.
6. Демидова Л.А., Кираковский В.В., Пылькин А.Н. Принятие решений в условиях неопределенности. Монография – М.: Горячая линия – Телеком, 2013, - 289 с.
7. Зайченко Ю.П. Дослідження операцій. Підручник. Сьоме видання. – К.: Видавничий Дім "Слово", 2006. – 816 с.
8. Ржевський С.В., Александрова В.М. Дослідження операцій. Підручник. – К.: "Академвидав, 2006. – 560 с."
9. Струченков В.И. Методы оптимизации в прикладных задачах. – М.: СОЛОН-ПРЕСС 2012. – 320 с.
10. Зайченко О.Ю., Зайченко Ю.П. Дослідження операцій. Збірник задач. – К.: Видавничий Дім "Слово", 2007. – 472 с.

Надійшла до редколегії 30.10.2024

Схвалена до друку 15.11.2024

Відомості про авторів:

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:

Georgii Horokhov

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

Жикол Павло Олександрович

старший науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-9891-5097>

Pavel Zhykol

Senior Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9891-5097>

Скляр Олександр Іванович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
старший науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4776-8821>

Oleksandr Sklyar

Candidate of Technical Sciences
Senior Researcher
Senior Researcher
Of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4776-8821>

APPLICATION OF FUZZY DYNAMIC PROGRAMMING METHODS FOR THE PREPARATION OF AIRCRAFT REPAIR SOLUTIONS IN THE CONDITIONS OF AVIATION PARTS

H. Horokhov, P. Zhykol, O. Sklyar

Aviation engineering support provides for the performance of tasks related to the implementation of measures to maintain aviation equipment in good condition and constant readiness for combat operations. Among the list of measures, considerable attention is paid to the performance of engineering calculations regarding the substantiation of the necessary forces and means during the technical operation and repair of aircraft. The article examines the features of the use of methods of the theory of fuzzy sets, which are an integral part of the theory of artificial intelligence, and with the help of which the necessary calculations are carried out to justify the optimality of decisions on restoring the serviceability of aircraft. The search for ways to obtain optimal solutions was carried out on the basis of the mathematical apparatus of dynamic programming, taking into account the features of the uncertainty of information that characterize the activity of the engineering and technical staff in the conditions of aviation units.

The article provides an example of the application of methods of fuzzy logic analysis together with the method of dynamic programming. The problem of finding the optimal solution for restoring the serviceability of units on 8 aircraft units was studied using two criteria: the maximum number of repaired units and the minimum number of personnel of the aviation engineering service.

Task input data:

The total repair time of 8 units ($A_1, A_2, \dots, A_8$) should not exceed $T_0=12$ hours. The total number of personnel of the aviation engineering service who can be sent for repair is $C_0=11$ people, of which 3 have the qualification - "high", 6 people - "good", 2 people - "satisfactory".

The linguistic variable "Qualification" is used to assess qualifications. The working time with the "high" qualification is approximated by the triangular function of belonging in the interval (0.5 - 1.5) hours, the "good" qualification - (2 - 4) hours, the "satisfactory" qualification - (4 - 6) hours.

The labor costs of repairing each unit are different and can be estimated using the linguistic variable "Labor costs" in the intervals: $A_1=(1 - 2)$ man-hours; $A_2=(1 - 4)$ man-hour; $A_3=(1 - 5)$ man-hours; $A_4=(1 - 2)$ man-hour; $A_5=(1 - 7)$ man-hours; $A_6=(1 - 4)$ man-hours; $A_7=(1 - 2)$ man-hour; $A_8=(1 - 5)$ man-hours. Labor costs are also approximated by a triangular membership function.

Fuzzy Logic Toolbox software of the MATLAB system was used during calculations.

Keywords: aircraft, technical operation, decision-making system.