

ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН В УМОВАХ РІЗНОГО СТУПЕНЯ ВИЗНАЧЕНОСТІ ПАРАМЕТРІВ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

Національний авіаційний університет

Розглянуто проблему прийняття рішень щодо технічного обслуговування повітряних суден (ТО ПС) із застосуванням математичної моделі керування ТО ПС як для планування, так і для управління (корегування) в умовах наявності вхідної інформації, що сприймається як достовірна, а також і така, ключові параметри якої носять невизначений характер

Вступ

Вартість технічного обслуговування (ТО) і ремонту, включаючи запасні частини та обладнання, за весь строк експлуатації кожного екземпляра сучасних типів повітряних суден в 2-3 рази перевищує початкову вартість ПС, що підтверджує актуальність вирішення задач ТО ПС.

Для розв'язку задачі технічного обслуговування ПС необхідно на протязі деякого періоду часу виконати визначену кількість комплексів взаємопов'язаних робіт. Склад і черговість виконання робіт визначається документом, що зветься регламентом технологічного обслуговування. Виконавцями робіт є спеціалізовані бригади обслуговування. Для кожного комплексу робіт заданий директивний строк його завершення, що визначає, у свою чергу, строки початку і закінчення кожної операції.

Необхідно так розподілити всю сукупність технологічних операцій між групами виконавців та впорядкувати роботи за часом, щоб виконання кожного комплексу робіт було завершено до встановленого строку.

Сам процес ТО характеризується значною динамічністю і непередбачуваністю свого протікання. Параметри, що характеризують умови (зовнішні) в яких здійснюється ТО, складно описати навіть в термінах теорії ймовірностей через функцію розподілу величин. У будь-якому випадку моделювання ТО буде спрощенням реального процесу, що призводить до

розбіжності між обчисленим на моделі та реальним результатом.

Оскільки відрізки часу, на протязі яких необхідно виконати технічне обслуговування ПС, в дійсності постійно перетинаються (тобто передбачається одночасне виконання декількох комплексів взаємозв'язаних робіт), задача потребує застосування математичних методів для свого розв'язку в умовах експлуатації автоматизованої системи технічного обслуговування повітряних суден.

Варіантність прийняття рішень щодо ТО ПС

Система прийняття рішень щодо технічного обслуговування повітряних суден повинна забезпечувати виконання жорстких вимог до ТО ПС в складних умовах, до яких відносяться крім таких як стислі регламентовані терміни виконання робіт і суттєва невизначеність параметрів системи, – також комбінаторна складність алгоритму розрахунку значень шуканих змінних керування процесом ТО ПС.

Крім того, застосування автоматизованої системи ТО ПС може відбуватись не тільки в режимі попереднього планування але також – в режимі термінованого корегування, до необхідності якого можуть призвести фактори накопичення прострочених рейсів або збій у виконанні запланованого комплексу робіт ТО ПС.

Другий ключовий фактор, що викликає варіантності формалізації та розв'язку задачі ТО ПС, залежить від ступеня визначеності вхідних даних.

На нижче приведеному рисунку 1 відображено взаємний зв'язок і послідовність кроків прийняття рішень з урахуванням обох ключових факторів.

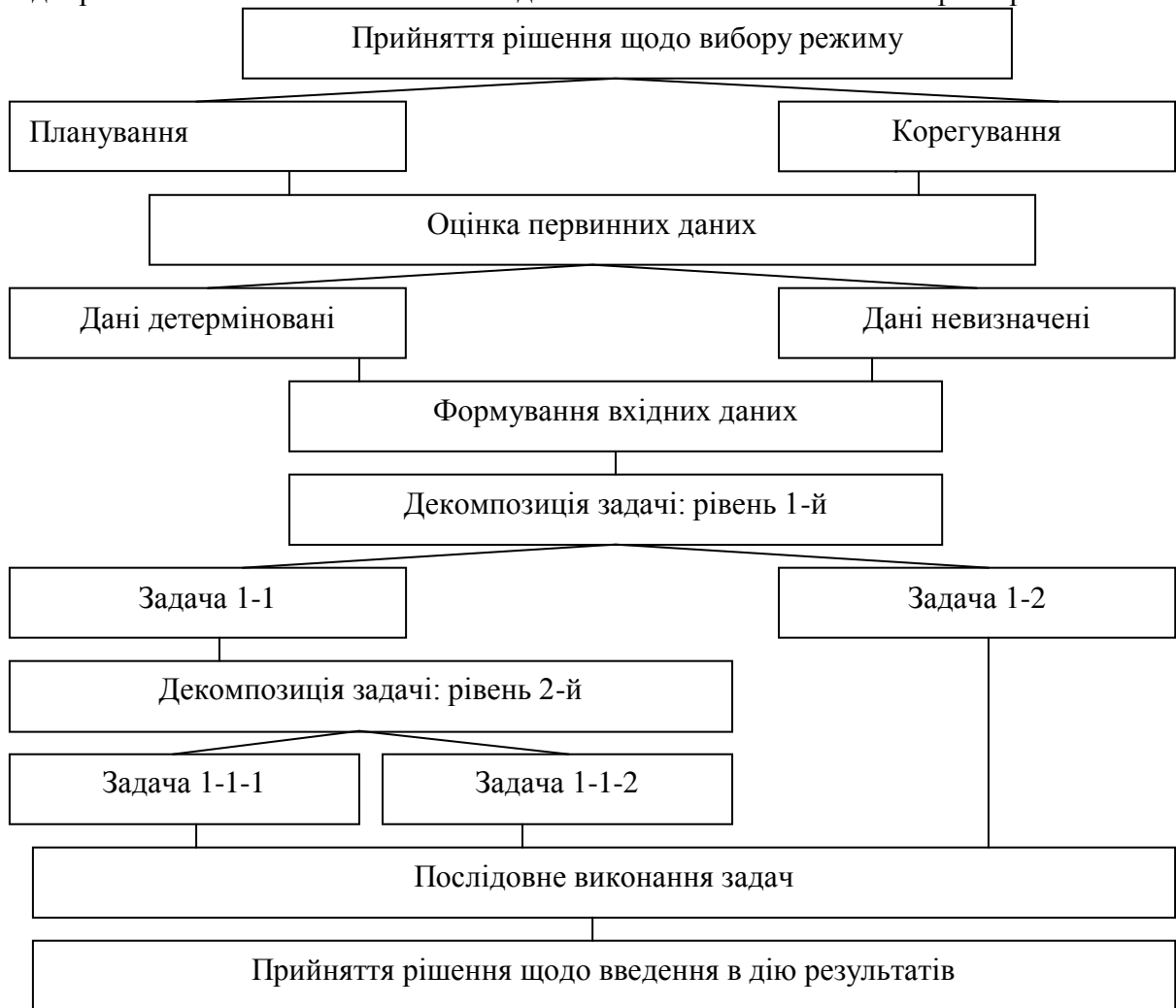


Рис. 1. Схема прийняття рішень для реалізації ТО ПС.

На рисунку видно, що розгалуження алгоритму прийняття рішень існує як при виборі режиму планування/корегування, так і за необхідності декомпозиції основної задачі ТО ПС [2].

Основні положення формальної моделі ТО ПС

Для побудови математичної моделі необхідні наступні вихідні данні:

- r – кількість комплексів робіт, які необхідно виконати протягом розгляданого періоду часу;
- n – кількість груп виконавців;
- m_l – максимальна кількість операцій, які може виконати l -та група виконавців;

t_l^n, t_l^k – моменти часу початку і закінчення роботи l -ої групи виконавців у даному періоді;

τ_{ij} – нормативна тривалість виконання j -ої операції i -го комплексу;

T_{ij}^n – найбільш ранній строк початку виконання j -ої операції i -го комплексу;

T_{ij}^k – найбільш пізній строк закінчення виконання j -ої операції i -го комплексу;

J_i – множина операцій, утворюючих в сукупності i -ий комплекс робіт;

L_{ij} – множина груп виконавців, які мають право виконання j -ої операції в i -му комплексі взаємопов'язаних робіт.

Передбачається, що всі комплекси робіт і групи виконавців пронумеровані числами натурального ряду, починаючи з одиниці.

На основі перерахованих даних визначаються наступні множини:

L_i – множина груп виконавців, які можуть виконувати операції i -го комплексу:

$$L_i = \bigcup_{j \in J_i} L_{ij}$$

I_l – множина комплексів робіт, до виконання яких може бути залучена l -та група виконавців:

$$I_l = \{i : 1 \leq i \leq r, l \in L_i\};$$

L_j – множина груп виконавців, які володіють правом виконання j -ої операції:

$$L_j = \bigcup_{i=1}^r L_{ij}$$

J – повна множина операцій, передбачених усіма комплексами робіт:

$$J = \bigcup_{i=1}^r J_i$$

J_l – множина операцій, які можуть бути виконані l -тою групою виконавців:

$$J_l = \{j \in J, l \in L_j\}$$

J_{il} – множина операцій i -го комплексу, які можуть бути виконані l -тою групою виконавців:

$$J_{il} = J_i \cap J_l$$

Шукані змінні. Розв'язок задачі оперативного управління ТО ПС може бути відображений значеннями двох груп незалежних змінних, які розглядаються далі в якості шуканих: булевих змінних $x_{ijkl} \in \{0,1\}$ і неперервних змінних $y_{kl} \geq 0, i = \overline{1, r}, j \in J_i, k = \overline{1, m}, l = \overline{1, n}, l \in L_{ij}$.

Зміст булевих змінних полягає у наступному: якщо в результаті розв'язку задачі з'ясується, що $x_{ijkl} = 1$, то це значить, що k -у позицію у послідовності робіт, які виконуються l -ю групою виконавців, займає j -та технологічна операція i -го комплексу. При $x_{ijkl} = 0$ має місце зворотне твердження.

Значення неперервних змінних y_{kl} характеризує тривалість невиробничих простоїв l -ї групи виконавців перед виконанням k -ої за рахунком операції.

Час початку виконання j -ої операції i -го комплексу визначається як функція шуканих змінних згідно наступній формулі:

$$t_{ij} = t_{ij}^{(1)} + t_{ij}^{(2)} \quad (1)$$

$$\text{де } t_{ij}^{(1)} = \sum_{l \in L_{ij}} x_{ijl} (t_l^n + y_{ll});$$

$$t_{ij}^{(2)} = \sum_{l \in L_{ij}} \sum_{k=2}^m x_{ijkl} [t_l^n + y_{kl} + \sum_{k'=1}^{k-l} \sum_{i' \in I_1} \sum_{j' \in J_{i'}} (x_{i'j'kl} \tau_{i'j'} + y_{kl})]$$

Система обмежень. В математичну модель задачі оперативного керування ТО ПС

входять наступні обмеження:

– що забезпечують виконання всіх операцій:

$$\sum_{l \in L_{ij}} \sum_{k=1}^{k-l} x_{ijkl} = 1, i = \overline{1, r}, j \in J \quad (2)$$

– що відображають вимогу приналежності часу початку виконання кожної операції допустимому діапазону:

$$T_{ij}^n \leq t_{ij} \leq T_{ij}^k - \tau_{ij}, i = \overline{1, r}, j \in J; \quad (3)$$

– що виключають можливість призначення більш ніж однієї операції на кожній позиції графіку роботи групи виконавців:

$$\sum_{i \in I_l} \sum_{j \in J_{il}} x_{ijkl} = 1, l = \overline{1, n}, k = \overline{1, m}; \quad (4)$$

– що лімітують тривалість робочого дня груп виконавців:

$$\sum_{k=1}^m \left(\sum_{i \in I_l} \sum_{j \in J_{il}} x_{ijkl} \tau_{ij} + y_{kl} \right) \leq t_l^k - t_l^n, l = \overline{1, n}. \quad (5)$$

Критеріальні функції. Критеріальна функція, що характеризує кількість груп виконавців, що залучаються до виконання робіт по ТО АТ, виражається формулою:

$$f_1(x) = n - \sum_{l=1}^n \bigcap_{k=1}^m \left(1 - \sum_{i \in I_l} \sum_{j \in J_{il}} x_{ijkl} \right) \quad (6)$$

Оскільки прагнення зберегти кількість груп виконавців, що використову-

ються, еквівалентне до прагнення збільшити число груп не залучених до роботи, функція (6) може бути замінена критеріальною функцією, що характеризує кількість останніх:

$$f_1'(x) = \sum_{l=1}^n \prod_{k=1}^m \left(1 - \sum_{i \in I_l} \sum_{j \in J_{il}} x_{ijkl} \right) \quad (7)$$

Степінь рівномірності розподілу числа операцій між групами виконавців характеризується критеріальною функцією

$$f_2(x) = \sum_{l \in L^*} \left| \frac{N}{n^*} - \sum_{k=1}^m \sum_{i \in I_l} \sum_{j \in J_{il}} x_{ijkl} \right|, \quad (8)$$

де N – сумарна кількість операцій, що передбачені всією сукупністю комплексів робіт:

$$N = |J|;$$

L^* – множина груп виконавців, що залучаються до виконання операцій;

$$n^* – \text{кількість таких груп: } n^* = |L^*|$$

Ступінь рівномірності розподілу загальної тривалості виконання операцій між групами виконавців визначається значенням критичної функції:

$$f_3(x) = \sum_{l \in L^*} \left| \frac{\tau}{n^*} \sum_{k=1}^m \sum_{i \in I_l} \sum_{j \in J_{il}} x_{ijkl} \tau_{ij} \right| \quad (9)$$

Тут τ – сумарна тривалість виконання всіх операцій розглянутої сукупності комплексів робіт:

$$\tau = \sum_{i=1}^r \sum_{j \in J} \tau_{ij}$$

Критеріальна функція, що характеризує величину витрат на виконання всієї сукупності комплексів робіт, може бути виражена формулою

$$f_4(x) = \sum_{i=1}^r \sum_{j \in J_i} \sum_{l \in L_{ij}} c_{ijl} \sum_{k=1}^m x_{ikl} \quad 10$$

$$G_l = \left\{ \left(i_{kl}; j_{kl}; t_{i_{kl}j_{kl}}; t_{i_{kl}j_{kl}} + \tau_{i_{kl}j_{kl}} \right), k = \overline{1, m}, l = \overline{1, n} \right\},$$

де i_{kl} – номер комплексу робіт, у якому l -та група виконавців повинна виконати j -у операцію, що займає в робочому графіку даної групи k -у по рахунку позицію;

де c_{ijl} – вартість виконання j -ої операції i -го комплексу робіт l -ої групи виконавців.

Критеріальну функцію (10) має сенс використовувати тільки в тому випадку, коли вартість виконання однієї і тієї ж операції різними групами виконавців різна. При цьому значення $c_{ijl}, i = \overline{1, m}, j \in J_i, l \in L_{ij}$ повинні бути включені в число вихідних даних.

Шукані змінні у функції (1), система обмежень (2) – (5) та критеріальна функція (6) – (10) формують модель задачі ТО ПС.

Розв’язок. Задача оперативного планування ТО ПС полягає в пошуку такого

вектора z^* значень незалежних змінних

$$x_{ijkl} \in \{0,1\}, i = \overline{1, r}, j \in J_i, k = \overline{1, m}, l = \overline{1, n};$$

$$y_{kl} \geq 0, k = \overline{1, m}, l = \overline{1, n},$$

котрий перетворює в оптимум одну з критеріальних функцій (6) – (10) при дотриманні системи обмежень (2) – (5). Критеріальна функція (6) підлягає максимізації, інші функції (7) – (10) повинні бути мінімізовані. Використання декількох критеріальних функцій одночасно переводить розглянуту задачу в клас задач векторної оптимізації, що викликає невиправдані теоретичні і технічні труднощі в її вирішенні. Тому від таких спроб доцільно відмовитися.

На підставі змістової інтерпретації вектора z^* формується технологічна документація, що регламентує процес ТО ПС, а також складаються графіки робіт груп виконавців, що формально описуються упорядкованими множинами наступного виду:

$t_{i_{kl}j_{kl}}$ та $(t_{i_{kl}j_{kl}} + \tau_{i_{kl}j_{kl}})$ – планований час початку і закінчення виконання цієї операції, відповідно.

Аналіз формальної постановки задачі. У формальній постановці задача оперативного керування ТО ПС відно-

ситься до класу нелінійних екстремальних задач. Алгоритмів вирішення задач даного класу на цей час не існує [4]. Тому задача оперативного управління ТО ПС підлягає декомпозиції на дві задачі, що вирішуються послідовно: задачу розподілення операцій між групами виконавців (задача 1-1) і задачу призначення часу початку робіт (задача 1-2) за схемою на рисунку 1.

У свою чергу, задача розподілу операцій між групами виконавців відноситься до класу екстремальних комбінаторних задач з нелінійною структурою, а отже для її алгоритмізації можна використати алгоритм, що поширює ідею спрямованого перебору варіантів на комбінаторні задачі, математичні моделі яких містять добуток незалежних перемінних. Але практичне застосування такого алгоритму для розв'язку цієї задачі недоцільно, тому що при великій розмірності математичної моделі тривалість рішення задачі може виявитись надмірно великою [1].

Тому для рішення задачі оперативного управління ТО ПС пропонується використовувати підхід, що виключає нелінійність математичної моделі. Сутність підходу полягає у розбитті задачі, на наступні дві: побудову допустимих послідовностей робіт для кожного виконавця (задача 1-1-1) та призначення виконавців для виконання послідовностей робіт (задача 1-1-2). Цей етап прийняття рішень по ТО ПС являє собою другий рівень декомпозиції основної задачі, що відображено на рисунку 1.

Залишається вирішити задачу призначення часу початку виконання операцій.

Вирішення проблеми прийняття рішень. Часові параметри ТО ПС необхідно визначати до вильоту, насамперед, на основі критерію, що мінімізує відхилення моментів порушення регулярності ТО ПС, з урахуванням значимості рейсів, а також при виконанні часових обмежень на припустимі затримки вильоту ПС та за наявності трудових ресурсів, необхідних для підготовки ПС.

У будь-якому випадку, моделювання ТО буде спрощенням реального процесу, що призводить до розбіжності між обрахованим на моделі та реальним результатом.

Зменшити вищевказану розбіжність можна завдяки “пом'якшенню” обрахованого результату. Допустимий ступінь “пом'якшення” або нечіткості може бути обґрунтований мірою розбіжності результатів, отриманих за двома різними схемами прийняття рішень, які умовно можна назвати класичною та схемою поведінки.

Наприклад, такий показник ТО як час виконання кожної технологічної операції t_i , де $i \in I$ – множини всіх операцій ТО, може бути за класичною схемою дійсним числом, множина яких впорядковується за відношенням нерівності (\geq); тоді особа, що приймає рішення (ОПР), вибирає альтернативу із найбільшим значенням виграшу. На противагу цьому, модель поведінки характеризується відношенням включення (\subset), а сама функція виграшу приймає одне із дискретних значень, що мають вигляд:

$$\begin{cases} \text{якщо } t_i \in T'_i, \text{ то } \partial(t_i) = 1 \\ \text{якщо } t_i \notin T'_i, \text{ то } \partial(t_i) = 0, \end{cases}$$

де T'_i у якості обрахованих результатів належить до задовільних ($T'_i \in T_i$) із функцією виграшу $\partial(t_i) = 1$; тоді ОПР вибирає одне з декількох можливих рішень.

Очевидно, що більш обґрунтоване рішення буде те, що являє менший ступінь розбіжності за двома моделями ТО.

Оскільки часові параметри можуть мати значну невизначеність, то їх встановлення може потребувати застосування методу експертної оцінки за допомогою за допомогою лінгвістичних змінних.

Поняття лінгвістичної змінної лежить у основі теорії нечітких множин, що дозволяє математичне моделювання нечітких (розпливчатих) уявлень, котри оперує експерт при описі параметрів реальної системи, її цілей, обмежень тощо [3].

Використання поняття розпливчатої мети і розпливчатого обмеження дозволяє формулювати значення показників узагальненої оцінки групи експертів у встановлених ними діапазонах можливих змін параметрів та обмежуючих умов задачі управління технічною підготовкою ПС до вильоту. Можливість словесного формулювання експертом розпливчатої цілі та розпливчатого обмеження, а також представлення їх в якості розпливчатої множини в одному і тому ж просторі альтернатив є важливим аргументом на користь застосування цього методу визначення узагальненої оцінки експертів.

Список літератури

1. Додонов А.Г. Методы принятия решений в автоматизированной системе

управления предполетной подготовкой летательных аппаратов: монография /

А.Г. Додонов, А.Е. Литвиненко, М.Г. Луцкий. – К.: НАУ, 2011, – 340 с.

2. Литвиненко А.Е. Метод направленного перебора в системах управления и диагностирования. – К., 2007. – с. 208 – 268.

3. Литвиненко О.С., Жолдаков О.О. Формалізація задачі перед польотного технічного обслуговування повітряних суден в умовах невизначеності її параметрів. – К.: НАУ – АВІА – 2004. – с.13.129 – 13.132.

4. Пападимитроу Х., Стейглиц К. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность. – М.: Мир, 1985. – 512 с.