

ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТНОСТІ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМ ОБСЛУГОВУВАННЯМ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

Національний авіаційний університет

olexazholdak@mail.ru

Розглянуто проблему побудови математичної моделі задачі керування технічним обслуговуванням повітряних суден (ТО ПС), яка б дозволяла використовувати сучасні обчислювальні засоби для оперативного її розв'язання. Описані два підходи, в одному з яких переважає традиційній інструментарій із жорстко детермінованими показниками і результатами розрахунків, а в другому за основу беруться експертні оцінки, що узагальнюють набутий спеціалістами досвід. Із множини рішень за двома моделями за основу беруться такі, що являють менший ступінь розбіжності

Ключові слова: математична модель, детермінованість, нечіткість, узгодженість рішень

Вступ

Формування програми ТО літака починається на самих ранніх стадіях його проектування і поступово вдосконалюється на етапах заводських і державних випробувань. Таким чином, з початком експлуатаційного періоду літак має повністю сформовану і перевірену програму ТО. Але на практиці авіаційна техніка постійно вдосконалюється, розроблюються нові методи і засоби її ТО, змінюються в залежності від режимів експлуатації та зовнішніх умов. Тому перед розробниками автоматизованої системи керування ТО стоїть задача забезпечення функціонування АС ТО стійкої до часом непередбачуваних ситуацій, особливо при оперативному ТО.

У більшості авіакомпаній світу витрати на ТО є другою за величиною статтею затрат після витрат на паливо. Тому ефективне керування ТО – це необхідна умова високої рентабельності експлуатації ПС. У той же час ТО відіграє першорядну роль у забезпеченні безпеки польотів і збереженні парку ПС.

Актуальність питань удосконалення керування процесами ТО АТ на сучасному етапі розвитку цивільної авіації визначається такими основними чинниками:

– зростання складності і вартості парку ПС, що експлуатується; підвищенням мінімально припустимого рівня

інтенсивності використання ПС, що забезпечує економічну доцільність їх експлуатації;

– підвищення значимості управлінських рішень експлуатанта щодо організації і проведення ТО для забезпечення ефективності використання ПС, а також, не в останню чергу,

– інформатизація сучасного суспільства і комп'ютеризація різних галузей авіаційної діяльності, що вимагає просування інформаційно-технологічних рішень для керування процесами ТО, розгляду питань інформаційного забезпечення і підтримання управлінських рішень.

З іншого боку, практика, що склалася, та інженерні підходи до побудови керування процесами ТО ПС сформувалися значною мірою на основі методу "спроб та помилок". Накопичений досвід необхідно формалізувати, застосувавши відповідний математичний апарат.

Експертна модель

Для опису параметрів процесу які характеризуються нечіткістю своїх дійсних значень застосовуються різні методи з теорії ймовірностей та теорії нечітких множин, які потребують інженерного переосмислення для їх алгоритмічно-програмної реалізації.

Дійсні параметри оперативного ТО літаків перед вильотом можуть відхилитись від встановлених регламентом пока-

зників і складатись у непередбачувані комбінації. Це відноситься насамперед для наступних чисельних характеристик:

- значимість кожного рейсу;
- момент планованої технічної готовності ПС до вильоту;
- припустима затримка рейсу ПС;
- припустимі вкладення ресурсів у ТО кожного рейсу ПС та, особливо,
- дійсний час виконання регламентованих робіт ТО.

У зв'язку з цим постають дві взаємозалежні проблеми: прогнозування можливих відхилень від регламентованих показників та забезпечення моніторингу (обліку) дійсного стану процесу ТО під час його реалізації.

Перша може вирішуватись на основі експертних оцінок щодо діапазонів числових значень вищевказаних параметрів із застосуванням лінгвістичних змінних, які лежать в основі теорії нечітких множин. А друга потребує застосування технічних засобів моніторингу дійсних показників ТО та розробки програмного забезпечення на рівні системного програмування.

У свою чергу, програмно-технічний комплекс повинен бути забезпечений засобами контролю дійсного стану ТО, а також оперативного прийому-передачі управлінських (корегуючих) рішень, розрахованих на базі математичного апарату нечітких множин і відповідного алгоритмічно-програмного забезпечення.

Використання поняття розпливчатої мети і розпливчатого обмеження дозволяє формулювати значення показників узагальної 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 узагальної оцінки експертів.

При використанні вище вказаного підходу у якості рішення задачі визначення кількісної оцінки показників критерію і обмежуючих умов буде виступати деяка розпливчата множина, що визначається як перетин розпливчастих цілей і розпливчатих обмежень, вказаних групою експертів.

Розглянемо можливість використання методу ухвалення рішення в розпливчастих умовах при формуванні вагових показників значимості рейсів і обмежуючих умов задачі керування оперативною технічною підготовкою ПС до вильоту.

Процедура прийняття рішень у розпливчастих умовах при формуванні значень критерію й обмежуючих умов задачі включає наступні етапи:

- формування терм-множин назв лінгвістичних значень, що описують характеристики задачі керування технічною підготовкою ПС до вильоту;
- оцінку функції приналежності чисельних значень лінгвістичних перемінних;
- прийняття рішень при формуванні оцінки параметрів за допомогою методів теорії розпливчастих множин.

Визначення набору лінгвістичних перемінних зводиться до вироблення переліку параметрів, від яких залежать нечіткі описи їх значень. Набір лінгвістичних перемінних, необхідний для опису параметрів задачі керування технічною підготовкою ПС до вильоту, може бути представлений у такий спосіб:

- X_1 – значимість рейсу;
- X_2 – момент планованої технічної готовності ПС до вильоту;
- X_3 – припустима затримка рейсу ПС;
- X_4 – припустимі вкладення ресурсів у ТО рейсу ПС.

Відповідно до визначення лінгвістичної перемінної, а також у відповідності із вимогами до параметрів задачі керування технічною підготовкою ПС до вильоту, формується терм-множини $T(X)$ назв лінгвістичних значень для кожної лінгвістичної перемінної.

Вибір експертом лінгвістичних значень з терм-множин здійснюється відповідно до його уявлень про розпливчасту мету і розпливчасте обмеження для відповідної перемінної. Нечіткі обмеження лінгвістичної перемінної можуть бути представлені розпливчастими множинами з відповідними функціями приналежності. Тут під рішенням розуміється розпливчата множина, функція приналежності якої визначається відповідним співвідношенням.

Викладений метод прийняття рішень при формуванні параметрів в умовах нечіткої вихідної інформації дозволяє побудувати модель керування технічною підготовкою ПС до вильоту досить адекватну реальності та, користуючись математичним апаратом теорії нечітких множин, розробити відповідне алгоритмічне і програмне забезпечення ТО ПС.

Детермінована модель

У порівнянні з вище викладеним методом "класичними" можна вважати методи, що базуються на математичному моделюванні, теорії розкладів, математичному програмуванні, теорії штучного інтелекту тощо.

Вихідним положенням є те, що на протязі певного періоду часу необхідно виконати необхідну кількість комплексів взаємопов'язаних робіт (операцій). Склад і черговість виконання робіт кожного комплексу визначається технологічним графіком ТО ПС, геометричною інтерпретацією котрого служить мережева модель. Виконавцями робіт є технічні екіпажі, спеціалізовані групи обслуговування, комплексні технічні розрахунки. 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, щоб виконання кожного комплексу робіт було завершено до встановленого строку.

До вхідних даних такої моделі розв'язання задачі ТО ПС відносяться на-

самперед:

r – кількість комплексів робіт, які необхідно виконати протягом розгляданого періоду часу;

n – кількість груп виконавців;

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

Шуканими змінними будуть дві групи незалежних змінних, як то булеві змінні $x_{ijkl} \in \{0,1\}$ і неперервні змінні $y_{kl} \geq 0, i = \overline{1, r}, j \in J_i, k = \overline{1, m}, l = \overline{1, n}, l \in L_{ij}$, де j – позначення операцій, k – порядковий номер операції, l – позначення групи виконавців.

Сенс булевих змінних полягає у тому, що якщо в результаті розв'язку задачі з'ясується, що $x_{ijkl} = 1$, то це означає, 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.

Система обмежень в математичній моделі задачі оперативного керування ТО ПС повинна забезпечити:

– виконання всіх операцій:

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

– приналежність часу початку виконання кожної операції допустимому діапазону, де τ_{ij} – тривалість виконання j -ої операції i -го комплексу:

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

– виключення можливості призначення більше одної операції на кожній позиції графіку роботи групи виконавців:

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

– ліміт тривалості робочого дня груп виконавців:

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

Основними критеріями, чиї значення функції характеризують ступінь оптимальності досягнутих рішень, можуть бути нижче описані.

Критерій, що характеризує кількість груп виконавців, що залучаються до виконання робіт по ТО ПС, виражається формулою:

$$f_1(x) = n - \sum_{l=1}^n \prod_{k=1}^m \left(1 - \sum_{i \in I_l} \sum_{j \in J_l} x_{ijkl} \right).$$

Цей критерій еквівалентний показнику збільшення число груп не залучених до роботи:

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

Критерій рівномірності розподілу числа операцій між групами виконавців;

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

де N – сумарна кількість операцій, що передбачені всією сукупністю комплексів робіт ($N = |J|$), L^* – множина груп виконавців, що залучаються до виконання операцій, n^* – кількість таких груп ($n^* = |L^*|$).

Ступінь рівномірності розподілу загальної тривалості виконання операцій між групами виконавців визначається функцією:

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

де 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

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

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

В такій постановці задача оперативного планування ТО ПС полягає в пошуку такого вектора z^* значень незалежних змінних

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

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

який перетворює в оптимум одну з критеріальних функцій при дотриманні системи обмежень.

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:

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

$l = \overline{1, n}$. Тут 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;

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

Узгодження рішень

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

Зменшити вищевказану розбіжність можна завдяки “пом’якшенню” обрхованого результату. Допустимий ступінь “пом’якшення” або нечіткості може бути обґрунтований мірою розбіжності резуль-

татів, 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.

В умовах експлуатації автоматизованої системи ТО ПС застосування адек-

ватної моделі ТО ПС може дати більш технічно і економічно обґрунтоване рішення.

Список літератури

1. Далецкий С.В. Проектирование систем технического обслуживания и ремонта воздушных судов гражданской авиации. – М.: Изд-во МАИ, 2001. – 364 с.
2. Литвиненко А.Е. Метод направленного перебора в системах управления и диагностирования. – К., 2007. – С. 208–268.

Статтю подано до редакції 2.06.2015