

УДК 629.7.07

Т.Ф. Шмельова, О.П. Бондар, І.Л. Якуніна

Державна льотна академія України, Кіровоград

МЕРЕЖЕВЕ ПЛАНУВАННЯ ДІЙ АВІАДИСПЕТЧЕРА

Охарактеризовано систему підтримки прийняття рішень авіадиспетчера у випадку відмови авіаційного двигуна на зльоті, якщо командир повітряного судна прийняв рішення «зліт продовжити». Виконано аналіз результатів експертного опитування щодо визначення часу на виконання дій авіадиспетчером в даному випадку. Знайдено ймовірності виконання комплексу дій авіадиспетчером у випадку покрокового зменшення критичного часу.

Ключові слова: відмова двигуна, система підтримки прийняття рішень, зліт, метод експертних оцінок, стохастичний мережевий графік.

Вступ

Постановка проблеми. Аналіз авіаційних подій показує, що причиною понад 80% з них є людський фактор [1]. Причому, більшість авіаспеціалістів, які допустили порушення в своїй діяльності, були достатньо підготовлені в професійному плані. Однією з причин допущення порушень можна назвати те, що в процесі виникнення особливого випадку в польоті авіаспеціаліст повинен прийняти рішення (ПР) в умовах гострого дефіциту часу та значного психофізіологічного навантаження. До того ж, виникнення особливого випадку в польоті характеризується неповнотою та невизначеністю інформації. Пошук оптимального рішення за таких умов вимагає обробки значно більшого об'єму інформації, ніж за нормальних умов польоту. Освоєння жорстких алгоритмів професійної діяльності та оптимальний рівень розвитку професійно-важливих якостей у людини-оператора (Л-О) визначає його надійність в екстремальних умовах. Актуальною є розробка нових та вдосконалення існуючих систем підтримки прийняття рішень (СППР).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відповідальність за парировання особливого випадку в польоті покладено на екіпаж повітряного судна (ПС), який безпосередньо підпорядковується командирі ПС. Авіадиспетчер відповідає за видачу правильних і своєчасних вказівок та рекомендацій екіпажу повітряного судна [2 – 5]. На командира ПС, в свою чергу, покладена відповідальність за своєчасне та оптимальне прийняття остаточного рішення [2].

Згідно з роботами [10 – 12], одним із ефективних засобів підвищення безпеки польотів в позаштатних ситуаціях є включення до складу автоматизованих систем управління повітряним рухом (АС УПР) інтелектуальних модулів, відомих як СППР.

В роботі [13] система підтримки прийняття рішень використовується при оперативному плануванні заходу ПС на посадку. В [14] розглянуто методи розробки систем прийняття рішень, орієнтовані на знання,

для використання в позаштатних, нестандартних, надзвичайних ситуаціях й наведено класифікацію функціональних характеристик об'єктів управління з точки зору формалізації процесів набуття знань.

Автоматизовані системи з елементами інформаційної підтримки в авіації розглянуто, наприклад, в роботах Неділько В.М.[8], Сікірди Ю.В. [9]. Зокрема, в [9] створено прототип системи підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях для оперативного забезпечення оператора необхідними рекомендаціями з вибору оптимального варіанта завершення польоту в будь-який момент часу з потрібною точністю.

Формулювання мети статті. При проектуванні СППР одним із завдань є наповнення бази моделей. Тому метою цієї статті є розробка стохастичних мережевих графіків дій (операційних процедур) авіадиспетчера у випадку відмови двигуна ПС на зльоті (командир повітряного судна (КПС) прийняв рішення «Зліт продовжити»), як однієї зі складових бази моделей СППР авіаційного диспетчера. А також, на меті є розробка алгоритму розрахунку мережевого графіка з ймовірнісним часом виконання операційних процедур, спрямованих на парировання особливого випадку в польоті.

Виклад основного матеріалу

Єдиного визначення СППР не існує [16 – 18]. Комп'ютерна СППР — це інтерактивна система, яка використовує бази даних та бази математичних моделей для аналізу та вирішення слабкоструктурованих та неструктурованих задач, причому дозволяє спеціалісту, що приймає рішення, поєднувати власні суб'єктивні пріоритети з комп'ютерним аналізом ситуації при виробленні рекомендацій в процесі ПР. До слабкоструктурованих задач відносяться такі задачі, які містять в собі кількісні та якісні змінні, причому останні переважають. Неструктурована задача містить в собі лише якісний опис [16 – 18].

Розглянемо такі компоненти СППР, як база даних та база моделей.

База даних СППР авіаційного диспетчера, окрім даних щодо тактико-технічних характеристик ПС, планової інформації щодо ПС та характеристик аеродромів [9], повинна містити в собі інформацію щодо критичного часу на парювання особливого випадку в польоті (відмова двигуна, попадання птаха, тощо) відповідно до технологічних карт, положень ASSIST.

База математичних моделей включає в себе детерміновані моделі прийняття рішень з детермінованим та стохастичним часом виконання операційних процедур. А також до цієї бази входять моделі розвитку особливого випадку в польоті (від нормальних умов польоту до катастрофічної ситуації), а також моделі парювання даного особливого випадку [20].

Як один з варіантів математичної моделі дій авіаційного диспетчера в особливому випадку в польоті – відмова авіаційного двигуна на зльоті (КПС прийняв рішення «зліт продовжити») – розглянемо мережевий графік, який відображає ці дії. Раніше було представлено детерміновані моделі ПР екіпажем ПС при виникненні особливого випадку в польоті при відмові двигуна на зльоті ПС [15]. За допомогою мережевих графіків визначені мінімальний, максимальний та середній часи на парювання особливого випадку в польоті. В [3, 4] подано рекомендації щодо дій авіадиспетчера у випадку отримання повідомлення від екіпажу ПС про виникнення особливого випадку в польоті. На основі цих рекомендацій та за допомогою відповідних перетворень з упорядкування, сформульовано комплекс дій (робіт) авіадиспетчера, спрямованих на парювання особливого випадку в польоті (табл. 1) [2 – 4].

Таблиця 1

Перелік дій авіадиспетчера

| Шифр дії | Дія |
|-----------------|--|
| a ₁ | Отримання від КПС доповіді про відмову авіаційного двигуна і про прийняття рішення «Зліт продовжити» |
| a ₂ | Підтвердження КПС отримання повідомлення про особливий випадок |
| a ₃ | Забезпечення ешелонування ПС відносно інших ПС |
| a ₄ | Виділення ПС простору для маневрів |
| a ₅ | Введення режиму радіомовчання |
| a ₆ | Інформування керівника польотів та диспетчерів інших секторів органу УПР |
| a ₇ | Інформування КПС про найближчий придатний аеродром |
| a ₈ | Інформування КПС про дані найближчого придатного аеродрому (робоча ЗПС, довжина, поверхня, частоти ILS та навігаційних пристроїв |
| a ₉ | Інформування КПС про метеоумови на аеродромі посадки |
| a ₁₀ | Звільнити ЗПС |
| a ₁₁ | Звільнити полосу безпеки |
| a ₁₂ | Запропонувати КПС подовжену ЗПС |
| a ₁₃ | Буксирувальні пристрої – в стані готовності |
| a ₁₄ | У випадку вимушеної посадки – фіксація останнього місцеположення ПС |

Оскільки одним із завдань, яке може бути вирішеним за допомогою мережевого планування, є визначення тривалості кожної роботи окремо та комплексу робіт взагалі, то наступним кроком є визначення часу, необхідного на виконання кожної дії авіадиспетчера. В нашому випадку цей час було визначено методом експертних оцінок. В табл. 2 наведено результати аналізу часу на виконання дій авіадиспетчера в особливому випадку в польоті - відмова авіаційного двигуна на зльоті (командир повітряного судна прийняв рішення «зліт продовжити»).

Таблиця 2

Часові характеристики дій авіадиспетчера

| Шифр дії | t _{min} , с | t _{max} , с | t _{ср} , с | σ, с | m _{t_i} |
|-----------------|----------------------|----------------------|---------------------|------|----------------------------|
| a ₁ | 2 | 3 | 2,7 | 0,47 | 0,47 |
| a ₂ | 1 | 2 | 1,5 | 0,44 | 0,44 |
| a ₃ | 3 | 4 | 3,6 | 0,50 | 0,50 |
| a ₄ | 4 | 5 | 4,4 | 0,50 | 0,50 |
| a ₅ | 2 | 3 | 2,8 | 0,43 | 0,43 |
| a ₆ | 4 | 6 | 5,1 | 0,78 | 0,78 |
| a ₇ | 2 | 3 | 2,4 | 0,49 | 0,50 |
| a ₈ | 3 | 4 | 3,4 | 0,49 | 0,49 |
| a ₉ | 2 | 3 | 2,6 | 0,49 | 0,49 |
| a ₁₀ | 4 | 6 | 5,1 | 0,80 | 0,80 |
| a ₁₁ | 3 | 3 | 3 | 0,00 | 0,00 |
| a ₁₂ | 2 | 3 | 2,7 | 0,47 | 0,47 |
| a ₁₃ | 3 | 3 | 3 | 0,00 | 0,00 |
| a ₁₄ | 1 | 3 | 1,8 | 0,74 | 0,74 |
| всього | 36 | 51 | 44,1 | | 1,95 |

За отриманими даними побудовано мережевий графік, який відображає максимальний час на виконання необхідних дій авіадиспетчером (рис. 1). Цей час становить 51 секунду.

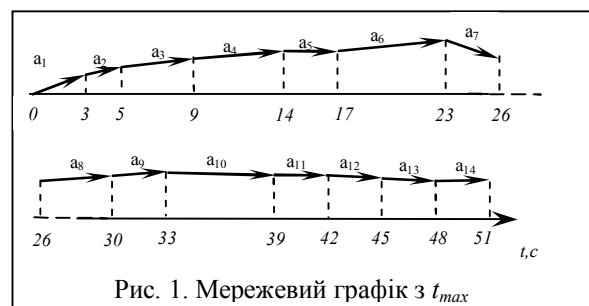


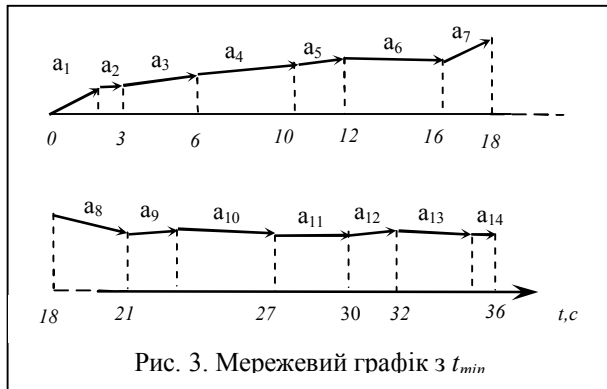
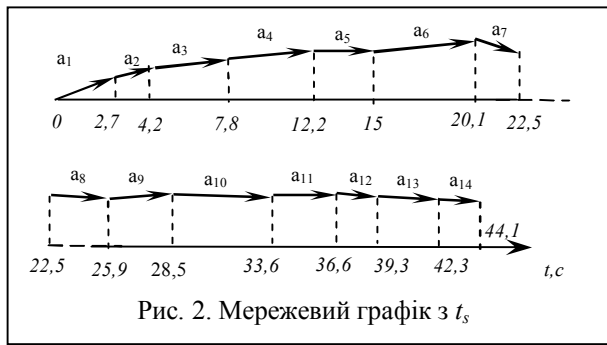
Рис. 1. Мережевий графік з t_{max}

Якщо взяти середній час на виконання авіадиспетчером переліку операційних процедур при парюванні особливого випадку в польоті (відмова двигуна), отримаємо графік, представлений на рис. 2.

В даному випадку цей час становить 44,1 с, що на 13,5% менше ніж в попередньому випадку.

Мережевий графік, побудований за мінімальним часом виконання операційних процедур авіадиспетчером, представлений на рис. 3.

Мінімальний критичний час на парювання особливого випадку в польоті становить 36 с, що на 29,5% менше ніж у першому, і на 18% менше ніж у другому випадках.



Вищерозглянуті мережеві графіки є детермінованими моделями, тобто час на виконання певної дії авіадиспетчером вважається сталим. Але в дійсності час на виконання тієї чи іншої дії у кожного авіадиспетчера може бути різним, про що свідчать результати експертного опитування.

Застосуємо мережеве планування при випадкових тривалостях виконання дій авіадиспетчером у випадку відмови авіаційного двигуна на зльоті [19]. При такій постановці задачі ми можемо знайти ймовірність того, що фактичний час виконання всього комплексу дій T не перевищить наперед заданої величини $T_d=47$ с.

В табл. 2 маємо експертні оцінки тривалості кожної i -ї дії авіаційного диспетчера: мінімальна (t_{min}), максимальна (t_{max}) та дисперсія (σ_i^2). Нехай час, необхідний для парирування особливого випадку в польоті, є $T_d = 47$ с. Потрібно обчислити ймовірність того, що диспетчер вкладеться в даний відрізок часу.

Для кожної з робіт $a_1, a_2, a_3, \dots, a_i, (i = 1; 14)$ визначимо очікувану тривалість виконання

$$t_{очік\ i} = (3t_{min\ i} + 2t_{max\ i})/5.$$

Припустимо, що існує лише незначна ймовірність того, що очікуваний час виконання дій $t_{очік\ i}$ буде виходити за межі значень $t_{min\ i}$ та $t_{max\ i}$, і що співвідношення показників всередині ряду залежить від β – розподілу, щільність якого має вигляд

$$f_i(t) = \begin{cases} k_i (t - t_{min\ i})^2 (t_{max\ i} - t) & \text{ї дє } t_{min\ i} < t < t_{max\ i} \\ 0 & \text{ї дє } t \geq t_{max\ i}, \end{cases}$$

де t – реальний час виконання дії; k_i – константа, що визначається з умови

$$\int_{t_{min\ i}}^{t_{max\ i}} f_i(t) dt = 1.$$

Алгоритм розрахунку мережевого графіка з ймовірнісним часом виконання операційних процедур, спрямованих на парирування особливого випадку в польоті, включає в себе такі основні етапи [19]:

1) розрахунок очікуваного часу виконання операційної процедури авіадиспетчером

$$t_{очік\ i} = M[t_{очік\ i}] \text{ та дисперсії } \sigma_i^2;$$

2) розрахунок найбільш раннього можливого строку завершення останньої операційної процедури T_{pk} ;

3) визначення аргумента нормальної функції розподілу ймовірностей

$$x = (T_d - T_{pk}) / \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}$$

4) за визначеним аргументом визначення ймовірності виконання останньої операційної процедури в наперед заданий строк T_d .

В табл. 3 наведено очікуваний час виконання операційних процедур та дисперсія.

Таблиця 3

Очікуваний час виконання дій авіадиспетчером

| Дія | a_1 | a_2 | a_3 | a_4 | a_5 | a_6 | a_7 |
|------------|--------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $t_{очік}$ | 2,4 | 1,4 | 3,4 | 4,4 | 2,4 | 4,8 | 2,4 |
| σ^2 | 0,2209 | 0,1936 | 0,25 | 0,25 | 0,1849 | 0,6084 | 0,2401 |
| Дія | a_8 | a_9 | a_{10} | a_{11} | a_{12} | a_{13} | a_{14} |
| $t_{очік}$ | 3,4 | 2,4 | 4,8 | 3 | 2,4 | 3 | 1,8 |
| σ^2 | 0,2401 | 0,2401 | 0,64 | 0 | 0,2209 | 0 | 0,5476 |

Найбільш ранній можливий строк завершення останньої дії $T_{pk} = 36$ с.

$$\sum_{i=1}^n \sigma_{ij}^2 = 0,2209 + 0,1936 + 0,25 + 0,25 + 0,1849 + 0,6084 + 0,2401 + 0,2401 + 0,2401 + 0,64 + 0 + 0,2209 + 0 + 0,5476 = 3,8366$$

Підставимо отримані дані у формулу визначення аргументу нормальної функції розподілу ймовірностей:

$$x = (47 - 36) / \sqrt{3,8366} = 2,8671$$

Скориставшись таблицею значень функції розподілу ймовірностей, знаходимо ймовірність $P(x) = 0,89$.

Отже отримали, що ймовірність виконання авіадиспетчером комплексу дій за 47 с. :

$$P(T < 47) \approx 0,89.$$

Аналогічно було визначено ймовірності виконання авіаційним диспетчером комплексу операційних процедур за різний, наперед заданий час з проміжку від 37 с до 51с. Якщо час на виконання комплексу дії авіадиспетчером зменшується, відповідно зменшується ймовірність успішного парирування розглянутого особливого випадку в польоті.

Висновки

У даній роботі розглянуті детерміновані моделі ПР авіадиспетчером у випадку відмови авіаційного двигуна на зльоті, якщо КПС прийняв рішення «зліт

продовжити», що використовуються в базі моделей СППР авіадиспетчера. Виконано аналіз результатів експертного опитування щодо визначення часу на виконання дій авіадиспетчером в даному особливому випадку. Знайдено ймовірності виконання комплексу дій авіадиспетчером у випадку покрового зменшення критичного часу на парювання особливого випадку в польоті. Розроблено алгоритм розрахунку мережевого графіка з ймовірнісним часом виконання операційних процедур, спрямованих на парювання особливого випадку в польоті.

Список літератури

1. Лейченко С.Д. Человеческий фактор в авиации: Монография в 2-х книгах. Кн. 1. / С.Д. Лейченко, А.В. Малишевский, Н.Ф. Михайлик СПб. – Кировоград: «КОД», 2006. – 480 с.
2. Наставление по производству полетов в гражданской авиации СССР (с изменениями и дополнениями). – М.: «Воздушный транспорт», 1985. – 262 с.
3. Правила полетов и обслуживания воздушного движения. – Док. 4444-RAC/501. – 13-е изд. – Монреаль, Канада, 1996. – 425 с.
4. Положення про організацію роботи об'єктів обслуговування повітряного руху Украероруху; Затв. 12.03.08
5. Руководство по обучению Часть Д-3. Диспетчер, 1998.
6. Рева О.М. Прийняття рішень шляхом виявлення системи пріоритетів (перевеза) авіаспеціаліста / О.М. Рева. – Кировоград: ДЛАУ, 1996. – 18 с.
7. Рева О.М. Однокрокові методи рішення задач з векторним показником ефективності / О.М. Рева. – Кировоград: ДЛАУ, 1996. – 23 с.
8. Неделько В.Н. Обеспечение эффективности информационно-поддержки принятия решений в автоматизированных системах обслуживания воздушного движения с элементами искусственного интеллекта: Дис. канд. техн. наук: 05.22.13. – К.: НАУ, 2002. – 183 с.
9. Сікірда Ю. В. Моделювання системи підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаитатних польотних ситуаціях: Дис. канд. техн. наук: 05.13.06 ; - Захищена 09.06.2004. - К., 2004. – 184 с.
10. Глухих И.Н. Интегрированные автоматизированные системы интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении воздушным движением (теория, модели, алгоритмы, принятие решений): Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.16. – Самара, 2000. – 34 с.
11. Ноздрин В.И. Взаимодействие летного экипажа и автоматических систем / В.И. Ноздрин // Проблемы безопасности полетов: Обзорн. инф. – М.: ВИНТИ, 2001. – Вып. 4. – С. 20–25.
12. Лернер И.И. Интеллектуальные системы и обеспечение безопасности полетов / И.И. Лернер, А.Б. Петров // Проблемы безопасности полетов: Обзорн.инф. – М.: ВИНТИ, 1998. – Вып.11. – С. 61–65.
13. Герасимов Б.М. Человеко-машинные системы принятия решений с элементами искусственного интеллекта. / Б.М. Герасимов, В.А. Тарасов, И.В. Токарев – К.: Наукова думка, 1993. – 184 с.
14. Геловани В.Л. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нестандартных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды. / В.Л. Геловани, А.А. Башлыков, В.Б. Бритков, Е.Д. Вязилов - М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 304 с.
15. Якуніна І.Л. Мережевий аналіз особливого випадку в польоті / І.Л. Якуніна, Т.Ф. Шмельова, О.П. Бондар – 36. наук. праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація / Вип.24, Ч. II - Кировоград: КНТУ, 2011. - С. 214-218.
16. Ларичев О.И. Качественные методы принятия решений. / О.И. Ларичев, Е.М. Мошкович. – М.: Наука, 1996. – 212 с.
17. Simonovic A. Decision support for sustainable water resources development in water resources planning in a changing world. / A. Simonovic, P. Slobodan // Proceeding of International UNESCO Symposium, Karlsruhe, Germany, p. III, 1994. – P. 3 – 13
18. Ginzberg M. A decision support: Issues and Perspectives. / M. Ginzberg, E. Stom // Processes and Tools for Decision Support. Amsterdam, North - Holland Publ. Co, 1983.
19. Кудрявцев Е.М. Исследование операций в задачах, алгоритмах и программах. – М.: Радио и связь, 1984.-184 с.
20. Шмельова Т. Ф. Аналіз особливого випадку в польоті за допомогою мережевого графіка / Т.Ф. Шмельова, О.П.Бондар І.Л.Якуніна // Вісник НАУ. – К.: НАУ, 2011. – № 2. – С. 50 – 54.

Надійшла до редколегії 25.01.2012

Рецензент: д-р фіз.-мат. наук проф. В.Ф. Гамалій, Кіровоградський національний технічний університет, Кіровоград.

СЕТЕВОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ДЕЙСТВИЙ АВИДИСПЕТЧЕРА

Т.Ф. Шмелева, О.П. Бондарь, И.Л. Якунина

Дано характеристику системы поддержки принятия решений авиадиспетчера в случае отказа авиационного двигателя на взлете, если командир воздушного судна принял решение «взлет продолжить». Произведен анализ результатов экспертного опроса касательно определения времени на выполнение действий авиадиспетчером в данном случае. Найдены вероятности выполнения комплекса действий авиадиспетчером в случае пошагового уменьшения критического времени.

Ключевые слова: отказ двигателя, система поддержки принятия решений, взлет, метод экспертных оценок, стохастический сетевой график.

NETWORK PLANNING OF AIR TRAFFIC CONTROLLER ACTIONS

T.F. Shmelova, O.P. Bondar, I.L. Yakunina

The system of support of making decision of air traffic controller is described in the case of aviation engine failure on flight, if the commander of air ship made decision to "continue flight". The analysis of results of the expert questioning is executed in relation to determination of time on implementation of actions by an air traffic controller in this case. Probabilities of implementation of complex of actions are found by an air traffic controller in the case of the покрового diminishing of critical time.

Keywords: engine failure, system of support of making decision, flight, method of expert estimations, stochastic network chart.