

*Т.Ф. Шмельова, д.т.н., професор
(Національний авіаційний університет, Україна)*

*Ю.В. Сікірда, к.т.н., професор
(Льотна академія Національного авіаційного університету, Україна)*

Багатоетапне моделювання сумісного прийняття рішень авіаційними фахівцями в аварійній ситуації

Авторами запропоновано метод багатоетапного сумісного прийняття рішень авіаційними фахівцями в аварійній ситуації на основі моделі динамічного програмування, який передбачає поступове залучення додаткових авіаційних спеціалістів. У роботі наведено дерево рішень, мережеві графіки та матриці рішень для прикладу взаємодії пілота, диспетчера управління повітряним рухом та фахівця з пошуку та рятування.

Постановка проблеми. Відповідно до концепції сумісного прийняття рішень (collaborative decision making – CDM) [1; 2], ефективна взаємодія авіаційних фахівців є необхідною умовою для забезпечення безпеки на всіх етапах польоту повітряного судна, як у нормальних умовах польоту так і у разі виникнення аварійної ситуації (АС). Авіаційні фахівці мають суворо дотримуватися нормативних документів, які регулюють їх професійну підготовку та діяльність. При цьому зміст цих документів часто відрізняється, що унеможливує вироблення єдиного алгоритму спільних дій, особливо в АС. Відповідно, між рішеннями та діями учасників CDM виникають неузгодженості (конфлікти).

В роботах авторів [3–6] покладено початок дослідженням в напрямках моделювання, оптимізації, інтелектуалізації та навчання CDM командами авіаційних фахівців (пілот – диспетчер управління повітряним рухом (УПР), оператор безпілотного літального апарату (БПЛА) – диспетчер УПР, оператор БПЛА – льотний диспетчер, оператор БПЛА – диспетчер УПР – інженер, оператор БПЛА – диспетчер УПР – пілот, оператор БПЛА – диспетчер УПР – телемедичний персонал, пілот – диспетчер УПР – фахівець з пошуку та рятування (ФПР) тощо) у різних АС.

Проте міжпрофесійна взаємодія авіаційних спеціалістів в АС на сьогодні недостатньо розвинена для спільної розробки та прийняття оптимальних рішень. Тому розробка ефективних CDM-моделей авіаційними фахівцями в АС є актуальною проблемою.

Метою публікації є багатоетапне CDM-моделювання на основі детермінованих, стохастичних та нестохастичних моделей в умовах визначеності, ризику та невизначеності.

Основна частина. Пропонується метод багатоетапного CDM авіаційними фахівцями в АС на основі моделі динамічного програмування. На першому етапі у прийнятті рішень бере участь тільки пілот, на другому етапі –

приєднується диспетчер УПР, на третьому етапі – долучається ФПР (далі можуть бути задіяні інші спеціалісти: льотний диспетчер при зміні плану польоту, інженер при технічних несправностях повітряного судна, хендлінгові агенти при затримці прибуття повітряного судна тощо), і як результат – отримуємо оптимальне спільне рішення для всіх авіаційних фахівців.

Динамічне програмування ґрунтується на принципі оптимальності (принципі Беллмана) [7]: альтернативу на k -му кроці прийняття рішення потрібно вибирати так, щоб потенційний ризик/збиток R/Q на цьому кроці плюс потенційний ризик/збиток R/Q на всіх наступних кроках були найменші у порівнянні з усіма іншими можливими альтернативами a_k . При цьому пошук оптимальної стратегії прийняття рішення здійснюється з кінцевого, бажаного результату [8].

Структура методу багатоетапного CDM авіаційними фахівцями на основі моделі динамічного програмування включає наступні кроки:

1. Розділення процесу CDM на k -ті етапи з визначенням часом розвитку польотної ситуації $T = \{T_1, T_2, \dots, T_k, \dots, T_K\}$, $k = \overline{1, K}$ відповідно до технологій роботи авіаційних фахівців, які задіяні на кожній стадії прийняття рішення.

2. Визначення множини альтернативних дій авіаційних фахівців $A = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_m\}$, $i = \overline{1, m}$ на кожному k -му етапі прийняття рішення.

3. Визначення множини наслідків (результатів) прийняття рішення авіаційними фахівцями $U = \{u_{11}, u_{12}, \dots, u_{ij}, \dots, u_{mn}\}$ з ймовірностями виникнення $P = \{p_{11}, p_{12}, \dots, p_{ij}, \dots, p_{mn}\}$ в залежності від впливу факторів зовнішнього середовища $F = \{f_1, f_2, \dots, f_j, \dots, f_n\}$, $i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$.

4. Визначення оптимальної альтернативи на кожному k -му етапі CDM за критерієм мінімізації потенційного ризику/збитку (1):

$$a_k^{opt} = \min\{R/Q_k\}. \quad (1)$$

5. Запис рекуррентної формули динамічного програмування, за якою здійснюється визначення потенційного ризику/збитку R/Q на кожному k -му кроці, та вибір оптимального рішення (2):

$$F(R/Q_i^{k-1}) = \min[f^k(R/Q_i^{k-1}, a_k) + F(R/Q_i^k)], \quad (2)$$

де $a_k \in A_k$ – вибір оптимальної альтернативи з мінімальним значенням потенційного ризику/збитку R/Q на кожному k -му кроці здійснюється шляхом перебору альтернатив a_k з безлічі доступних на даному етапі A_k .

На рис. 1 представлено дерево рішень (стохастична модель в умовах ризику) при розвитку АС, на рис. 2 – мережеві графіки (детермінована модель в умовах визначеності) та матриці рішень (нестохастична модель в умовах невизначеності) для прикладу CDM пілотом, диспетчером УПР та ФПР при виникненні АС на основі багатоетапного процесу прийняття рішень.

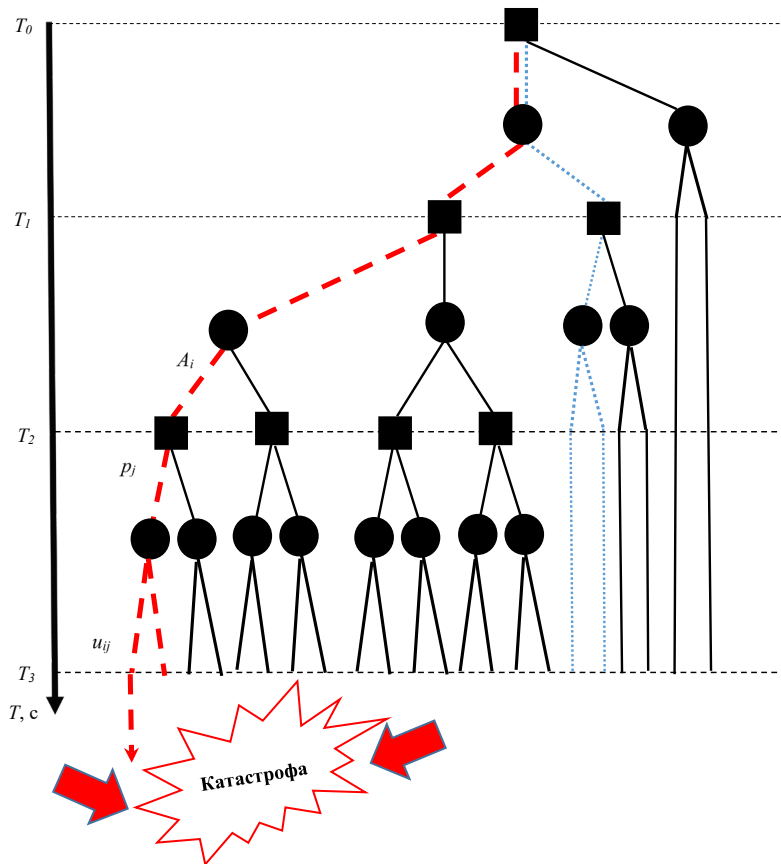


Рис. 1. Дерево рішень при розвитку ОВП: A_i – альтернативні рішення на k -му кроці прийняття рішення; u_{ij} – очікувані результати; p_j – ймовірності очікуваних результатів; T – час прийняття рішення авіаційними фахівцями;

$$R_i = \sum_{j=1}^n p_j u_{ij} - \text{ризик при виборі } i\text{-го альтернативного рішення на } k\text{-му кроці прийняття рішення}$$

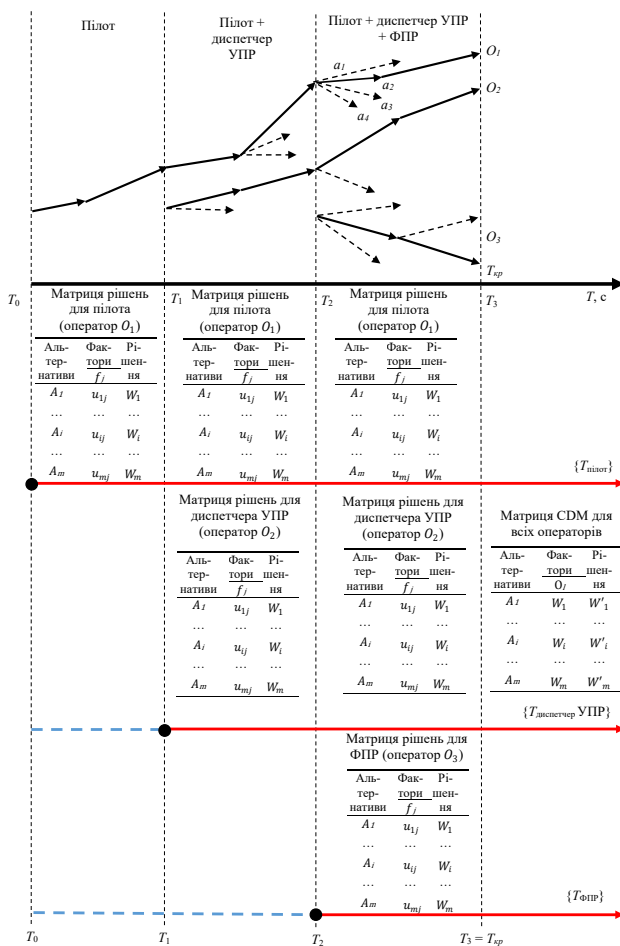


Рис. 2. Мережеві графіки та матриці рішень для CDM авіаційними фахівцями в АС на основі багатоетапного процесу прийняття рішень: O_1 – пілот; O_2 – диспетчер УПР; O_3 – ФПР; A_i – альтернативні рішення на k -му кроці прийняття рішення; f_j – фактори, що впливають на прийняття рішень в АС; u_{ij} – очікувані результати; W_i – оптимальні рішення на основі критеріїв Вальда, Лапласа, Гурвіца та Севіджа; T – час прийняття рішення авіаційними фахівцями; $T_{кр}$ – критичний час прийняття рішення авіаційними фахівцями

У публікації [6] розглянуто навчальний приклад багатоетапного CDM пілотом, диспетчером УПР та ФПР в АС «Втрата тяги на обох двигунах внаслідок потрапляння у хмару вулканічного попелу з подальшим приводненням».

Висновки. Метод багатоетапного CDM авіаційними фахівцями в АС на основі моделі динамічного програмування з поступовим залученням додаткових авіаційних спеціалістів дозволяє отримати підсумкове оптимальне спільне рішення для всіх залучених фахівців з урахуванням оптимальних результатів, отриманих на попередніх кроках.

Інтеграція нестохастичних, стохастичних та детермінованих CDM-моделей дозволяє перейти від складного до простого процесу CDM шляхом встановлення однозначності та синхронізації спільних дій авіаційних фахівців у ключових точках мультиальтернативної взаємодії в умовах повної або неповної невизначеності та мінімізації потенційного ризику/збитків.

Спрощені детерміновані CDM-моделі в АС після інтеграції в них стохастичних і нестохастичних моделей в умовах невизначеності можуть використовуватись у системах штучного або гібридного інтелекту для отримання оптимальних спільних рішень.

Список літератури

1. Manual on Collaborative Air Traffic Flow Management (ATFM). Doc. 9971. 3rd ed. Canada, Montreal: International Civil Aviation Organization, 2018. 228 p.

2. Airport-Collaborative Decision Making: IATA Recommendations. Canada, Montreal: International Air Transport Association, 2018. 20 p.

3. Socio-technical decision support in Air Navigation Systems: Emerging research and opportunities: manuscript / T. Shmelova, Yu. Sikirda, N. Rizun, A.-B. M. Salem, Yu. Kovalyov. USA, Hershey: IGI Global, 2018. 305 p. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-3108-1>.

4. Shmelova T., Sikirda Yu., Yatsko M., Kasatkin M. Collective models of the aviation human-operators in emergency for Intelligent Decision Support System. *CEUR Workshop Proceedings*. 2022. Vol. 3156. P. 160–174.

5. Shmelova T., Yatsko M., Sikirda Yu. Collaborative-factor models of decision making by operators of the Air Navigation System in conflict or emergency situations. *Communications in Computer and Information Science (CCIS)*. 2022. Vol. 1635. P. 391–409. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14841-5_26.

6. Shmelova T., Sikirda Yu., Yatsko M., Stratonov V. Integration of deterministic, stochastic, and non-stochastic models to obtain an optimal collaborative decision in the flight emergency. *Lecture Notes in Networks and Systems (LNNS)*. Vol. 992. 2024. P. 205–223. https://doi.org/10.1007/978-3-031-60196-5_17.

7. Дзюбан І.Ю., Жиров О.Л., Охріменко О.Г. Методи дослідження операцій. Київ: ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2005. 108 с.

8. Глущик М.М., Копич І.М., Пенцак О.С. Математичне програмування. Львів: Новий Світ-2000, 2019. 220 с.