І.П. Мажара, О.І. Тимочко

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ФОРМУВАННЯ ПОТОКІВ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН У ЗОНІ ПОСАДКИ НА ОСНОВІ ГІБРИДНОЇ НЕЧІТКОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Використання засобів імітаційного моделювання забезпечують осіб групи керівництва польотами можливістю правильно оцінити обстановку і приймати рішення в умовах невизначеності, допоможуть скоротити час налаштування інформаційної системи управління під нові або специфічні завдання, а також знайти, візуалізувати і зафіксувати в готовому вигляді варіанти реалізації інформаційної системи управління, кожен з яких може бути обраний при переході на наступну сходинку моделювання. Кінцева мета моделювання – ухвалення рішення, яке повинно бути вироблено на основі всебічного аналізу результатів моделювання.

Ключові слова: інформаційна система, група керівництва польотами, повітряне судно, аеродром.

Вступ

Постановка проблеми. Для забезпечення безпеки, регулярності й ефективності польотів авіації екіпаж будь-якого типу повітряного судна (ПС) від легкого штурмовика до важкого транспортного літака повинен мати можливість отримати різноманітну інформацію, яка може знадобитися під час виконання польотів, і прийняти обґрунтоване рішення на виліт. Екіпаж ПС повинен бути ознайомлений із правилами і процедурами всіх держав, над якими виконується політ, і жоден політ не повинен виконуватися доти, поки не буде повної впевненості у тому, що необхідні для польоту засоби й обслуговування перебувають у робочому стані.

Однак аналіз безпеки польотів показав, що причиною багатьох авіаційних подій стала незадовільна передпольотна підготовка екіпажів, а також переоцінка професійних можливостей командиром ПС у сукупності з недооцінкою активного впливу зовнішнього середовища при граничних метеорологічних умовах у процесі прийняття рішення на виконання польотів [1–5].

Часто екіпаж у дуже стислий термін повинен отримати інформацію про будь-яку зміну щодо функціонування засобів або служб, що забезпечують посадку ПС на аеродромі. Незважаючи на те, що проведення консультацій, забезпечення інформацією і надання допомоги екіпажу ПС, необхідні для підготовки до посадки, часто потрібно забезпечити його інформацією вже під час виконання польоту для безпечного його завершення.

Щоденне надходження великого обсягу різної за своєю структурою інформації, яку необхідно швидко обробити і вчасно надати користувачам, викликає необхідність оперативної роботи осіб гру-

пи керівництва польотами (ГКрП). Але оскільки повноважні органи аеронавігаційної інформації і метеорології розрізняються за своїм характером і складом, то у більшості випадків порядок отримання передпольотної інформації пов'язаний з великими витратами праці й часто не забезпечує отримання своєчасної вибіркової інформації, що стосується конкретного польоту [6–7].

Крім того, у сучасних умовах критично важливого значення набуває вміння осіб ГКрП оцінити вхідну інформацію і правильно на неї відреагувати, тому інформацію важливо підготувати і надати таким чином, щоб полегшити її сприйняття.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одними з основних факторів, які впливають на завершення польоту, що сталися внаслідок людських помилок [8] є відсутність “операційного розуміння ситуації”. “Операційне розуміння ситуації” є життєво важливим елементом діяльності у тих випадках, коли велика інтенсивність інформаційного потоку і неправильне рішення може призвести до тяжких наслідків. Моделі поведінкової діяльності людини-оператора (Л-О) М. Ендслі “Situational Awareness” (“операційне розуміння ситуації”) та групи людей “Team Situational Awareness”, “SHELL-Team” [8–9] вводять це поняття та визначають можливості Л-О ефективно діяти в критичних ситуаціях для відносно простих ергатичних систем.

Моделі американського військового полковника Дж. Бойда OODA (Observe – спостерігати, Orient – орієнтуватися, Decide – вирішувати, Act – діяти) [10–12] є спрощеною моделлю людської діяльності в умовах збройної боротьби. В моделі фактично має місце розвиток ситуації по спіралі, взаємодія із зовнішнім середовищем на кожному витку спіралі та відповідний вплив на супротивника. Але в циклі немає на-

слідуювання досвіду, що є найважливішим елементом систем підтримки прийняття рішень. У моделі прийняття рішення в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації ПС розглянутий неповний перелік факторів, що впливають на прийняття рішення, недостатнє дослідження їх синергії та порогового ефекту.

Мета статті – розробка моделі оцінки формування потоку літаків (ФПЛ) у зоні посадки на основі гібридної нечіткої нейронної мережі.

Виклад основного матеріалу

Розробка моделі оцінки формування потоку літаків у зоні посадки здійснюється на основі комплексної математичної моделі прогнозування варіантів ФПЛ. Під комплексною математичною моделлю прогнозування варіантів ФПЛ розуміється система математичних залежностей і логічних правил, що дозволяє з достатньою повнотою і в певному взаємозв'язку описати процеси, властиві процесу прогнозування, і визначити вихідні величини за відомими вхідними даними [13–14].

За показники можливостей ФПЛ визначимо можливість звільнення злітно-посадкової смуги ПС, яке виконує зліт, до моменту приземлення ПС, яке виконує посадку. Час польоту ПС до l -го аеродрому посадки визначається за формулою:

$$t_{nol} = \frac{S_{aep}}{V}, \quad (1)$$

де S_{aep} – відстань від ПС до l -го аеродрому, $l = \overline{1, s}$;

V – швидкість польоту ПС.

Відстань до аеродрому визначається за формулою:

$$S_{aep} = \sqrt{|x_{aep} - x_{PCo}|^2 + |y_{aep} - y_{PCo}|^2}, \quad (2)$$

де $(x_{aep}; y_{aep})$ – координати l -го аеродрому, $l = \overline{1, s}$;

$(x_{PCo}; y_{PCo})$ – координати ПС з урахуванням величини затримки S_{zatr} .

У режимі планування для розрахунків беруть істинну швидкість польоту в горизонті номінальну V_{nol} у режимі екстреного зниження швидкість ПС становить:

$$V = \frac{V_1 + V_2 + V_{noc}}{3}, \quad (3)$$

де V_1 – істинна швидкість зниження з ешелону польоту до мінімальної безпечної висоти (близько 600 м);

V_2 – істинна швидкість зниження з мінімальної безпечної висоти до висоти 400 м;

V_{noc} – посадкова швидкість ПС.

Оскільки час польоту ПС t_{nol} залежить від випадкових вхідних величин $(V_1, V_2, V_{noc}, V_{nol})$ його визначають за допомогою статистичного моделювання (рис. 1). Необхідну інформацію для визначення можливості звільнення злітно-посадкову смугу (ЗПС) збирають згідно з даними табл. 1.

Таблиця 1

Параметри, які збираються для визначення можливості звільнення ЗПС

Бази даних	Параметри
Тактико-технічні характеристики ПС	$V_1, V_2, V_{noc}, V_{nol}$
Планова інформація про ПС	T_{PC}
Моніторингова інформація про ПС	$(x_{PCo}; y_{PCo})$
Характеристика аеродромів	$(x_{aep}; y_{aep})$
Технічна інформація про аеродроми	$k_{зан}$

Джерело: розроблено авторами за даними [16].

Якщо необхідно враховувати вплив вітру на політ ПС, замість істинної швидкості V для розрахунків використовують шляхову швидкість W . Час польоту ПС t_{nol} до l -го аеродрому порівнюється з часом, потрібним для звільнення наявної на цьому аеродромі ЗПС t_{zel} і в разі виконання умови $t_{zel} < t_{nol} \pm \hat{\sigma}_t$ ЗПС вважається відкритою для посадки ПС [15–16]. Далі розраховується узагальнений розмір місця посадки – ЗПС для даної групи важливості. Якщо ЗПС задається лінійними розмірами, то узагальнений розмір визначається відповідно до наступного виразу:

$$L_{ЗПС} = \sqrt{L_1 \cdot L_2}, \quad (4)$$

де L_1 – ширина ЗПС;

L_2 – довжина ЗПС.

Якщо розмір ЗПС задається радіусом, то узагальнений розмір визначається відповідно до наступного виразу:

$$L_{ЗПС} = \sqrt{\pi} \cdot R_{ЗПС}, \quad (5)$$

де $R_{ЗПС}$ – радіус ЗПС.

Для кожного ПС визначаються ступені завершення польоту на аеродромі посадки. Для розмірного об'єкта ступінь завершення польоту характеризується математичним очікуванням величини відносного збитку при посадці у складній обстановці [17–18]:

$$\bar{L}_o = \frac{L_o}{E_j}; \quad \bar{L}_{oj} = \frac{R_{1o} \sqrt{\pi} \cdot \sqrt{G_i}}{E_j}, \quad (7)$$

де $\rho = 0,477$;

Рис. 1. Алгоритм формування потоку літаків у зоні посадки

Джерело: [19, С. 38].

$$M_{3\delta(oj)} = \frac{1}{L_o^2} \left\{ \left[\frac{\bar{L}_o + \bar{L}_{oj}}{2} \frac{\hat{\Phi}\left(\frac{\bar{L}_o + \bar{L}_{oj}}{2}\right)}{\left|\frac{\bar{L}_o - \bar{L}_{oj}}{2}\right|} - \hat{\Phi}\left(\left|\frac{\bar{L}_o - \bar{L}_{oj}}{2}\right|\right) \right] \times \frac{1}{\rho\sqrt{\pi}} \left[e^{-\rho^2\left(\frac{\bar{L}_o - \bar{L}_{oj}}{2}\right)^2} - e^{-\rho^2\left(\frac{\bar{L}_o + \bar{L}_{oj}}{2}\right)^2} \right] \right\} w_{1(o)}; \quad (6)$$

$\hat{\Phi}(\bar{L})$ – зведена функція Лапласа;
 E_o – імовірнісне відхилення ПС відносно точки приземлення;

R_{1o} – область досяжності;
 G_i – залишок палива i -го ПС;
 $w_{1(o)}$ – імовірність посадки o -го ПС.
 Вважають, що імовірність посадки ПС: тактич-

ної авіації – від 0,3 до 0,5; транспортної авіації – від 0,6 до 0,8.

За результатами розрахунків ступенів завершення польоту на аеродромі посадки визначається найбільш ефективна схема заходу на посадку за максимальним значенням ступеня посадки серед усіх схем заходу заданої групи важливості (автоматичний):

$$\max M_{noc(oj)} \left(\max W_{n(oj)} \right). \quad (8)$$

Для відповідного ПС обирається схема заходу на посадку, яка забезпечує йому максимальну ефективність заходу на посадку. Подальші дії проводяться по даному ПС до його посадки. Спочатку визначається величина прирощення ступеня посадки:

$$\Delta M_{noc(oj)}^t = M_{noc(oj)}^t \left(1 - M_{noc(oj)}^{t-1} \right); \quad (9)$$

$$M_{noc(oj)}^t = M_{noc(oj)}^{t-1} + \Delta M_{noc(oj)}^t, \quad (10)$$

де $M_{noc(oj)}^t$ – величина максимальної ефективності заходу на посадку o -го ПС на j -му аеродромі на t -му кроці розподілення схем заходу;

$M_{noc(oj)}^{t-1}$ – величина максимальної ефективності заходу на посадку o -го ПС на j -му аеродромі на $(t-1)$ -му кроці розподілення схем заходу.

Факт посадки ПС визначається, виходячи з умови:

$$M_{noc(oj)}^t \geq M_{зад(o)}. \quad (11)$$

Якщо умова (11) виконується, то ПС виключається з розгляду (ПС присвоюється ознака Посадка), та знову визначається найбільш ефективна схема

заходу на посадку відповідно до виразу (11) та в подальшому виконуються розрахунки відповідно до виразів (4–11).

Якщо умова (11) не виконується, то виконується перевірка можливості посадки на поточному аеродромі. Якщо посадка можлива, то визначається величина прирощення ступеня посадки відповідно до виразу (9) з подальшою перевіркою умови (10). Якщо посадка не можлива, то аеродром виключається з розгляду, та для посадки на інших аеродромах визначається найбільш ефективна схема заходу відповідно до виразу (11) та в подальшому виконуються розрахунки відповідно до виразів (8–11) [19–20].

У разі розподілення всіх ПС заданої групи важливості виконується перехід до розгляду іншої групи. Якщо розподілені всі ПС всіх груп важливості або всі схеми заходу на заданих аеродромах, процес розподілення ПС закінчується.

Висновки

Розроблена модель дозволяє при використанні засобів імітаційного моделювання забезпечити осіб ГКрП можливістю правильно оцінити обстановку і приймати рішення в умовах невизначеності, допоможуть скоротити час налаштування інформаційної системи управління під нові або специфічні завдання, а також знайти, візуалізувати і зафіксувати в готовому вигляді варіанти реалізації інформаційної системи управління, кожен з яких може бути обраний при переході на наступну сходинку моделювання. Кінцева мета моделювання – ухвалення рішення, яке повинно бути вироблено на основі всебічного аналізу результатів моделювання.

Список літератури

1. The official site NTSB.GOV. Aviation Accident Statistics: National Transportation Safety Board [Electronic resource]. – Available at: <https://www.nts.gov/aviation/aviation.htm>.
2. ASN Aviation Safety Database: Flight Safety Foundation [Electronic resource]. – Available at: <https://aviation-safety.net>.
3. EASA / European Aviation Safety Agency [Electronic resource]. – Available at: <https://easa.europa.eu>.
4. Марченко Р. “Bird strike” и компенсация убытков – практические аспекты [Електронний ресурс] / Р. Марченко // Крылья: все об украинской авиации. – Режим доступа: <https://www.wing.com.ua/content/view/4059/52/>.
5. Офіційний сайт AVIA.GOV. Аналіз рівня безпеки польотів та виявлення потенційних факторів аварійності з цивільними повітряними суднами України у 1 півріччі 2020 року. – Режим доступу: avia.gov.ua/uploads/documents/7555.doc.
6. Лебедев С. Flight dispatch – реальная необходимость / С. Лебедев // Новости аэронавигации. – 2004. – № 4. – С. 16-19.
7. Лебедев С.Б. Основы теоретической подготовки диспетчеров по обеспечению полетов / С.Б. Лебедев. – К.: МАУ, 2005. – 796 с.
8. Endsley M.R. Designing for Situation Awareness: an Approach to User-Centered Design / M.R. Endsley, B. Bolte, D.G. Jones. – London: Taylor & Francis, 2003. – 112 p.
9. Cross-Cultural Factors in Aviation Safety [Electronic resource]. – Montreal: ICAO, 2004. – 52 p. – Available at: https://www.ukfsc.co.uk/files/SMS%20Material/SARPS%20Guidance%20Material%20Oct%202008/Cir302_Cultural%20Issues%20%20Safety.pdf.
10. Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge PAA-H-8083-25. Chapter 17: Aeronautical Decision Making [Electronic resource]. – USA.: FAA, Department of Transportation, 2008. – P. 17.1–17.32. – Available at:

https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/phak/media/pilot_handbook.pdf.

11. Sensitivity Analyses in Multy-Attribute Decision Support for Off-Site Nuclear Emergency and Recovery Management / V. Bertsch, M. Treitz, J. Geldermann, O. Rentz // International Journal of Energy Sector Management. – 2007. – № 1(4). – P. 342-365.

12. Boyd J.R. Organic Design for Command and Control / J.R. Boyd. – USA, Atlanta, Georgia, 2005. – 40 p. – Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/6ca9/63358751c859d7b68736aca1aa9d1a8d4e53.pdf>.

13. Корольюк Н.О. Процедура формалізації даних, які використовуються при описі процесу управління рухом повітряних об'єктів / Н.О. Корольюк, Р.В. Корольов, О.А. Коршець // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2017. – № 4. – С. 103-106.

14. Тимочко О.І. Метод оцінки ступеня небезпеки нештатних ситуацій у повітряному просторі / О.І. Тимочко, П.П. Зуєв // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 1(26). – С. 49-53.

15. Тимочко А.И. Моделирование деятельности лица, принимающего решения, в системах сетевого управления / А.И. Тимочко, М.А. Павленко, В.Н. Руденко // Радиотехника. – 2007. – № 151. – С. 85-91.

16. Павленко М.А. Моделирование деятельности оператора с использованием CASE-технологий при разработке перспективных средств автоматизации / М.А. Павленко // Системи обробки інформації. – 2009. – № 6(80). – С. 89-92.

17. Олизаренко С.А. Метод формализации задачи распознавания направлений ударов СВН противника на основе нечеткой классификации / С.А. Олизаренко, А.В. Перепелица, В.А. Капранов // Системи обробки інформації. – 2012. – № 2(100). – С. 70-80.

18. Олизаренко С.А. Метод формализации задачи определения направлений ударов СВН противника на основе автоматической нечеткой классификации / С.А. Олизаренко, А.В. Перепелица, В.А. Капранов // Системи озброєння та військова техніка. – 2011. – № 3(27). – С. 48-55.

19. Борозенец И.А. Метод формирования информационной модели воздушной обстановки / И.А. Борозенец // Вісник Міжнародного слов'янського університету “Технічні науки”. – 2002. – № 7(5). – С. 9-12.

20. Мухаметзянов И.З. Нечеткий логический вывод и нечеткий метод анализа иерархий в системах поддержки принятия решений: приложение к оценке надежности технических систем / И.З. Мухаметзянов // Кибернетика и программирование. – 2017. – № 2. – С. 59-77.

Надійшла до редколегії 04.03.2021

Схвалена до друку 13.04.2021

Відомості про авторів:

Мажара Ігор Петрович

старший викладач
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7986-4992>

Тимочко Олександр Іванович

доктор технічних наук професор
професор кафедри
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4154-7876>

Information about the authors:

Igor Mazhara

Senior Instructor
of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7986-4992>

Oleksandr Tymochko

Doctor of Technical Science Professor
Professor of Department
of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4154-7876>

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОТОКОВ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В ЗОНЕ ПОСАДКИ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ НЕЧЕТКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

И.П. Мажара, А.И. Тимочко,

Использование средств имитационного моделирования обеспечивает лиц группы руководства полетами возможностью правильно оценить обстановку и принимать решения в условиях неопределенности. Помогут сократить время настройки информационной системы управления под новые или специфические задачи, а также установить, визуализировать и зафиксировать в готовом виде варианты реализации информационной системы управления, каждый из которых может быть выбран при переходе на следующую ступень моделирования. Конечная цель моделирования – принятие решения, которое должно быть произведено на основе всестороннего анализа результатов моделирования.

Ключевые слова: информационная система, группа руководства полетами, воздушное судно, аэродром.

MODEL FOR EVALUATION OF AIRCRAFT FLOW FORMATION IN THE LANDING ZONE BASED ON HYBRID FUZZY NEURAL NETWORK

I. Mazhara, O. Tymochko

In order to maintain the appropriate level of professional training of flight crew members, it is necessary to focus on the provision of modern weapons and military equipment, which will support and consolidate the acquired knowledge, acquire skills

and abilities in crew management in complex dynamic navigation and special situations. The purpose of the article is to develop an information system for air traffic control in terms of operator activities of persons in the flight management group. In the theory of operator activity, the position of members of the flight management group was absolute, and the pilot as an active part of the management system was generally excluded from consideration. However, the socio – psychological aspect in the activities of persons in the flight control group, determines the subordination of the actions of persons in the flight management group of the pilot. If previously we tried to answer the question of how flight crew members should act to ensure the safety and orderliness of air traffic, now what should be the flight management to ensure the effective operation of the pilot. The safety margin of the pilot as a control object can have a decisive influence on the functioning of the flight management system as a whole. It is determined, on the one hand, by the pilot's training, and on the other – by the degree of complexity of the tasks and the conditions of their implementation. Based on this, in the most difficult situation are often individuals of flight management groups in flight schools, where against the background of very intensive operator activities is the management of novice pilots. In the process of interviewing air traffic controllers, significant factors were identified that most influence their activities. Flight managers were then asked to rank these factors according to their importance. The most significant for the flight management were such factors as unclear reports of the pilot in an emergency situation, the need to provide assistance to crews for a limited time, a sudden deterioration of the weather. This is largely due to the characteristics of the pilots. For example, in third place is the factor of sudden deterioration of the weather. It is important for the flight management team. Since the conditions of flight have changed dramatically and, accordingly, the self-government of pilots requires the adoption of decisions by the flight management team, taking into account the actual readiness of the flight crew and its safety margin. The increased significance of the factors is due to the difficulties of interaction between flight crew members and pilots in non-standard situations. Thus, the transition from classical models of management theory to logical – linguistic models is necessary. They use logical processing tools to convert data presented in linguistic form. The logical – linguistic approach implies the use of the concepts of fuzzy set, linguistic variable, distribution of powers, fuzzy evidence to describe and form the elements of the system in the process of building the model.

Keywords: information system, flight control team, aircraft, aerodrome.