Ю.Б. Ситник

Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький

ПІДХІД ЩОДО ПОБУДОВИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ ПОЛЬОТУ АВІАЦІЇ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

У статті проведений аналіз щодо організації системи безпеки польотів (БП), що базується на двох контурах управління БП (управління та забезпечення БП). Встановлено, що рішення задач по управлінню та забезпеченню БП на сьогоднішній день базується в основному на математичному апараті, який побудований на імовірнісних, статистичних методах. Дані методи не дозволяють урахувати неповноту, невизначеність, неточність відомостей. Для задач, які не піддаються строгой формалізації і мають логіко-аналітичний характер, у тому числі виробці рекомендацій з управління БП, запропоновано використовувати нечітку логіку як засіб моделювання невизначеності природної мови. Обґрунтовано автоматизацію рішення задач управління БП здійснити впровадженням нових технологій в систему управління БП. Обраний когнітивний метод формалізації задачі управління БП та модель подання знань, яка заснована на нечітких множинах і нечіткій логіці. Запропоновано формалізацію знань про процес управління БП здійснити шляхом використання трикутних нечітких чисел і трапецієподібних нечітких інтервалів, доцільність використання яких обумовлюється простотою виконання операцій над ними, можливістю їх наочної графічної інтерпретації. В якості базової моделі представлення знань про процес управління БП в умовах невизначеності визначені інтервальні нечіткі множини типу 2 і засновані на них нечіткі логічні системи інтервального типу. Тип алгоритму нечіткого виводу, що використовується в нечіткій логічній системі, визначається структурою нечітких продукційних правил, процедурою фазифікації, агрегування, активізації, акумулювання і дефазифікації. Розроблений новий підхід побудови системи управління БП з використанням нових інформаційних технологій, який забезпечує запобігання авіаційних подій при організації конкретного польоту повітряного судна.

Ключові слова: безпека польотів, система управління безпекою польотів, інтервальні нечіткі множини типу 2, особа, що приймає рішення, нечітка логічна система, трикутні нечіткі числа, трапецієподібні нечіткі інтервали, знання, формалізація знань.

Вступ

Постановка проблеми. Історичний аналіз свідчить, що авіаційні події зазвичай відбуваються в результаті впливу факторів, пов'язаних з багатьма аспектами функціонування авіаційної системи (АС). Теоретичний підхід, що сьогодні використовується в системі безпеки польотів (БП) цивільної та військової авіації, був запропонований у середині минулого століття, і можливості теорії себе практично вичерпали. Система БП авіації захищає АС від впливу небезпечних чинників, що дозволяє забезпечити її безаварійне функціонування, виконання всіх польотів без авіаційних подій [1–4].

До останнього часу була відсутня вертикаль відповідальності за стан БП, що істотно позначалося на ефективності профілактичних заходів, в основі яких лежить робота щодо усунення причин виникнення авіаційних інцидентів. Як зазначено в [2–4], головна мета функціонування системи БП досягається вирішенням ряду завдань щодо забезпечення БП на землі, які реалізується, як правило, на тактичному рівні функціонування АС в контурі управління забезпеченням БП, та управління БП у повітрі, які

вирішуються в процесі функціонування відповідної системи управління БП.

Процес управління безпекою конкретного польоту у Збройних Силах України здійснюється через льотчика за рахунок вдосконалення його підготовки щодо дій в особливих ситуаціях і обмежень при виконанні польотного завдання. В якості керуючого впливу виступають нормативно-правові документи. Такий підхід дозволяє істотно підвищити рівень БП та домогтися зниження аварійності авіації в Україні.

Аналіз показав, що рішення задач з управління та забезпечення БП на сьогоднішній день базується в основному на математичному апараті, який побудований на імовірнісних, статистичних методах [4–11]. Так, для здійснення оптимізації при рішенні завдань штурманського забезпечення при повній визначеності та вірогідності вихідної інформації в існуючих автоматизованих системах управління широко використовуються методи теорії ймовірностей, випадкових функцій, методи математичного програмування. Дані методи не дозволяють урахувати неповноту, невизначеність, неточність відомостей про метеоумови, обстановку за маршрутом

польоту, на аеродромах, помилки навігаційних вимірів, дотримання режиму польоту в умовах жорсткого ліміту часу. Для задач, які не піддаються строгій формалізації і мають логіко-аналітичний характер, у тому числі виробці рекомендацій з управління БП, використовується нечітка логіка як засіб моделювання невизначеності природної мови [10–14]. Штучне введення однозначності означає огрубіння вихідних даних, що сприяє одержанню нехай чіткого, але невірному результату. Таким чином, доцільно при розв'язанні задач з управління БП повітряних об'єктів військового призначення, цивільної авіації враховувати інтуїцію, досвід, накопичені знання фахівців з управління повітряним рухом, що можливо завдяки використанню в теорії управління моделей і методів штучного інтелекту та інженерії знань.

Система управління БП з використанням нових інформаційних технологій буде залучатися до організації повітряного руху тільки при виникненні екстрених ситуацій. Велика роль в управлінні польотами буде віддана машинам – комп'ютерам повітряних суден і наземним автоматизованим системам. Вони візьмуть на себе функцію обміну інформацією, а особа, що приймає рішення (ОПР), буде поступово зникати з цього процесу та виконувати функцію швидше рекомендаційну або коригувальну. Однак роль людини все одно залишається головною, тому що саме вона приймає остаточне рішення [10]. Впровадження нових технологій в систему управління БП дозволять виключити ситуації з перевантаженням особового складу, ОПР, забезпечити найефективніше використання наявних ресурсів.

Тому розробка підходу щодо побудови системи управління безпекою польоту з використанням нових інформаційних технологій є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підвищення ефективності безпеки польотів є достатньо поширеною науковою проблематикою, яку розглядає ряд вітчизняних та зарубіжних науковців. У роботах [5–7] запропоновано управління ризиками здійснювати шляхом виявлення факторів, які загрожують безпеці польотів, їх аналізу, оцінювання величин і допустимості ризиків, пов'язаних з цими факторами, розроблення засобів зниження ризиків до допустимих рівнів, контролю залишкових ризиків в процесі експлуатації. У роботах [8–9] розглянуті процеси управління повітряним рухом та їх кількісні характеристики, які тісно пов'язані з факторами повітряного середовища, поділу повітряного простору, характеристиками операторів. Запропоновано для підвищення ефективності функціонування системи враховувати пропускну здатність самої системи.

Дослідження факторів, вхідних даних, що впливають на систему управління БП та організацію

польотів, показали, що вони мають якісні та кількісні характеристики [14–20], нечіткі (розмиті) границі, а для деяких елементів інтервалу не можна з повною впевненістю стверджувати належність цих елементів однозначно до інтервалу [15–16]. Представлені подібним чином дані формалізуються, як правило, з використанням математичного апарату нечітких множин [15–20], що обґрунтовує їх представлення у формі лінгвістичних змінних (ЛЗ). Лінгвістичні змінні є розповсюдженим способом опису складних систем, параметри яких розглядаються не з кількісних, а з якісних позицій, при цьому дають можливість поставити у відповідність якісним значенням деяку кількісну інтерпретацію із заданою часткою впевненості, та виражають знання експерта, що має певний досвід роботи по управлінню повітряним рухом. Особлива увага при цьому приділяється формуванню функцій приналежності нечітких множин, що є базовими термами даної ЛЗ.

Отже, як показав аналіз публікацій за темою дослідження, використання нових підходів щодо побудови системи управління безпекою польоту має важливість для науки і практики, залишається актуальною та потребує свого вирішення.

Мета статті. Розробка нового підходу щодо побудови системи управління безпекою польоту на основі нечітких множин в умовах невизначеності.

Виклад основного матеріалу

Особливість побудови системи управління БП полягає в необхідності вирішення завдань безпеки польотів в двох контурах: управління забезпеченням БП (на стратегічному, оперативному та тактичному рівні) та безпосередньо БП. При цьому головна функція системи автоматично здійснити корекцію параметрів при наблизенні контрольованих значень до кордонів “коридору” їх допустимих показників, а при відсутності системи автоматичного управління БП для льотчика сформувати керуючий вплив (вказівка) на компенсацію виникаючих відхилень параметрів.

Необхідно відзначити, що протягом тривалого часу класифікація причин авіаційних подій поділяла їх на людський фактор (70–80%), відмови авіаційної техніки (20–30%) і фактори зовнішнього середовища (10–15%) [1–4]. Відповідно до цього розподілу будувалася стратегія поліпшення показників БП. Такий підхід представляється надмірно загальним, що ускладнює визначення конкретних напрямів щодо запобігання авіаційних подій. В останні роки з'явився інший підхід, основна увага якого приділяється не чинникам, а категоріям авіаційних подій, що найбільш часто повторюються:

- події, пов'язані з втратою керованості в польоті;
- події, пов'язані із зіткненням справного по-

вітряного судна із землею;

- події в районі ВПП.

Аналіз показав, що в основі авіаційних подій лежить один загальний фактор, який можна сформулювати як недостатнє розуміння або повне нерозуміння екіпажем ситуації, яка склалася. Усвідомлення ситуації недостатньо для запобігання авіаційної події, важливо розуміти та знати, що саме робити. Отже, проведений аналіз особливостей функціонування системи управління БП дозволив краще сконцентруватися на проблемах безпеки польотів та сформулювати рекомендації:

- створення системи управління БП, основу якої складають підсистеми управління забезпеченням БП і управління безпекою конкретного польоту, вимагає застосування нових теоретичних підходів та досягнень в області інформаційних технологій;

- підвищення ефективності сформованої на сьогоднішній день системи забезпечення БП можливо за рахунок оптимізації організаційної складової систем;

- кардинальне поліпшення якості інформаційного забезпечення функціонування системи управління БП повинно скласти основу її модернізації;

- розвиток системи БП авіації України на сучасному етапі можливий тільки на основі системного підходу при проектуванні, виготовленні та льотної експлуатації повітряних суден.

Впровадження нових технологій в систему управління БП обґрунтовує автоматизацію рішення задач управління БП. В залежності від складності задач, може бути обрана одна з двох принципово відмінних груп методів їх формалізації: інформаційні або когнітивні методи (у рамках інтелектуальних інформаційних технологій) [13–25].

Інформаційні методи автоматизації відносно простоті при реалізації. Це досягається за рахунок того, що вироблення рішень покладено тільки на обчислювальні алгоритми спеціального математичного та програмного забезпечення.

Використання когнітивних методів автоматизації забезпечує такі можливості засобів автоматизації, завдяки яким рішення задач управління БП в цілому обмежується в основному технічними характеристиками обчислювальних засобів. Спеціальне математичне та програмне забезпечення системи управління БП відрізняється високим ступенем адаптивності до зовнішніх умов, здатністю до самонавчання, реалізації функцій самоорганізації складних систем, що дозволяє розширити коло автоматизовано розв'язуваних завдань при управлінні БП авіації. Функції ОПР у таких системах полягають у формалізації і використанні так званих експертних знань, а також у формулюванні директив і норм системи, що регламентують її поведінку [1–4; 9–10].

В основі когнітивних методів використовують-

ся відповідні моделі представлення знань. Модель представлення знань – це сукупність правил подання, опису та породження знань у базі знань (БЗ). Моделі представлення знань діляться на два типи: логічні та евристичні. Логічні моделі дозволяють представлення знання про завдання логіко-аналітичного, розрахункового і пошукового характеру. Однак ряд істотних недоліків (немає суворой процедури підбору аксіом для організації логічного виведення, не завжди є можливість отримання результату рішення; наявність невизначеності вихідної інформації не дозволяє організувати логічне виведення на формалізованих структурах знань) обмежують їх застосування для представлення процесу управління БП. Евристичні моделі (мережеві, фреймових і продукційні) мають більш різноманітний набір засобів, що передають специфічні особливості предметної області, але також не дозволяють враховувати невизначеність (нечіткість) вихідних даних.

Останнім часом більшого практичного застосування знаходять моделі представлення знань, засновані на нечітких множинах і нечіткій логіці [12–16]. Нечіткі множини і нечітка логіка використовуються для формалізації задач, які не підлягають суворій формалізації, вони мають логіко-аналітичний характер, а в якості вхідних або вихідних даних мають невизначені (нечіткі) дані [12–13]. У даний час, у рамках дослідження математичного апарату нечітких множин та нечіткої логіки, одним з найбільш актуальних є питання, пов'язані з вивченням різних узагальнень нечітких множин, які забезпечували б формалізацію більшої кількості додаткових ступенів невизначеності у порівнянні з класичними нечіткими множинами (нечіткими множинами типу 1 (НМТ1)). За останнє десятиліття подальший розвиток у даній області отримали, перш за все, нечіткі множини типу 2 (НМТ2) [13–15]. Однак, через обчислювальної складності НМТ2, званих також загальними НМТ2, на практиці використовуються інтервальні (ІНМТ2). При цьому, ІНМТ2, з одного боку, забезпечують формалізацію більшої кількості додаткових ступенів невизначеності, у порівнянні з НМТ1, з іншого боку, є “реалізованими” при розробці нечітких систем (моделей) і мають меншу обчислювальну складність, у порівнянні з загальними НМТ2 [14–15].

Виходячи з математичної постановки задачі, доцільно використовувати для представлення знань ІНМТ2, які забезпечують формалізацію більшої кількості додаткових ступенів невизначеності у порівнянні з нечіткими множинами типу 1 (НМТ1), мають меншу обчислювальну складність у порівнянні з загальними НМТ2. Для ІНМТ2 значення функції приналежності другого порядку незмінні, функція приналежності уніфікована (однорідна) на відміну від загальних НМТ2.

Пропонується для формалізації знань про процес управління БП використання трикутних нечітких чисел і трапецієподібних нечітких інтервалів, доцільність використання яких обумовлюється, поперше, простотою виконання операцій над ними, подруге, можливістю їх наочної графічної інтерпретації.

У загальному випадку нечітким інтервалом ІНМТ2 будемо називати ІНМТ2 $\tilde{A}_\Pi$ з випуклими верхньою і нижньою функціями приналежності, що обмежують площу невизначеності даного ІНМТ2, а нечітким числом ІНМТ2 будемо називати ІНМТ2 $\tilde{A}_\Delta$ з випуклими і унімодальними верхньою і нижньою функціями приналежності, що обмежують площу невизначеності даного ІНМТ2.

Особливістю представлення трикутного нечіткого числа (ТНЧ) або трапецієподібного нечіткого інтервалу (ТНІ) в термінах ІНМТ2 є те, що поперше, ліві і праві межі нечітких величин в термінах ІНМТ2 являють собою не точки, а інтервали невизначеності; по-друге, крайні значення інтервалів невизначеності є границями двох НМТ1, визначених верхньою функцією приналежності $\bar{\mu}_{\tilde{A}}$ і нижньою функцією приналежності $\underline{\mu}_{\tilde{A}}$, які обмежують займану площу невизначеності (FOU) ТНЧ ІНМТ2 або ТНІ ІНМТ2 зверху і знизу відповідно; по-третє, верхня $\bar{\mu}_{\tilde{A}}$, і нижня $\underline{\mu}_{\tilde{A}}$ функції приналежності визначають нормальні випуклі НМТ1 на непустому носії, причому в разі ТНЧ ІНМТ2 це будуть унімодальні нормальні випуклі НМТ1.

Таким чином, пропонується формально FOU ТНЧ ІНМТ2 $\tilde{A}_\Delta$ представляти у вигляді кортежу з параметрами

$$FOU(\tilde{A}_\Delta) = \langle \alpha_{\underline{\mu}}^-, \alpha_{\underline{\mu}}, a_{\underline{\mu}}^-, a_{\underline{\mu}}, \beta_{\underline{\mu}}^-, \beta_{\underline{\mu}} \rangle, \quad (1)$$

де $\alpha_{\underline{\mu}}^-$ – лівий коефіцієнт нечіткості $\bar{\mu}_{\tilde{A}_\Delta}$; $\alpha_{\underline{\mu}}$ – лівий коефіцієнт нечіткості $\underline{\mu}_{\tilde{A}_\Delta}$; $a_{\underline{\mu}}^-$ – центр (модальне значення) $\bar{\mu}_{\tilde{A}_\Delta}$; $a_{\underline{\mu}}$ – центр (модальне значення) $\underline{\mu}_{\tilde{A}_\Delta}$; $\beta_{\underline{\mu}}^-$ – правий коефіцієнт нечіткості $\bar{\mu}_{\tilde{A}_\Delta}$; $\beta_{\underline{\mu}}$ – правий коефіцієнт нечіткості $\underline{\mu}_{\tilde{A}_\Delta}$.

При цьому трикутна верхня функція приналежності $\bar{\mu}_{\tilde{A}_\Delta}$ $FOU(\tilde{A}_\Delta)$ породжує нормальне унімодальне випукле НМТ1 на непустому носії – відкритому інтервалі $[a_{\underline{\mu}}^- - \alpha_{\underline{\mu}}^-, a_{\underline{\mu}}^- + \beta_{\underline{\mu}}^-]$, а трикутна нижня функція приналежності $\underline{\mu}_{\tilde{A}_\Delta}$ $FOU(\tilde{A}_\Delta)$ породжує нормальне унімодальне випукле НМТ1 на непустому носії – відкритому інтервалі $[a_{\underline{\mu}} - \alpha_{\underline{\mu}}, a_{\underline{\mu}} + \beta_{\underline{\mu}}]$.

Таким чином, за базову модель представлення знань про процес управління БП в умовах невизначеності визначимо ІНМТ2 і засновані на них нечіткі логічні системи (НЛС) інтервального типу.

При обґрунтуванні вибору нечіткої логічної системи інтервального типу 2 для формалізації знань про процес управління БП необхідно здійснити:

– вибір типу нечітких множин, які використовуються в якості значень ЛЗ, що складають умови і висновки відповідних нечітких продукційних правил. Тип нечітких множин безпосередньо визначає і тип нечіткої логічної системи;

– вибір типу алгоритму нечіткого виведення, що використовується в НЛС.

Так як, згідно виразу (1), в якості значень ЛЗ зі складу умов і виведень відповідних нечітких продукційних правил (бази правил) використовуються ІНМТ2, то в якості нечіткої логічної системи будемо використовувати нечітку логічну систему інтервального типу 2 (НЛС ІТ2).

Тип алгоритму нечіткого виведення, що використовується в нечіткій логічній системі, визначається структурою нечітких продукційних правил (БП); процедурою фазифікації, агрегування, активізації, акумулювання і дефазифікації. Причому вибір реалізації навіть одного компонента часто визначає і вибір всіх інших компонентів і власне тип алгоритму нечіткого виведення [16].

Для нечіткої системи з входами $x_1 \in X_1, \dots, x_p \in X_p$ та одним виходом $y \in Y$, нечітке логічне виведення у загальному вигляді можливо представити

R^i : якщо

$$x_1 = \tilde{A}_1^i \dots x_n = \tilde{A}_n^i \text{ ТОДИ } y = \tilde{B}^i, i = 1, \dots, M. \quad (2)$$

Ґрунтуючись на нечіткій логіці типу 2, нечіткий вихід комбінує правила і дає відображення входних нечітких множин у вихідні НМТ2. З точки зору математичної формалізації, нечітке продукційне правило, представлене виразом (2), розглядається як нечітка імплікація виду:

$$\tilde{A} \rightarrow \tilde{B}, \quad \tilde{A} \subseteq X, \quad \tilde{B} \subseteq Y. \quad (3)$$

З використанням математики НМТ2 нечітку імплікацію (3) можливо представити

$$\begin{aligned} \mu_{R^i}(x, y) &= \mu_{\tilde{A}^i \rightarrow \tilde{B}^i}(x, y) = \mu_{\tilde{A}^i}(x_1) \Pi \dots \\ &\dots \Pi \mu_{\tilde{A}_n^i}(x_n) \Pi \mu_{\tilde{B}^i}(y) = \mu_{R^i}(x_1, \dots, x_n, y), \end{aligned} \quad (4)$$

де Π – операція перетину (meet), яка використовується в математиці для НМТ2. В якості операції перетину використовуються операція добутку (product) або операція мінімуму (minimum).

Отже, в результаті нечіткого логічного висновку необхідно обчислити об'єднання Π і перетину Π , що задаються як нечіткі відносини 2-го типу.

Таким чином, у цілому розгляд компонентів архітектури НЛС ІТ2 забезпечує реалізацію відповідного механізму виводу, який представляє собою сукупність правил виводу, тобто в даному випадку це база правил НЛС ІТ2 (декларативні знання), і способи застосування цих правил, тобто в даному випадку це процедури фазифікації, агрегування, акумулювання, приведення типів і дефазифікації. В якості вирішення задачі управління БП приймається рекомендація по запобіганню авіаційних подій при організації конкретного польоту, яка має максимальну нечітку ступінь приналежності (первинну приналежність).

Висновки

Таким чином, аналіз показав, що рішення задач з управління та забезпечення БП на сьогоднішній день базується в основному на математичному апараті, який побудований на імовірнісних, статистичних методах. Дані методи не дозволяють урахувати неповноту, невизначеність, неточність відомостей. Для задач, які не піддаються строгій формалізації і мають логіко-аналітичний характер, у тому числі виробці рекомендацій з управління БП, використовується нечітка логіка як засіб моделювання неви-

значеності природної мови. Впровадження нових технологій в систему управління БП обґрунтовує автоматизацію рішення задач управління БП. Обраний когнітивний метод формалізації задачі управління БП та модель представлення знань, заснована на нечітких множинах і нечіткій логіці. Запропоновано формалізацію знань про процес управління БП здійснити шляхом використання трикутних нечітких чисел і трапецієподібних нечітких інтервалів, доцільність використання яких обумовлюється простою виконання операцій над ними, можливістю їх наочної графічної інтерпретації. В якості базової моделі представлення знань про процес управління БП в умовах невизначеності визначимо інтервальні нечіткі множини типу 2 і засновані на них нечіткі логічні системи інтервального типу. Тип алгоритму нечіткого виводу, що використовується в нечіткій логічній системі, визначається структурою нечітких продукційних правил; процедурою фазифікації, агрегування, активізації, акумулювання і дефазифікації. Розроблений новий підхід побудови системи управління БП з використанням нових інформаційних технологій, який забезпечує запобігання авіаційних подій при організації конкретного польоту повітряного судна.

Список літератури

1. Постанова Кабінету Міністрів України “Про затвердження Положення про Державну авіаційну службу України № 520 від 08.10.2014 р.” [Електронний ресурс]. – Режим доступу. <https://zakon.rada.gov.ua/laws>.
2. Положення про регулювання діяльності державної авіації України: Наказ Міністерства оборони України № 14 від 10 січня 2014 р., зареєстрований у Міністерстві юстиції України 23 січня 2014 р. за № 149/24926.
3. Державна авіаційна служба України. Про затвердження Авіаційних правил України “Порядок сповіщення про події в галузі цивільної авіації, розгляду отриманої інформації, її аналізу та вжиття відповідних заходів” №1817 від 27.12.2019 р.
4. Аналіз стану безпеки польотів-2019 – К.: Національне бюро з розслідування авіаційних подій та інцидентів з цивільними ПС, 2020. – 49 с.
5. Honcharenko Y.V. Культура безпеки польотів державної авіації України / Y.V. Honcharenko // Наука і оборона. – 2019. – № 1. – С. 36-39.
6. Sikirda Y.V. Evaluation of the organizational factors influence on flight safety in air traffic control / Yu.V. Sikirda, D.O. Tkachenko // ABIA-2017: XIII міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 19–21 квітня 2017 р.: матеріали конф. – К.: Національний авіаційний університет, 2017. – С. 11.64-11.66.
7. Sikirda Y.V. Importance of risk management in air traffic control / Yu.V. Sikirda, D.O. Tkachenko // Проблеми навігації і управління рухом: Всеукр. наук.-практ. конф., Київ, 23–25 листопада 2015 р.: тези доповідей. – К.: Національний авіаційний університет, 2015. – С. 38.
8. Оцінка фактору безпеки повітряного руху, який впливає на пропускну здатність і організацію польотів / Б.А. Телятник, К.А. Здихальський, В.О. Стрельбицький, А.Є. Бородій // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2020. – № 3(65). – С. 61-65. <https://doi.org/10.30748/zhups.2020.65.09>.
9. 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. <https://doi.org/10.30748/ntps.2017.26.10>.
10. Харченко В.П. Системи підтримання прийняття рішень авіаційних диспетчерів під час управління повітряним рухом / В.П. Харченко, В.А. Лазоренко // Вісник НАУ. – Х.: НАУ, 2008. – Вип. № 1. – С. 30-36.
11. Кросскультурные факторы и безопасность полетов: сб. материалов по человеческому фактору № 16 / Circ. ICAO 302-AN/175. – Канада, Монреаль: ICAO, 2004. – 52 с.
12. Олизаренко С.А. Нечеткие множества типа 2. Терминология и представление / С.А. Олизаренко, Е.В. Брежнев, А.В. Перепелица // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2010. – Вип. 8(89). – С. 131-140.
13. Олизаренко С.А. Интервальные нечеткие множества типа 2. Терминология, представление, операции / С.А. Олизаренко, А.В. Перепелица, В.А. Капранов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2011. – Вип. 2(92). – С. 39-45.

14. Обґрунтування сучасного підходу щодо автоматизації процесів прийняття рішень по управлінню авіацією / Н.О. Королюк, О.В.Першин, Т.О. Грідньова, С.О. Шевченко // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2019. – №1(59). – С. 32-39. <https://doi.org/10.30748/zhups.2019.59.04>.
15. Saaty T. Structures in decision making: On the subjective geometry of hierarchies and networks / T. Saaty // European Journal of Operational Research. – 2009. – Vol. 199, Is. 3. – P. 867-872.
16. Королюк Н.О. Процедура формалізації даних, які використовуються при описі процесу управління рухом повітряних об'єктів / Н.О. Королюк, Р.В. Корольов, О.А. Коршець // Збірник наукових праць ХНУПС. – 2017. – № 4(53). – С.103-106.
17. Korolyuk N. An approach to prediction of the telecommunication network quality parameters under the conditions of non-stochastic uncertainty / N. Korolyuk // Telecommunications and Radio Engineering. – 2017. – Issue 11. – Volume 76. – P. 1027-1032.
18. Теоретические основы автоматизации процессов выработки решений в системах управления / В.Е. Ярушек, В.П. Прохоров, А.В. Мишин, Б.Н. Судаков. – Х.: ХУВС, 2011. – 355 с.
19. Ротштейн О.П. Діагностика на базі нечітких відношень в умовах невизначеності: моногр. / О.П. Ротштейн, Г.Б. Ракитянська. – Вінниця: УНІВЕРСУМВінниця, 2006. – 275 с.
20. Korolyuk N. Hybrid model of knowledge for situation recognition in airspace / / N. Korolyuk // Automatic Control and Computer Sciences. – 2014. – Vol. 49. – P. 16-25.
21. Selecting a model of unmanned aerial vehicle to accept it for military purposes with regard to expert data / A. Alimpiev, P. Berdnik, N. Korolyuk, O. Korshets, M. Pavlenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – №1/9 (85). – P. 53-60. – ISSN 1729-3774.
22. Hagrass H. Introduction to Interval Type-2 Fuzzy Logic Controllers – Towards Better Uncertainty Handling in Real World Applications / Hani Hagrass, Christian Wagner // IEEE eNewsletter. Systems, Man and Cybernetics Society. – June 2009. – Issue 27.
23. Mendel J.M. Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems Made Simple / J.M. Mendel, R.I. John, Feilong Liu // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – December 2006. – Vol. 14, No. 6. – P. 808-821.
24. Пермяков О.Ю. Інформаційно – телекомунікаційні технології і сучасна збройна боротьба / О.Ю. Пермяков, Н.О. Королюк // Науково-технічна конференція молодих учених “Актуальні проблеми інформаційних технологій” (20-21 листопада 2018 року). – Київ: НУОУ, 2018. – С. 5-6.
25. Mendel J.M. Standard Background Material About Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems / J.M. Mendel, H. Hagrass, R.I. John // IEEE CIS Standards Committee [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://ieeecs.org/technical/standards/>.

Надійшла до редколегії 10.03.2021

Схвалена до друку 13.04.2021

Відомості про автора:

Ситник Юрій Борисович

кандидат технічних наук
завідувач кафедри Льотної академії
Національного авіаційного університету,
Кропивницький, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0966-691X>

Information about the author:

Yuriy Sytnyk

Candidate of Technical Sciences
Head of the Department
of Flight Academy of National Aviation University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0966-691X>

**ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПОЛЕТОВ АВИАЦИИ
В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

Ю.Б. Сытник

В статье проведен анализ организации системы безопасности полетов (БП), основанной на двух контурах управления БП (управление и обеспечение БП). Установлено, что решение задач по управлению и обеспечению БП на сегодняшний день базируется в основном на математическом аппарате, который построен на вероятностных, статистических методах. Данные методы не позволяют учесть неполноту, неопределенность, неточность сведений. Для задач, которые не поддаются строгой формализации и имеют логико-аналитический характер, в том числе выработке рекомендаций по управлению БП, предложено использовать нечеткую логику как средство моделирования неопределенности естественного языка. Обосновано осуществление автоматизации решения задач управления БП внедрением новых технологий в систему управления БП. Выбран когнитивный метод формализации задачи управления БП и модель представления знаний, основанная на нечетких множествах и нечеткой логике. Предложено формализацию знаний о процессе управления БП осуществить путем использования треугольных нечетких чисел и трапециевидных нечетких интервалов, целесообразность использования которых определяется простотой выполнения операций над ними, возможностью их наглядной графической интерпретации. В качестве базовой модели представления знаний о процессе управления БП в условиях неопределенности определены интервальные нечеткие множества типа 2 и основанные на них нечеткие логические системы интервального типа. Тип алгоритма нечеткого вывода, используемый в нечеткой логической системе, определяется структурой нечетких продукционных правил, процедурой фаззификации, агрегиро-

вания, активизации, аккумулярования и дефазификации. Разработан новый подход построения системы управления БП с использованием новых информационных технологий, который обеспечивает предотвращение авиационных происшествий при организации конкретного полета воздушного судна.

Ключевые слова: безопасность полетов, система управления безопасностью полетов, интервальные нечеткие множества типа 2, лицо, принимающее решение, нечеткая логическая система, треугольные нечеткие числа, трапециевидные нечеткие интервалы, знания, формализация знаний.

APPROACH TO CONSTRUCTION OF AVIATION SAFETY MANAGEMENT SYSTEM IN UNCERTAINTY

Yu. Sytnyk

The article analyzes the organization of flight safety system (FS), which is based on two circuits of FS management (management and providing of FS). It is established that the solution of problems on management and maintenance of FS is based generally on the mathematical device which is built on probabilistic, statistical methods. These methods do not allow to take into account the incompleteness, uncertainty, inaccuracy of information. For tasks that are not subject to strict formalization and have a logical-analytical nature, including the development of recommendations for the management of FS, it is proposed to use fuzzy logic as a means of modeling the uncertainty of natural language. The introduction of new technologies in the FS control system by automating the solution of FS control problems is substantiated. The cognitive method of formalization of the FS control problem and the model of knowledge representation, which is based on fuzzy sets and fuzzy logic, are chosen. It is proposed to formalize the knowledge about the process of FS control by using triangular fuzzy numbers and trapezoidal fuzzy intervals. The expediency of their use is due to the simplicity of operations on them, the possibility of their visual graphical interpretation. Interval fuzzy sets of type 2 and, based on them, fuzzy logical systems of interval type are defined as the basic model of knowledge representation about the process of FS control in the conditions of uncertainty. The type of fuzzy inference algorithm used in a fuzzy logic system is determined by the structure of fuzzy production rules, the procedure of fuzzification, aggregation, activation, accumulation and defuzzification. A new approach to building a FS control system using new information technologies has been developed, which ensures the prevention of aviation events when organizing a specific flight of an aircraft.

Keywords: flight safety, flight safety management system, interval fuzzy sets of type 2, decision maker, fuzzy logic system, triangular fuzzy numbers, trapezoidal fuzzy intervals, knowledge, formalization of knowledge.