

К.Ю. Сурков¹, В.В. Калачова², А.С. Луценко², М.В. Касаткін²

¹Льотна академія національного авіаційного університету, Кропивницький

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

МОДЕЛЬ НЕЧІТКОГО ВИВОДУ АДАПТИВНОЇ ПОВІТРЯНОЇ ОБСТАНОВКИ ДО РІВНЯ ПІДГОТОВКИ ДИСПЕТЧЕРА УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

Процеси підготовки диспетчерів управління повітряним рухом вимагають розробки системи управління якістю їх підготовки, яка дозволить оцінювати дії диспетчерів, змінювати ситуації, вводити нові або додаткові умови, що можуть ускладнити управління об'єктом або штучно створювати потенційно-конфліктні ситуації, а також формувати вправи дозвано прогресуючої складності, коректувати програму індивідуального навчання, визначати ступінь готовності диспетчера до практичної роботи в реальних умовах. Структура даної системи ґрунтується на адаптивній тренажерній підготовці диспетчерів. В даній статті доведено, що програма адаптивного тренажера повинна забезпечити штучне відтворення умов і факторів у процесі виконання операцій диспетчером при керуванні реальним об'єктом. Сучасні інформаційні технології дозволяють розробляти інформаційні моделі для тренажерів, які забезпечують повноту і якість імітації реальних процесів. Методичні принципи, покладені в розробку інформаційних моделей, забезпечують їх адаптивність до рівня підготовки та дій осіб, які навчаються. У ході проведення тренувань на інтелектуальних тренажних комплексах склад інформації, темп її відновлення та структура подання відповідають індивідуальному або груповому рівню адаптації до обраного типу стратегії навчання. Це стає можливим завдяки використанню інтелектуальної системи на основі апарата нечіткої логіки. В статті розроблена модель нечіткого виводу адаптивної повітряної обстановки до рівня підготовки диспетчера управління повітряним рухом.

Ключові слова: адаптивні навчальні системи, диспетчер управління повітряним рухом, індивідуалізація навчання, модель, нечіткі правила, правила виводу, критерії оцінювання.

Вступ

Постановка проблеми. Основною специфікою діяльності диспетчера управління повітряним рухом є те, що він не має змоги безпосередньо спостерігати за станом повітряного об'єкта та елементами повітряної обстановки, і змушений користуватися інформацією, яка надходить до нього по каналах і лініях зв'язку. Таким чином, диспетчер користується інформаційною моделлю об'єкта управління та елементами повітряної обстановки.

Тому програма адаптивного тренажера повинна забезпечити штучне відтворення умов і факторів у процесі виконання операцій диспетчером при керуванні реальним об'єктом. Сучасні інформаційні технології дозволяють розробляти інформаційні моделі для тренажерів, які забезпечують повноту і якість імітації реальних процесів. Методичні принципи, покладені в розробку інформаційних моделей, забезпечують їх адаптивність до рівня підготовки та дій осіб, які навчаються. У ході проведення тренувань на інтелектуальних тренажних комплексах склад інформації, темп її відновлення та структура подання відповідають індивідуальному або груповому рівню адаптації до обраного типу стратегії навчання. Це стає можливим завдяки використанню інтелектуальної системи на основі апарата нечіткої логіки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Аналіз алгоритму дій диспетчера при управлінні повітряними об'єктами свідчить, що для формування та удосконалювання професійних навичок за допомогою адаптивної тренажерної підготовки необхідно створити таку інформаційну модель відтворених умов, щоб зореве сприйняття та моторна реакція диспетчера не відрізнялися від таких у реальних умовах [1–3; 5–12].

Тому, у структурі адаптивного тренажера повинна бути створена система, яка дозволяє формувати інтелектуальне інформаційне середовище, змінювати ситуації, вводити нові або додаткові умови виконання вправ, що ускладнюють керування повітряними об'єктами або створюють потенційно-конфліктні ситуації, а також формувати вправи дозваної-прогресуючої складності.

При цьому навички впорядковуються по значимості. Характер завдань, що виконуються у процесі навчання, індивідуалізований з урахуванням рівня підготовки диспетчера та спрямований на розвиток його компетенцій [2; 4; 6–12].

З метою розробки такої системи в роботі використовуються інтелектуальні моделі та методи формування інформаційного середовища навчання [1–12].

Розглянемо процес ситуаційного адаптивного формування інформаційного середовища навчання в

процесі тренажерної підготовки на основі апарата нечіткої логіки [5–6].

Мета статті – розробка моделі нечіткого виводу адаптивної повітряної обстановки до рівня підготовки диспетчера управління повітряним рухом.

Виклад основного матеріалу

В галузі управління технічними системами нечітке моделювання дозволяє одержувати більш адекватні результати в порівнянні з результатами, які ґрунтуються на використанні традиційних аналітичних моделей і алгоритмів управління [1; 5; 7–12].

Таким чином, для вибору початкових умов відображення інформаційних елементів на робочих місцях диспетчерів повітряного руху адаптивного тренажеру створимо інтелектуальну систему, структурна схема якої представлена на рис. 1.

Проведений аналіз показав, що в умовах невизначеності, високої динаміки зміни повітряної обстановки, прийнятним є використання інтелектуальних інформаційних технологій, способів і методів виконання функцій зберігання, обробки, передачі та використання знань.

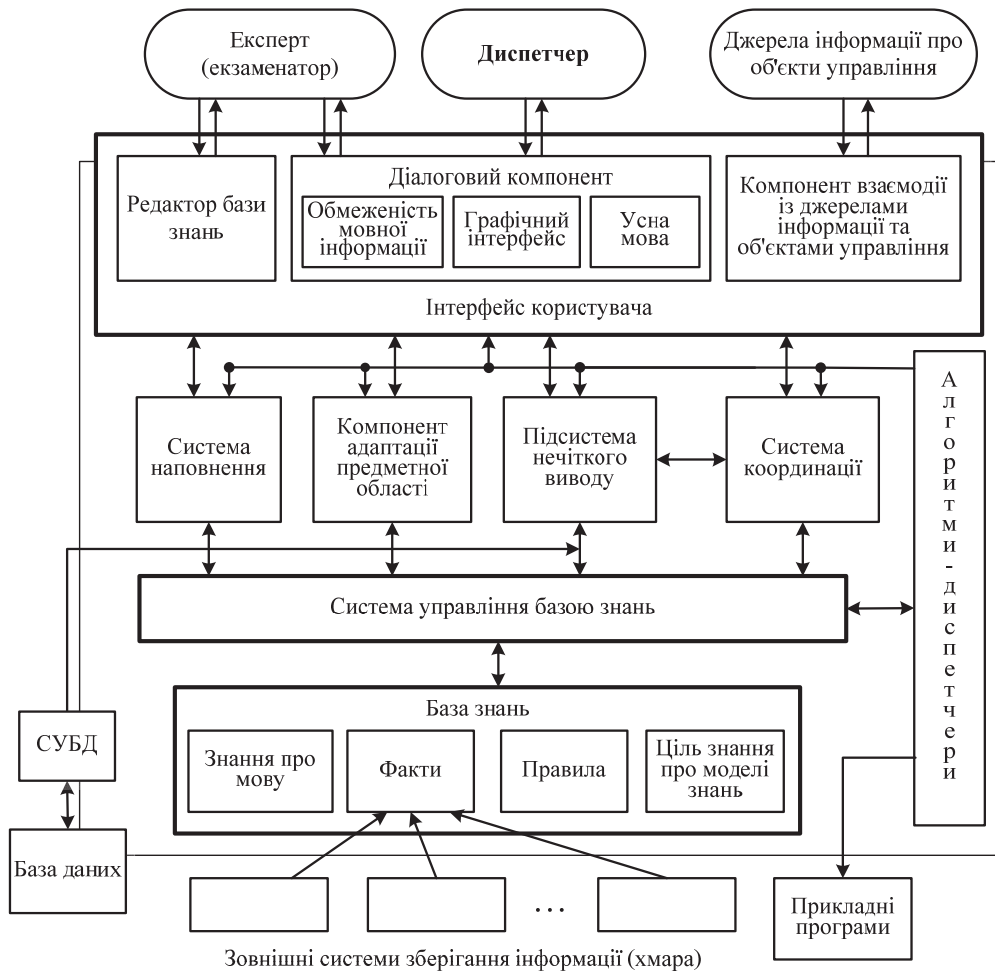


Рис. 1. Структура інтелектуальної системи адаптивного тренажеру

Розглянемо процес формування інформаційного середовища навчання диспетчера в процесі тренажерної підготовки.

Вихідними даними для інформаційної системи є наступні:

- а) перелік вправ відповідно до програми підготовки;
- б) рівень підготовки диспетчера;
- в) підготовлені сценарії виконання вправ (траєкторії руху об'єкту, елементи повітряної та наземної обстановки).

Ці дані становлять основу блоків “Основні завдання” та “Фактори ситуації”. Розроблена в роботі інформаційна система містить базу знань та підсистему нечіткого висновку. На підставі вихідних даних інформаційна система формує варіант інформаційної моделі та вихідні умови відображення елементів повітряної й наземної обстановки, які дозволяють сформуванню інформаційного середовища, яке представляє сукупність прийомів, способів і методів виконання функцій зберігання, обробки, передачі та використання знань.

Розглянемо процес формування інформаційного середовища навчання диспетчера в процесі тренажерної підготовки.

Вихідними даними для інформаційної системи є наступні:

- перелік вправ відповідно до програми підготовки;
- рівень підготовки диспетчера;
- підготовлені сценарії виконання вправ (траєкторії руху об'єкту, елементи повітряної та наземної обстановки).

Ці дані становлять основу блоків “Основні завдання” та “Фактори ситуації”. Розроблена в роботі інформаційна система містить базу знань та підсистему нечіткого висновку. На підставі вихідних даних інформаційна система формує варіант інформаційної моделі та вихідні умови відображення елементів по-

вітряної й наземної обстановки. Вихідні дані з інтелектуальної системи надходять на модуль імітаційного моделювання (блоки моделювання руху повітряного об'єкту, моделювання роботи радіолокаційної та радіонавігаційної апаратури, моделювання елементів повітряної обстановки), де зчитується обраний сценарій вправи, моделюються динаміка руху повітряного об'єкту та радіолокаційна інформація (рис. 2). Після відпрацювання дій диспетчера на тренажері проводиться контроль його дій. Це дозволяє оцінити дії диспетчерів управління повітряним рухом щодо вимог до завдань, які виконуються, виявити причини неправильних дій або дій, які можуть бути наслідком недостатнього навчання. А також визначити ступінь підготовленості до роботи в реальних умовах, та у момент готовності диспетчера до переходу від однієї тренувальної вправи до іншої [2].

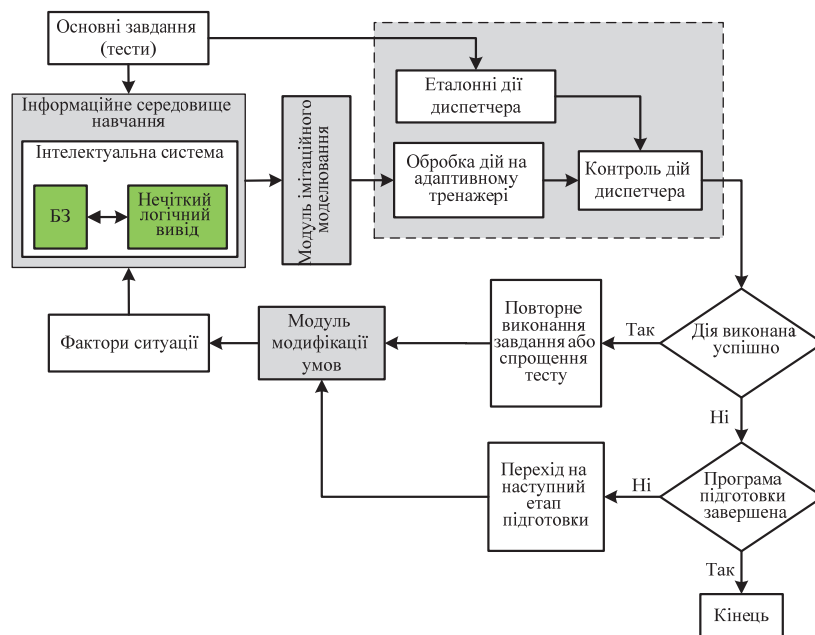


Рис. 2. Структура системи ситуаційного адаптивного формування інформаційного середовища навчання диспетчера в процесі тренажерної підготовки

Інформація, сформована інформаційною системою, відповідає вихідним змінним, якими є варіанти інформаційної моделі відображення повітряної обстановки. Пропонується використання трьох варіантів інформаційної моделі: $y_1 = \text{“спрощена”}$, $y_2 = \text{“проста”}$, $y_3 = \text{“складна”}$, які, у свою чергу, представляють множину початкових умов відображення елементів повітряної обстановки $y_i = \{d_1, d_2, \dots, d_8\}$, $i = 1, 3$.

Основними елементами інформаційної системи є база знань і підсистема нечіткого висновку. База знань призначена для формального подання емпіричних знань або знань експертів і являє собою кінцеву множину правил нечітких продукцій наступного виду:

ПРАВИЛО_1:

IF $a_1=A_{1,1}$ AND $a_2=A_{2,1}$ AND $a_3=A_{3,1}$ AND $a_4=A_{4,1}$ AND $a_i=A_{i,1}$ THEN

$y = d_1$

ELSE

ПРАВИЛО_2:

IF $a_1=A_{1,2}$ AND $a_2=A_{2,2}$ AND $a_3=A_{3,2}$ AND $a_4=A_{4,2}$ AND $a_i=A_{i,2}$ THEN

$y = d_2$

ELSE

...

ПРАВИЛО_n:

IF $a_1=A_{1,n}$ AND $a_2=A_{2,n}$ AND $a_3=A_{3,n}$ AND $a_4=A_{4,n}$ AND $a_i=A_{i,n}$ THEN

$y = d_n$

ELSE.

Процес нечіткого висновку являє собою процедуру отримання нечітких висновків на основі нечітких умов та правил з використанням понять нечіткої логіки. Цей процес пов'язує в собі всі основні концепції теорії нечітких множин: функції приналежності, лінгвістичні змінні, нечіткі логічні операції, методи нечіткої імплікації та нечіткої композиції [1; 3; 5–6].

Відомі процедури нечіткого виводу Мамдані, Такаґи-Сугено, Ларсена, Цукамото та інші [4–5].

Безпосередньо алгоритми виводів відрізняються наявністю нечіткостей, які можуть перебувати як у правих, так і в лівих частинах правил. Так, у нечіткій моделі Мамдані використовується набір лінгвістичних правил, отриманих від експерта-диспетчера та маючих у консеквентах нечіткі змінні [1; 5]. Для ілюстрації роботи механізму нечіткого висновку в моделі Мамдані розглянемо систему, що містить правила виду:

IF $a_1=A_{1,1}$ AND $a_2=A_{2,1}$ THEN $y = d_1$
 ELSE
 IF $a_1 =A_{1,2}$ AND $a_2=A_{2,2}$ THEN
 $y = d_2$,
 де a_1, a_2 – входи;
 y – вихід;
 $A_{1,1}, A_{2,1}, A_{1,2}, A_{2,2}$ – лінгвістичні значення входів;
 d_1, d_2 – лінгвістичні значення виходів.

Перший індекс при лінгвістичних значеннях входів означає номер входу, другий індекс - номер правила. Лінгвістичні значення виходу мають один індекс, що є номером правила. Графічна ілюстрація процедури нечіткого висновку Мамдані показана на рис. 3.

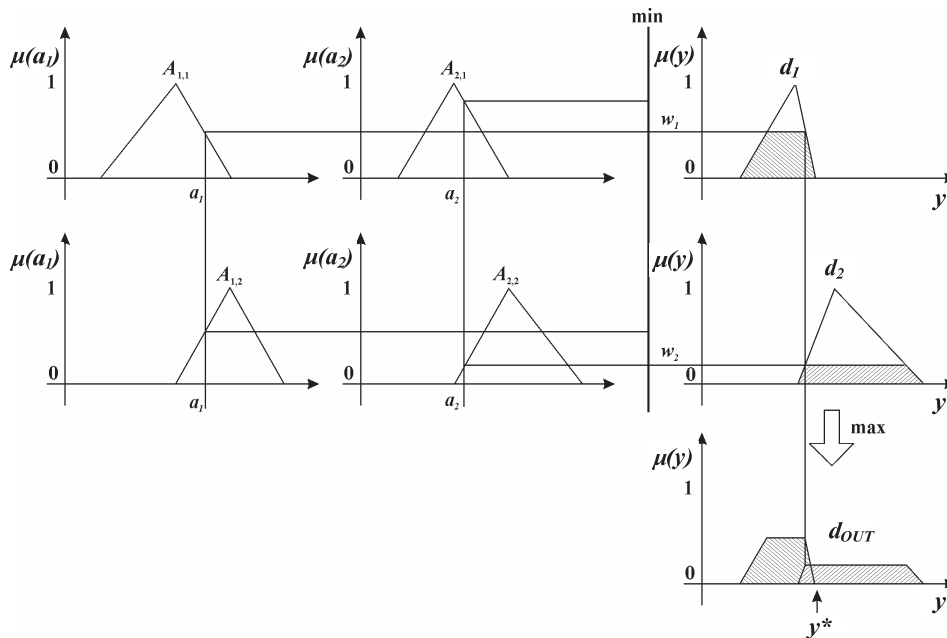


Рис. 3. Нечіткий логічний висновок Мамдані

Ступінь виконання правил (w_i) обчислюється як:

$$w_i(a_1, \dots, a_{n_x}) = \bigwedge_{j=1}^{n_a} \mu_{i,j}(a_j), i = 1, \dots, n_R, \quad (1)$$

де \bigwedge – нечітка операція кон'юнкції, що відповідає оператору “І”;

n_a – кількість входів;

$\mu_{i,j}(a_j)$ – функція приналежності на j -му вході в антецеденті i -го правила;

n_R – кількість правил.

За допомогою операції імплікації визначаються ступені виконання правил. Далі обчислюються нечіткі значення консеквентів правил (заштриховані області функцій приналежності для d_1 і d_2 (рис. 3)).

Нечітке значення виходу з функцією приналежності $\mu_{d_{OUT}}(y)$ знаходиться за допомогою операції агрегації (як правило, це операція максимуму):

$$\mu_{d_{OUT}}(y) = \bigvee_{i=1}^{n_R} (w_i(a_1, \dots, a_{n_x}) \wedge \mu_{d_i}(y)), \quad (2)$$

де \bigvee – операція агрегації, що відповідає об'єднанню нечітких правил “ІНАКШЕ”, яке в системі Мамдані еквівалентно диз'юнкції;

\wedge – операція імплікації (в системі Мамдані еквівалентна кон'юнкції);

$\mu_{d_i}(y)$ – функція приналежності консеквента i -го правила.

Процедура отримання нечіткого значення виходу при використанні максимуму, як оператор аг-

регації та мінімуму як оператор імплікації, називається максимінною композицією [5].

За результатами обробки відповідно до алгоритму управління даними, що поступають на вхід системи, отриманий нечіткий висновок $\mu_{d_{OUT}}(y)$. Операції дефазифікації дозволяють знайти відповідне йому чітке значення \bar{y} . На етапі дефазифікації нечіткий набір значень виведених лінгвістичних змінних перетворюється до точних значень. Найбільш часто використовуються методи усередненого максимуму (МОМ) та центру тяжіння (СОА).

Візьмемо найбільше чітке значення ступеня приналежності вихідної лінгвістичної змінної $\mu_{X_{OUT}}(x)$. Можливе існування декількох елементів області визначення з максимальним значенням ступеня приналежності. У цьому випадку вибирається усереднене значення максимумів (МОМ):

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n x_m^{max}, \quad (3)$$

де \bar{X} – дефазифіковане чітке значення;

x_m^{max} – значення нечіткої множини x , для якої функції приналежності приймають значення максимуму;

n – кількість функцій приналежності.

Для урахування областей, які перекриваються, множини правил, які спрацювали, використовується метод СОА. Відповідно до даного методу, функція приналежності виходу будується шляхом знаходження центра ваги виходів кожного з правил, які спрацювали, по формулі:

$$\bar{X} = \frac{\int_a^b x \cdot \mu_x(x) dx}{\int_a^b \mu_x(x) dx}, \quad (4)$$

де $\mu_x(x)$ – функція приналежності в діапазоні від a до b .

Правила бази знань моделей типу Мамдані є прозорими та інтуїтивно зрозумілими, однак мають гірші апроксимуючі властивості [6]. Проведений аналіз показав [5], що для моделювання багатомірних залежностей типу “входи-виходи” доцільно застосовувати ієрархічні системи нечіткого логічного виводу. Безпосередній вивід у них здійснюється шляхом передачі результату логічного виводу у вигляді нечіткої множини нижнього рівня ієрархії, у машину нечіткого виводу наступного рівня без виконання операцій дефазифікації та фазифікації для проміжних змінних. Розглянемо особливості нечіткої моделі Такаґи-Сугено [3; 5]. Вона призначена для рішення завдання генерації нечітких правил з

набору вхідних-вихідних даних, що представляють собою набір правил виду:

$$\begin{aligned} &IF \ a_1 = A_1 \ AND \ a_2 = A_2 \ AND \ \dots \ AND \ a_n = A_n \\ &THEN \ y = f(a_1, a_2, \dots, a_n), \ i = \overline{1, N}, \end{aligned}$$

де A_i – нечіткі множини посилки;

y – чітке значення.

Як правило, $f_i(a_1, a_2, \dots, a_n)$ є поліноміальними функціями входів a_i . Однак $f_i(a_1, a_2, \dots, a_n)$ можуть бути і довільними функціями, які відповідним чином описують вихідну величину залежно від нечітких множин антецедента.

Нехай функція, яка стоїть в консеквенті, являє собою поліном нульового ступеня. Тоді говорять про нечітку модель Такаґи-Сугено 0-го порядку. Модель Такаґи-Сугено 1-го порядку одержуємо, якщо в консеквенті стоїть поліном першого ступеня:

$$f_i(a_1, a_2, \dots, a_n) = p_{1i}a_1 + p_{2i}a_2 + p_{ni}a_n + q_i. \quad (5)$$

Ступені виконання правил w_1 і w_2 , як і в моделі Мамдані, обчислюються згідно (1).

Чіткі значення консеквентів визначаються за допомогою операції імплікації.

$$y = \frac{\sum_{i=1}^k w_i f_i(a)}{\sum_{i=1}^k w_i}. \quad (6)$$

Абстрактно нечітку модель Такаґи-Сугено можна розглядати як деяку розбивку простору факторів, що впливають, на нечіткі підобласті. У кожній із цих областей значення функції відгуку розраховується як лінійна комбінація входів. Таким чином, метод логічного висновку має свої недоліки та переваги: нечітка модель Такаґи-Сугено має універсальні апроксимуючі властивості, а модель Мамдані дозволяє здійснити лінгвістичний опис предметної області природною мовою. Для вибору інформаційної моделі доцільним є застосування алгоритму логічного висновку, запропонованого Мамдані [5].

Висновки

Таким чином, в роботі представлено розроблену модель нечіткого виводу адаптивної повітряної обстановки до рівня підготовки диспетчера управління повітряним рухом, що стало можливим завдяки використанню інтелектуальної системи на основі апарата нечіткої логіки.

Застосування методу логічного висновку по алгоритму Мамдані дозволяє визначити оптимальний варіант відображення елементів повітряної обстановки залежно від рівня підготовки диспетчера управління повітряним рухом та оцінки його дій. Це, в

свою чергу, дозволяє диспетчеру на етапі тренажерної підготовки адекватно представляти повітряну обстановку, характер переміщення динамічних об'єктів, умов їхнього польоту, а також відпрацьовувати необхідні навички та уміння в потенційно-конфліктних ситуаціях.

Список літератури

1. Принципы построения перспективных тренажерных систем подготовки операторов АСУ динамическими объектами / М.А. Павленко, А.И. Тимочко, Г.С. Степанов, В. Г. Чернов // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2014. – Вип. 1. – С. 112-117.
2. Метод формирования информационной среды обучения офицеров боевого управления в процессе тренажерной подготовки / В.Г. Чернов, М.А. Павленко, А.И. Тимочко, Н.А. Королюк, А.К. Шейгас // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2014. – Вип. 3(31). – С. 81-86.
3. Чернов В.Г. Формализация правил получения оценок деятельности оператора в процессе тренажерной подготовки / В.Г. Чернов // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2014. – Вип. 1 (38). – С. 167-172.
4. Алексеев А.В. Инструментальная экспертная система для задач проектирования и диагностики сложных технических систем / А.В. Алексеев, В.А. Попов, С.А. Фомин // Методы и системы принятия решений: вопросы создания экспертных систем. – Рига: Риж. политехн. ин-т, 1988. – С. 4-10.
5. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский: пер. с польск.; под ред. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 452 с.
6. Mamdani E.H. Application of fuzzy algorithm for simple dynamic plant / E.H. Mamdani // Proceedings IEEE. – 1974. – No. 12. – P. 1585-588.
7. Извалов А.В. Разработка алгоритмов автоматической генерации упражнения на диспетчерском тренажере для развития требуемых навыков / А.В. Извалов, В.Н. Неделько, С.Н. Неделько // Наукові праці академії. – 2007. – Вип. XII. – С. 274-282.
8. Пальоний А.С. Розробка методу і моделей оцінки діяльності авіадиспетчерів / А.С. Пальоний // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2015. – Вип. 3. – С. 120-127.
9. Аналіз сучасного стану та перспективи розвитку тренажерної бази Повітряних Сил ЗС України / І.Г. Дзевєрін, С.В. Дуденко, С.В. Осієвський, В.В. Калачова // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2011. – № 1(5). – С. 155-160.
10. Аналіз основних тенденцій та напрямків розвитку тренажерної бази в контексті підвищення якості підготовки особового складу ПС ЗС України / С.В. Дуденко, О.П. Бабенко, В.В. Бойко, В.В. Калачова // Системи озброєння і військова техніка. – 2011. – № 1(25). – С. 206-211.
11. Обідін Д.М. Аналіз теперішніх та перспективних науково-методичних підходів щодо побудови авіаційних комплексів та систем / Д.М. Обідін // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2014. – № 2(15). – С. 32-34.
12. Волобуєва Л.А. Алгоритмизация поддержки решений при управлении рисками программных проектов на основе нечеткой логики / Л.А. Волобуєва, Л.В. Мандрикова // Системи обробки інформації. – 2015. – № 9(134). – С. 142-147.

References

1. Pavlenko, M.A., Timochko, A.I., Stepanov, G.S. and Chernov, V.G. (2014), "Printsipy postroyeniya perspektivnykh trenazhernykh sistem podgotovki operatorov ASU dinamicheskimi ob'yektami" [Principles of construction of promising training systems for the automated control systems for dynamic objects operators training], *Modern information technologies in the field of security and defense*, No. 1, pp. 112-117.
2. Chernov, V.G., Pavlenko, M.A., Timochko, A.I., Korolyuk, N.A. and Sheygass, A.K. (2014), "Metod formirovaniya informatsionnoy sredy obucheniya ofitserov boyevogo upravleniya v protsesse trenazhnoy podgotovki" [The method of formation of the information environment for training officers in combat control in the process of simulator training], *Control, navigation and communication systems*, No. 3(31), pp. 81-86.
3. Chernov, V.G. (2014), "Formalizatsiya pravil polucheniya otsenok deyatelnosti operatora v protsesse trenazhnoy podgotovki" [Formalization of the rules for obtaining estimates of the operator's activity in the process of training preparation], *Scientific Works of Kharkiv National Air Forces University*, No. 1(38), pp. 167-172.
4. Alekseev, A.V., Popov, V.A. and Fomin, S.A. (1988), "Instrumental'naya ekspertnaya sistema dlya zadach proyektirovaniya i diagnostiki slozhnykh tekhnicheskikh sistem" [Instrumental expert system for design and diagnostic tasks for complex technical systems], *Methods and systems of decision-making: issues of creating expert systems*, Riga Polytechnic Inst., Riga, pp. 4-10.
5. Rutkovskaya, D., Pilinsky, M. and Rutkovsky, L. (2004), "Neyronnyye seti, geneticheskiye algoritmy i nechetkiye sistemy" [Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems], *Hotline - Telecom*, Moscow, 452 p.
6. Mamdani, E.H. (1974), Application of fuzzy algorithm for simple dynamic plant, *Proceedings IEEE*, No. 12, pp. 1585-1588.
7. Izvalov, A.V., Nedelko, V.N. and Nedelko, S.N. (2007), "Razrabotka algoritmov avtomaticheskoy generatsii upravleniya na dispetcherskom trenazhere dlya razvitiya trebuyemykh navykov" [Development of algorithms for the automatic generation of exercises on the dispatch simulator for the development of the required skills], *Scientific Works of the Academy*, No. 12, pp. 274-282.

8. Palionyy, A.S. (2015), "Rozrobka metodu i modeley otsinky diyal'nosti aviadyspetcheriv" [Development of the method and models for assessing the activity of air traffic controllers], *Control, Navigation and Communication Systems*, No. 3, pp. 120-127.
9. Dzeverin, I.G., Dudenko, S.V., Osievsky, S.V. and Kalachova, V.V. (2011), "Analiz suchasnoho stanu ta perspektyvy rozvytku trenazhernoї bazy Povitryanykh Syl ZS Ukrayiny" [Analysis of the current state and prospects of the Armed Forces of Ukraine Air Forces training center development], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 1(5), pp. 155-160.
10. Dudenko, S.V., Babenko, O.P., Boyko, V.V. and Kalachova, V.V. (2011), "Analiz osnovnykh tendentsiy ta napryamkiv rozvytku trenazhernoї bazy v konteksti pidvyshchennya yakosti pidhotovky osobovoho skladu PS ZS Ukrayiny" [Analysis of the main trends and directions of the development of the simulator base in the context of improving the quality of personnel training for the PS of the Armed Forces of Ukraine], *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 1(25), pp. 206-211.
11. Obidin, D.M. (2014), "Analiz teperishnykh ta perspektyvnykh naukovo-metodychnykh pidkhodiv shchodo pobudovy aviatsiinykh kompleksiv ta system" [Analysis of current and perspective methodological approaches to construction of aircraft complexes and systems], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 2(15), pp. 32-34.
12. Volobueva, L.A. and Mandrikova, L.V. (2015), "Algoritmizatsiia podderzhki reshenii pri upravlenii riskami programmnykh proektov na osnove nechetkoi logiki" [Algorithmization of the decision support based on fuzzy logic for risk management in software projects], *Information Processing Systems*, No. 9(134), pp. 142-147.

Надійшла до редколегії 25.01.2019

Схвалена до друку 5.03.2019

Відомості про авторів:

Сурков Костянтин Юрійович

старший викладач кафедри
Відокремленого структурного підрозділу Національного
авіаційного університету "Льотна академія Національного
авіаційного університету",
Кропивницький, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3917-8335>

Калачова Віроніка Валеріївна

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник доцент
старший науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3477-0858>

Луценко Антон Сергійович

науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-7242-625X>

Касаткін Микола Володимирович

начальник навчально-тренувального комплексу
факультету перепідготовки та підвищення кваліфікації
авіаційного персоналу Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-2501-1756>

Information about the authors:

Kostiantin Surkov

Senior Instructor
of the Separated Structural Subdivision
of the National Aviation University "Flight Academy of
the National Aviation University",
Kropyvnytskyi, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3917-8335>

Vironika Kalachova

Candidate of Technical Sciences Senior Research
Associate Professor
Senior Research Associate
of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3477-0858>

Anton Lutsenko

Research Associate
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-7242-625X>

Mykola Kasatkin

Head of Simulator Department
of Faculty of Aviation Personnel Retraining
and Advanced Training of
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-2501-1756>

МОДЕЛЬ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА АДАПТИВНОЙ ВОЗДУШНОЙ ОБСТАНОВКИ ДО УРОВНЯ ПОДГОТОВКИ ДИСПЕТЧЕРА УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

К.Ю. Сурков, В.В. Калачева, А.С. Луценко, М.В. Касаткин

Процессы подготовки диспетчеров управления воздушным движением требуют разработки системы управления качеством их подготовки, которое позволит оценивать действия диспетчеров, изменять ситуации, вводит новые или дополнительные условия, которые могут усложнить управление объектом или искусственно создавать потенциально-конфликтные ситуации, а также формировать упражнения дозированной прогрессирующей сложности, корректиру-

вать программу индивидуальной учебы, определять степень готовности диспетчера к практической работе в реальных условиях. Структура данной системы основывается на адаптивной тренажерной подготовке диспетчеров. В данной статье доказано, что программа адаптивного тренажера должна обеспечить искусственное воссоздание условий и факторов в процессе выполнения операций диспетчером при управлении реальным объектом. Современные информационные технологии позволяют разрабатывать информационные модели для тренажеров, которые обеспечивают полноту и качество имитации реальных процессов. Методические принципы, положенные в разработку информационных моделей, обеспечивают их адаптивность до уровня подготовки и действий лиц, которые проходят обучение. В ходе проведения тренировок на интеллектуальных тренажерных комплексах состав информации, темп ее возобновления и структура представления отвечают индивидуальному или групповому уровню адаптации к избранному типу стратегии учебы. Это становится возможным благодаря использованию интеллектуальной системы на основе аппарата нечеткой логики. В статье разработана модель нечеткого вывода адаптивной воздушной обстановки до уровня подготовки диспетчера управления воздушным движением.

Ключевые слова: адаптивные учебные системы, диспетчер управления воздушным движением, индивидуализация учебы, модель, нечеткие правила, правила вывода, критерии оценивания.

A FUZZY CONCLUSION MODEL OF ADAPTIVE AIR SITUATION TO LEVEL OF THE AIR TRAFFIC CONTROLLERS PREPARATION

K. Surkov, V. Kalachova, A. Lutsenko, M. Kasatkin

The processes of air traffic control controllers preparation of require development of control system by quality of their preparation, that will allow to estimate the actions of controllers, change situations, enter new or additional terms, that can complicate a control an object or artificially to create potential-conflic tsituations, and also form exercises of dosed making progress complication, correct the program of individual studies, determine the degree of controller readiness to practical work in the real terms. A structure of this system is based on adaptive trainer preparation of controllers. It is well-proven in this article, that program adaptive to the simulator must provide the artificial recreation of terms and factors in the process of implementation of operations a controller at a control the real object. Modern information technologies allow to develop informative models for trainers, that provide plenitude and quality of imitation of the real processes. The methodical principles fixed in development of informative models provide their adaptivity to the level of preparation and actions of persons, that study. During realization of training on intellectual simulator complexes composition of information, rate of her renewal and structure of presentation, answer the individual or group level of adaptation to the select type of strategy of studies. It becomes possible due to the use of the intellectual system on the basis of vehicle of fuzzy logic. In the article the worked out model of of fuzzy conclusion of adaptive air situation is to the level of preparation of controller of air traffic control. Application of method of logic inferencing on the Mamdani algorithm the optimal variant of elements reflection of air situation will allow to define depending on the level of controller preparation of air traffic control and estimation of his actions. It will allow to the controller on the stage of simulator preparation adequately to present an air situation, character of dynamic objects moving, terms of their flight, and also work off necessary skills and abilities in potentially-conflict situations.

Keywords: adaptive educational systems, controller of air traffic control, individualization studies, model, fuzzy rules, rules of conclusion, evaluation criteria.