

**Сорока М.Ю.** *Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький*  
**Гурін І.О.** *Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків*  
**Опенько П.В.** *Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ*

## МЕТОД ПЛАНУВАННЯ ПОВЕДІНКИ АГЕНТІВ В СЕРЕДОВИЩІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ НАВЧАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПІДГОТОВКИ ДИСПЕТЧЕРІВ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

*В статті доведено, що інтелектуалізація навчання є важливим напрямком підвищення її ефективності. Для підготовки диспетчерів управління повітряним рухом використовується тренажна система, важливим елементом якої є середовище, що забезпечує створення імітаційної обстановки. Отримання обстановки середовища інтелектуальної навчальної системи підготовки диспетчерів управління повітряним рухом, наближеної до об'єктів реального світу можливо за допомогою застосування агентно-орієнтованого підходу. Центральним елементом формування агентно-орієнтованого середовища є планування поведінки агентів. В статті представлено удосконалений метод планування поведінки агентів у середовищі навчальної системи підготовки диспетчерів управління повітряним рухом, який базується на модифікованому методі формування множини нечітких бінарних умов виконання і продовження елементарних планів з використанням набору нечітких правил. Статична реалізація бінарних відношень у базовому методі, є його недоліком. Розвиток методу синтезу бінарних відношень полягає в настроюванні множини параметрів, а також використанні нечіткої логіки, що характеризують бажаність початку виконання елементарних планів агентами. Розроблений підхід при удосконаленні методів планування поведінки інтелектуального агента дозволяє використовувати одного разу отримані дані на різних етапах роботи алгоритмів. Дане рішення можна розглядати як попередню оптимізацію підсистеми, що використовує зазначені методи.*

*На основі отриманих значень було проведено настроювання мультиагентного середовища та експерименти, статистичний аналіз результатів яких дозволив оцінити практичну ефективність розроблених методів. Отримані результати оцінювання ефективності навчання дозволяють стверджувати, що використання розроблених методів дозволило підвищити оперативність рішень, які приймаються диспетчером управління повітряним рухом, на 7–19 %.*

**Ключові слова:** *диспетчер управління повітряним рухом, середовище інтелектуальної навчальної системи, мультиагентні системи, підготовка, теорія нечітких множин, ефективність навчання.*

**Soroka M.** *Flight Academy of the National Aviation University, Kropyvnytskyi*

**Gurin I.** *Kharkiv National Air Force University, Kharkiv*

**Open'ko P.** *Ivan Cherniakhovskiy National Defense University of Ukraine, Kyiv*

## A METHOD FOR PLANNING AN AGENT BEHAVIOR IN THE ENVIRONMENT OF AN INTELLECTUAL TRAINING SYSTEM FOR THE TRAINING OF AIR TRAFFIC CONTROLLERS

*The article proves that the intellectualization of education is an important area of increasing its effectiveness. To train air traffic controllers, a training system is used, an important element of which is the environment that provides the creation of a simulation environment. Obtaining the environment of an intelligent educational system for training air traffic controllers close to real-world objects is possible using an agent-based approach. The central element in the formation of an agent-oriented environment is agent behavior planning. The article presents an improved method for planning the behavior of agents in the environment of a training system for training air traffic control dispatchers, based on a modified method for generating a set of fuzzy binary execution conditions and continuing elementary plans using a set of fuzzy rules. The static implementation of binary relations in the basic method is its drawback. The development of*

*the method of synthesis of binary relations consists in setting up a lot of parameters, as well as using fuzzy logic, characterizing the desirability of agents starting to execute elementary plans. The developed approach to improving the methods of planning the behavior of an intelligent agent allows you to use once received data at different stages of the operation of the algorithms. This solution can be considered as a preliminary optimization of the subsystem using these methods.*

*Based on the obtained values, multiagent medium settings and experiments were carried out, the statistical analysis of the results of which made it possible to evaluate the practical effectiveness of the developed methods. The results of evaluating the effectiveness of training suggest that the use of the developed methods allowed to increase the efficiency of decisions made by the air traffic control controller by 7-19 %.*

**Keywords:** *air traffic control dispatcher, environment of an intelligent learning system, multi-agent systems, training, theory of fuzzy sets, learning efficiency.*

**Сорока М.Ю.** *Лётная академия Национального авиационного университета, Кропивницький*

**Гурин И.А.** *Харьковский национальный университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков*

**Опенько П.В.** *Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев*

## **МЕТОД ПЛАНИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ АГЕНТОВ В СРЕДЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ ДИСПЕТЧЕРОВ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ**

*В статье доказано, что интеллектуализация обучения является важным направлением повышения ее эффективности. Для подготовки диспетчеров управления воздушным движением используется тренажерная система, важным элементом которой является среда, обеспечивающая создание имитационной обстановки. Получение обстановки среды интеллектуальной обучающей системы подготовки диспетчеров управления воздушным движением, приближенной к объектам реального мира возможно с помощью применения агентно-ориентированного подхода. Центральным элементом формирования агентно-ориентированной среды является планирование поведения агентов. В статье представлены усовершенствованный метод планирования поведения агентов в среде обучающей системы подготовки диспетчеров управления воздушным движением, основанный на модифицированном методе формирования множества нечетких бинарных условий исполнения и продолжения элементарных планов с использованием набора нечетких правил. Статическая реализация бинарных отношений в базовом методе, является его недостатком. Развитие метода синтеза бинарных отношений заключается в настройке множества параметров, а также использовании нечеткой логики, характеризующие желательность начала выполнения элементарных планов агентами. Разработанный подход при совершенствовании методов планирования поведения интеллектуального агента позволяет использовать однажды полученные данные на разных этапах работы алгоритмов. Данное решение можно рассматривать как предварительную оптимизацию подсистемы, использующей указанные методы.*

*На основе полученных значений было проведено настройки мультиагентной среды и эксперименты, статистический анализ результатов которых позволил оценить практическую эффективность разработанных методов. Полученные результаты оценки эффективности обучения позволяют утверждать, что использование разработанных методов позволило повысить оперативность принимаемых решений диспетчером управления воздушным движением, на 7-19 %.*

**Ключевые слова:** *диспетчер управления воздушным движением, среда интеллектуальной обучающей системы, мультиагентные системы, подготовка, теория нечетких множеств, эффективность обучения.*

### **1. Вступ**

Застосування інформаційних технологій у підготовці диспетчерів управління повітряним рухом (УПР) спрямоване на підвищення ефективності їх навчання. Узагальнюючи ряд публікацій [1-7], пов'язаних із застосуванням інформаційних технологій для підготовки, можна виділити напрямки їх використання в навчальних системах:

- а) автоматизовані системи навчання;

- б) дистанційне навчання;
- в) адаптивні тренажери;
- г) інтелектуальні навчальні системи.

З огляду на той факт, що підготовка диспетчерів УПР рухом містить у собі дві основні складові: теоретичну і практичну, які не можуть існувати незалежно одна від одної, у даний час у навчальних закладах найбільший розвиток одержують системи, які дозволяють забезпечити ефективне управління процесом навчання і підготовкою шляхом отримання необхідних теоретичних знань у своїй професійній області, а також умінь використання отриманих знань і навичок операторської діяльності.

Розвиток методів штучного інтелекту та апаратних засобів дозволяє зробити висновок про перспективу використання саме “інтелектуальних начальних систем” (ІНС) у підготовці диспетчерів УПР для підвищення ефективності їх навчання та вдосконалення навчальної діяльності. Важливим елементом навчальних систем є їх середовище, яке може будуватися на основі агентно-орієнтованого підходу (АОП).

Одним зі способів організації інтелектуальної поведінки агентів в середовищі навчальної системи є планування його дій. Модель планування повинна виконувати ряд вимог по оперативності і якості рішення завдання планування. Одним з найбільш розповсюджених способів рішення таких завдань є побудова плану - впорядкованої послідовності елементарних дій, що дозволяє агенту перевести середовище навчальної системи з деякого вихідного стану в задане цільове. Активний елемент (агент) діє в деякому оточенні (середовищі) і намагається досягти поставленої мети. У кожен момент часу середовище знаходиться в деякому стані, при цьому агент може виконувати дії, що змінюють стан середовища.

## **2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми**

Впровадження мультиагентних систем в інтелектуальні системи навчання є міждисциплінарною науковою задачею, якій присвячено значну кількість публікацій в галузі штучного інтелекту, інформаційних технологій, ергономіки, педагогіки.

До фундаментальних літературних джерел в галузі штучного інтелекту та мультиагентних систем слід віднести роботи Поспелова Д.А. [1], Попова Г.М. [2], Фіна В.К. [3], Амеліна К.С. [4], Кузнецова О.П. [5]. Саме а даних роботах закладався науковий фундамент прикладних досліджень з побудови мультиагентних систем.

До загальнотеоретичних робіт з побудови інтелектуальних навчальних систем як предметної галузі мультиагентних технологій віднесемо роботи Айзинова С.Д. [6], Борсука С.П. [7], Лазиріна М.Б. [8], Громова Ю.Ю. [9], Снитюка В.Є. [10], P. Ardimento, N. Boffoli, V.N. Convertini [11], A.C. Graesser [12], S. Oxman, W. Wong [13].

В наукових працях Горенкова А.Н. [14], Неділька С.М., Пальоного А.С. [15], Суркова К.Ю. [16], Павленка М.А., Тимочка О.І., Чернова В.Г. [17] розкриті моделі та методи побудови інтелектуальних навчальних систем саме для диспетчерів УПР. Однак достатньої уваги перевагам застосування АОП приділено не було.

Огляд літературних джерел дозволив сформулювати базову гіпотезу дослідження: застосування АОП в проектуванні ІНС підготовки диспетчерів УПР дозволяє підвищити ефективність їх навчання.

## **3. Мета дослідження**

Метою статті є удосконалення методу планування поведінки агентів у середовищі навчальної системи підготовки диспетчерів УПР, який базується на модифікованому методі формування множини нечітких бінарних умов виконання і продовження елементарних планів з використанням набору нечітких правил, що дозволить підвищити ефективність навчання диспетчерів УПР.

#### 4. Основні наукові результати

Базовий метод планування поведінки агентів у середовищі навчальної системи підготовки диспетчерів УПР можна представити у вигляді кортежа

$$Ps = (Al, \pi, Prior, Int, R, F), \quad (1)$$

де  $Al$  – алфавіт плануючої системи;  $\pi$  – множина елементарних планів;  $Prior$  – множина відношень пріоритету;  $Int$  – відношення переривання;  $R$  – множина правил;  $F$  – функція планування.

Алфавіт планувальної системи можна представити у вигляді

$$Al = (\pi^* \cup \{*, *, 0\} \times (\pi \cup \{*, *, 0\}) \times \{0, \dots, n_i\}), \quad (2)$$

де:  $\pi^* \supseteq \pi$  – розширення множини  $\pi$  у відповідності з правилами  $R_i \subset R$ ;  $n_i$  – кількість рівнів ієрархії, яка визначається сімейством множин  $D_i \subset \pi$ , де  $i \in I = \{1, \dots, n_i\}$ , заданих таким чином, що  $\bigcup_{i \in I} D_i = \pi$  та  $D_i \cap D_j \neq D_i$  для  $i < j$ .

Множину елементарних правил представимо так:

$$\pi = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}, \quad (3)$$

де  $p_i$  – елементарний план,  $i \in I$ .

Під елементарним планом розуміється деяка дія агента  $a_j \in Ac$ , де  $j \in J = \{1, \dots, k\}$ ;  $Ac$  – множина дій, яку здатен виконувати агент (або деяка послідовність таких дій  $\{a_k\}$ ).

Таким чином, на множині  $\pi$  можливе існування підмножини  $\pi' \subset \pi$ , яка містить такі елементарні плани, які представлені послідовностями інших елементарних планів:  $\pi' = \{p'_1, p'_2, \dots, p'_m\}$ , де  $p'_1 = \{p_i\}$ . Кожен елементарний план визначається як четвірка:

$$p = \langle B, C, \phi, \psi \rangle, \quad (4)$$

де  $B$  – умова початку виконання плану;  $C$  – умова продовження виконання плану;  $\phi: I \times \Omega \rightarrow \Omega$ , де  $I$  – множина вхідних даних, яка визначається всіма можливими значеннями вхідних даних;  $\Omega$  – множина внутрішніх станів агента;  $\psi: I \times \Omega \rightarrow A$ , де  $A$  – множина дій, які здатен виконувати агент.

Множина відношень  $Prior$  плануючої системи визначається для множини  $D = \{D_1, \dots, D_n\}$  таким чином, що кожному  $D_i \in D$  відповідає  $Prior_i \in Prior$ .

Відношення  $Int$  визначене на множині  $\pi \times \pi$  таким чином, що виконується умови  $Int(p, p') \wedge p \in D_i$  при  $p' \in D_{i+1}$ , де  $p, p' \in \pi, i \in I$ .

Множина правил плануючої системи представлено як:

$$R = R_1 \cup R_2 \cup R_3, \quad (5)$$

де  $R_1$  – правила побудови розширення  $p^*$ ;  $R_2$  – правило побудови мови планів  $L$ ;  $R_3$  – правило роботи плануючої функції  $F$ ;

Плануюча функція представлена відображенням:  $F: L \times 2^\pi \times 2^\pi \rightarrow L$ .

З отриманого опису можна зробити висновок, що ключовим поняттям методу, крім елементарного плану та плануючої функції, є умови початку виконання плану  $B$ , умови продовження виконання плану  $C$ , а також бінарні відношення  $Int$  та  $\{Prior_i\}$ . Правило формування множини умов плану для повного стану агента відповідає відношенню:

$$H = I \times \Omega, \quad (6)$$

де  $I$  – множина вхідних станів агента, що визначається станом середовища;  $\Omega$  – множина внутрішніх станів агента;

Множину умов виконання планів для стану  $H$  запишемо як:

$$Cd^H = App^H \cup Con^H, \quad (7)$$

де  $App^H$  – підмножина умов використання елементарних планів;  $Con^H$  – підмножина умов виконання елементарних планів.

В статті удосконалено базований метод з використанням теорії нечіткої логіки для визначення умов початку та продовження виконання плану інтелектуальним агентом середовища ІНС підготовки диспетчерів УПР, а також нечітких бінарних відношень, що дозволяє розширити можливості методу.

З метою опису стану агента в термінах нечіткої логіки задамо множину лінгвістичних змінних, які описують його характеристики в наступному вигляді  $LV = \{lv_i\}_{i \in I}$ , де  $lv_i$  – лінгвістична змінна, що описує  $i$ -ий параметр агента;  $I = \{1, \dots, N\}$  – множина індексів параметрів агента;  $N$  – кількість параметрів агента.

Для представленої лінгвістичної змінної використаємо набір виду:

$$lv_i = (\alpha_i, T_i(\alpha_i), U_i, G_i, M_i), \quad (8)$$

де  $\alpha_i$  – назва  $i$ -ої змінної;  $T_i(\alpha_i)$  – терм-множина змінної  $\alpha_i$ , позначення  $T_i$  відповідає множині назв лінгвістичної змінної, при цьому кожне з таких значень є нечіткою змінною  $X_i$  зі значенням з універсальної множини  $U_i$  з базовою змінною  $u_i$  – чіткою  $i$ -ою характеристикою агента;  $G_i$  – синтаксичне правило, яке породжує назви  $X_i$  значень змінної  $\alpha_i$ ;  $M_i$  – семантичне правило, яке ставить у відповідність кожній нечіткій змінній  $X_i$  нечітку підмножину  $M_i(X_i)$  універсальної множини  $U_i$ .

Для кожної лінгвістичної змінної терм-множини представимо так:

$$T_i = \{X_{i1}, \dots, X_{iK_i}\}, \quad (9)$$

де  $K_i \in K$  – кількість термів у лінгвістичній змінній, що характеризують  $i$ -й параметр агента,  $K = \{K_i\}_{i \in I}$ .

Множину всіх нечітких змінних, які описують стан агента, запишемо у вигляді:  $X = \{X_j\}_{j \in I \times K}$ . Тоді формулу (7) перепишемо так:

$$Cd^H = App^H \cup Con^H = \{\{p_1, b_1, v_1\}, \dots, \{p_L, b_L, v_L\}\}, \quad (10)$$

де  $p_l$  – елементарний план;  $b_l$  – показник переваги;  $v_l$  – параметр, який настраюється,  $l = \{1, \dots, L\}$ ,  $L$  – загальна кількість можливих та виконуваних планів агента.

Для визначення елементів  $Cd^H$  задамо множину пар  $Pr = \{\{p_1, f_1\}, \dots, \{p_L, f_L\}\}$ , де  $f_l$  – функція переваги початку (продовження) виконання елементарного плану агента.

Функцію переваги  $f_l$  представимо у наступному вигляді:

$$f_l(p_l) = M_f(b_l \geq v_l) = \begin{cases} 1, & \text{якщо умова виконується,} \\ 0, & \text{якщо умова не виконується,} \end{cases} \quad (11)$$

де  $b_l \in B$  – значення показника переваги початку (продовження) виконання елементарного плану;  $v_l \in V_T \subset V$  – параметр, який налаштовується;  $V$  – множина параметрів.

Для визначення показників переваги виконання елементарного плану  $p_i$  на множині  $R_{Cd}^f$  задамо підмножину нечітких правил:  $R_{Cd}^l = \{R_1^l, \dots, R_{S_i}^l\} \subset R_{Cd}^f$ ,  $R_{Cd}^l$  – множина нечітких правил для визначення значень показників переваги для всіх елементарних планів;  $S_i$  – кількість правил.

Правила  $R^l$  запишемо у вигляді:

$$R_s^l : \text{ЯКЩО} (x_1 \rightarrow A_1 \vee x_2 \rightarrow A_2 \vee \dots \vee x_{M_i} \rightarrow A_{M_i}) \text{ТОДИ} (y_s^l \rightarrow B_s^l), \quad (12)$$

де  $s = \{1, \dots, S_i\}$ ;  $M_i$  – кількість врахованих параметрів в правилі  $R_s^l$ ;  $x \in X_s^i$  – параметр агента, де  $i = \{1, \dots, M_s\}$ ;  $X_s^i$  – множина врахованих параметрів в правилі  $R_s^i$ ;  $A_i \in A_s^i$  – нечітка множина, що характеризує стан агента, де  $A_s^i$  – множина нечітких змінних у правилі  $R_s^i$ ;  $y_s^l \in Y$  – вихідна змінна лінгвістичної моделі;  $B_s^i$  – нечітка множина, яка визначає істинність виведення.

Формулу (12) представимо у вигляді нечіткої імплікації:

$$R_s^l : A_s^l \rightarrow B_s^l, \quad (13)$$

де  $s = 1, \dots, S$ .

У відповідності з узагальненим нечітким правилом [18] отримаємо  $S$  нечітких множин:

$$\bar{B}_s^l = A_s^l \circ (A_s^l \rightarrow B_s^l) = A_s^l \circ R_s^l, \quad (14)$$

де  $A_s^l$  – нечітка множина, яка характеризує значення параметрів агента.

Для визначення показника  $b_i$  переваги початку (продовження) виконання елементарного плану агента на основі отриманих нечітких результатів застосуємо метод центру мас [18]:

$$b_i = \frac{\int_Y y_s^l \mu_{B_i}(y_s^l) dy_s^l}{\int_Y \mu_{B_i}(y_s^l) dy_s^l}, \quad (15)$$

де  $y_s^l$  – вихідна змінна лінгвістичної моделі;  $\mu_{B_i}(y_i) = \max_{s \in S} \{\mu_{B_i}^s(y_s^l)\}$  – функція належності результуючої нечіткої множини  $B^l$ ;

$$\mu_{B_i}^s(y_s^l) = \sup_{x \in X_s^l} \{\min\{\mu_{X_s^l}(x), \mu_{R_s^l}(x, y_s^l)\}\}, \quad (16)$$

де  $\mu_{X_s^l}(x)$  – функція приналежності результуючої нечіткої множини  $X_s^l$ , що характеризує стан агента;  $x$  – вхідна змінна лінгвістичної моделі;  $\mu_{R_s^l}(x, y_s^l)$  – функція приналежності нечіткого правила  $R_s^l$ .

### 5. Обговорення результатів дослідження

Наведемо приклад застосування даної моделі. Нехай значення коефіцієнту, який настроюється, для елементарного плану  $p = 0,65$ . Для визначення показника  $b$  використаємо два нечітких правила, які включають цілочисельні параметри агенту  $x_1, x_2, x_3, x_4 \in \{0, 1, \dots, 100\}$  та мають вигляд:

$$\text{ЯКЩО}(x_1 \rightarrow X_1 \vee x_2 \rightarrow X_2) \text{ТОДІ}(y_1 \rightarrow B_1); \quad (17)$$

$$\text{ЯКЩО}(x_3 \rightarrow X_3 \vee x_4 \rightarrow X_4) \text{ТОДІ}(y_2 \rightarrow B_2);$$

де  $y_1, y_2$  – вихідні значення лінгвістичних моделей;  $B_1$  та  $B_2$  – нечіткі множини, що визначають істинність виводу.

Приклад нечіткого виводу параметра переваги виконання елементарного плану інтелектуальним агентом наведено на рисунку 1. Рисунок 1 демонструє графічну інтерпретацію описаного методу синтезу множин виконання плану, заданих такими параметрами:  $x_1 = 15, x_2 = 64, x_3 = 21, x_4 = 54$ . Як видно з проведених розрахунків, використання методу центру мас дозволило отримати значення 0,81 для параметра  $b$  в результаті чого вираз (11) прийме значення 1, тобто план буде виконуватися.

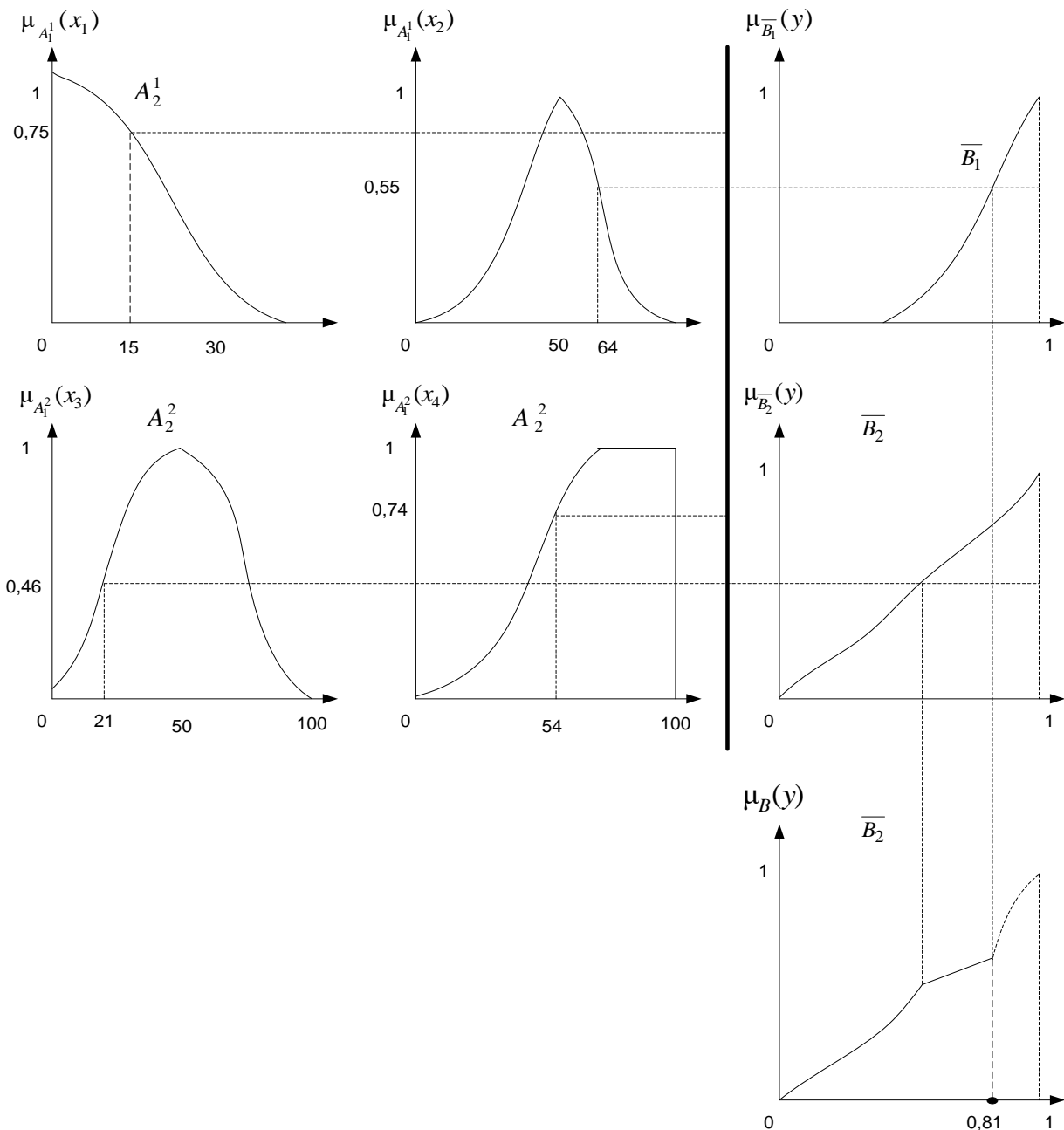


Рис. 1. Графічна інтерпретація нечіткого виводу

Статична реалізація бінарних відношень  $Int, \{Prior_i\}$  у базовому методі, є його недоліком. Розвиток методу синтезу бінарних відношень  $Int, \{Prior_i\}$  полягає в налаштуванні параметри множини  $V_T \subset V$ , а також використовувати нечітку логіку та функції приналежності до нечітких множин, що характеризують бажаність початку виконання елементарних планів агентами.

Розроблений підхід при удосконаленні методів планування поведінки інтелектуального агента дозволяє використовувати одного разу отримані дані на різних етапах роботи алгоритмів. Дане рішення можна розглядати як попередню оптимізацію підсистеми, що використовує зазначені методи.

На рисунку 2 показано зміну даного показника для контрольної групи навчаних з п'яти осіб щодо реагування на типову проблемну ситуацію вирішення ПКС, яка моделюється у мультиагентному середовищі інтелектуальної навчальної системи підготовки диспетчерів УПР.

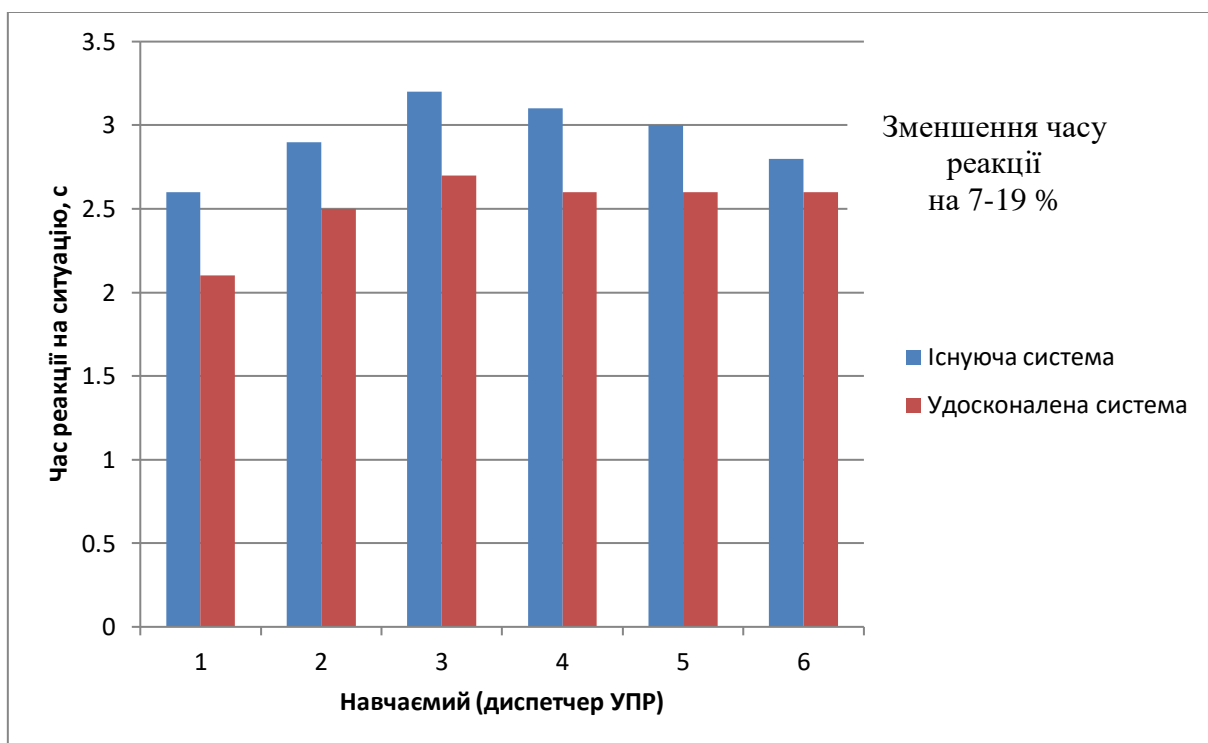


Рис. 2. Підвищення оперативності рішення ПКС до і після навчання в створеному середовищі

Таким чином, оперативність рішень, які приймаються диспетчером УПР, зростає на величину 7–19 %.

## 6. Висновки

В статті був удосконалений формальний опис вихідного методу планування, обрано основні шляхи доробки результуючого методу планування поведінки інтелектуальних агентів.

Відповідно до розроблених напрямків, були вироблені способи модифікації вихідного методу з використанням апарата теорії нечітких множин. З використанням методів нечіткої логіки був розроблений метод формування множини нечітких бінарних умов виконання і продовження елементарних планів з використанням набору нечітких правил, для цього введена множина параметрів системи.

На основі отриманих значень було проведено налаштування мультиагентного середовища та експерименти, статистичний аналіз результатів яких дозволив оцінити



практичну ефективність розроблених методів. Отримані результати оцінювання ефективності навчання дозволяють стверджувати, що використання розроблених методів дозволило підвищити оперативність рішень, які приймаються диспетчером управління повітряним рухом, на 7–19 %.

### Список використаної літератури

1. Поспелов Д.А. Многоагентные системы – настоящее и будущее / Д.А. Поспелов // Информационные технологии и вычислительные системы. – 1998. – № 1. – С.14–21.
2. Багрецов С.А. Методические рекомендации по оценке дидактической эффективности обучающих систем / С.А. Багрецов, Г.М. Попов. – Л.: МО СССР, 1988. – 135 с.
3. Фин В.К. Об интеллектуальном анализе данных / В.К. Фин // Новости Искусственного интеллекта. – 2004. – № 3. – С. 98–103.
4. Амелин К.С. Адаптивная мультиагентная операционная система реального времени / К.С. Амелин, М.В. Баклановский, О.Н. Граничин и др. // Стохастическая оптимизация в информатике. – 2013. – Т. 9. Вып. 1. – С. 3–16.
5. Магид С.И. Использование современных информационных технологий при разработке тренажеров для тепловых электрических станций / С.И. Магид, М.И. Кузнецов, Е.И. Архинова // Энергосбережение и водоподготовка. – 2004. – № 2. – С. 26–30.
6. Айзинов С.Д. Теоретические и методические основы создания экспертной системы по оценке эффективности морских тренажеров (на примере тренажеров ГМССБ): дис. ... канд. тех. наук : 05.12.13 / Айзинов Сергей Дмитриевич. – СПб., 2007. – 168 с.
7. Борсук С.П. Адаптивне навчання операторів на функціональному тренажері: автореф. дис. канд. тех. наук : 05.07.14 / Борсук Сергій Павлович; Нац. авіац. ун-т. – К., 2011. – 23 с.
8. Лазырин М.Б. Использование технологии многоагентных систем при разработке тактических тренажеров / М.Б.Лазырин // Сборник материалов Всероссийской конференции «Тренажеростроение: современное состояние, перспективы развития». – Тверь: ЗАО НИИ «Центрпрограммсистем», 2005. – С.53–57.
9. Громов Ю.Ю. Подготовка операторов технологических процессов на основе использования тренажерных систем / Ю.Ю. Громов, С.В. Данилкин, Н.А. Земской, О.Г. Иванова, А.В. Лагутин // Инженерная физика. – 2004. – №2. – С. 54–56.
10. Снитюк В.Е. Эволюционные технологии принятия решений в условиях неопределенности: дисс. ... доктора техн. наук : 05.13.06 / Снитюк Виталий Евгеньевич. – К.; НАУ, 2009. – 305 с.
11. Ardimento P. Decision table for adaptive learning systems / P. Ardimento, N. Boffoli, V. Convertini, G. Visaggio; ed. A. Mendez-Vilas // Education in a Technological World: Communicating Current and Emerging Research and Technological Efforts. – Spain : Formatex Research Center, Editors, 2011. – P. 127–131.
12. Graesser A. C. AutoTutor: A tutor with dialogue in natural language [Electronic resource] / A. Graesser, S. Lu, G. T. Jackson, H. H. Mitchell, M. Ventura, A. Olney, M. M. Louwerse // Behavior Research Methods, Instruments & Computers. – 2004. – № 36 (2). – Pp. 147–179. – Way of access: [https://www.researchgate.net/profile/Max\\_Louwerse/publication/215835920\\_AutoTutor\\_a\\_Tutor\\_with\\_Dialogue\\_in\\_Natural\\_Language/links/0912f509d1255b8dcc000000/AutoTutor-a-Tutor-with-Dialogue-in-Natural-Language.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Max_Louwerse/publication/215835920_AutoTutor_a_Tutor_with_Dialogue_in_Natural_Language/links/0912f509d1255b8dcc000000/AutoTutor-a-Tutor-with-Dialogue-in-Natural-Language.pdf)
13. Oxman S. White paper: adaptive learning systems / S. Oxman, W. Wong // DV X Innovations DeVry Education Group. – 2014. – P. 1–30.
14. Федорук П.І. Адаптивна система дистанційного навчання та контролю знань на базі інтелектуальних Internet-технологій / П.І. Федорук. – Івано-Франківськ: Видавничо-дизайнерський відділ ЦІТ Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2008. – 326 с.
15. Титенко С.В. Дослідження і аналіз методів та моделей інтелектуальних систем

безперервного навчання / С.В. Титенко // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2007. – № 6 (56). – С. 37–48.

16. Горенков А.Н. Современные тренажёрные и моделирующие комплексы в системе профессиональной подготовки управления воздушным движением / А.Н. Горенков // Транспортное дело. – 2016. – № 4. С. 70–73.

17. Неділько В.М. Проблеми побудови системи адаптивної тренажерної підготовки диспетчерів управління повітряним рухом / В. М. Неділько, А. С. Пальоний, К. Ю. Сурков // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2017. – № 4. – С. 64–72.

18. Сурков К.Ю. Метод синтезу адаптивного інформаційного середовища тренажера підготовки диспетчерів управління повітряним рухом / К.Ю. Сурков, В.В. Калачова, М.В. Качан // Системи обробки інформації. – 2019. – № 1 (156). – С. 118–124.

19. Чернов В.Г. Метод формирования набора индивидуальных тестовых заданий для оценки уровня подготовки оператора АСУ в процессе тренажной подготовки / В.Г. Чернов, М.А. Павленко, А.И. Тимочко, Д.Ю. Свистунов, Н.А. Королюк // Системи управління, навігації та зв'язку. – К., 2014. – Вип. 2 (30). – С. 63–68.

20. Яхьяева Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети / Г.Э. Яхьяева. – М.: Интернет-университет информационных технологий, Бином. Лаборатория знаний, 2011. – 320 с.

### References

1. Pospelov, D.A. (1998), "Mnogoagentnye sistemy - nastoyashchee i budushchee" [Multi-agent systems - present and future], *Information Technology and Computing Systems*, No. 1, pp. 14–21.

2. Bagretsov, S.A. and Popov, G.M. (1988), "Metodicheskie rekomendatsii po otsenke didakticheskoi effektivnosti obuchayushchikh system" [Guidelines for assessing the didactic effectiveness of educational systems], MOSSSR, Leningrad, 135 p.

3. Fin, V.K. (2004), "Ob intellektual'nom analize dannykh" [About data mining], *Artificial Intelligence News*, No. 3, pp. 98–103.

4. Amelin, K.S., Baklanovskii, M.V. and Granichin, O.N. (2013), "Adaptivnaya mul'tiagentnaya operatsionnaya sistema real'nogo vremeni" [Real-time adaptive multi-agent operating system], *Stochastic optimization in computer science*, T. 9. Vol. 1, pp. 3–16.

5. Magid, S.I., Kuznetsov, M.I. and Arkhinova, E.I. (2004), "Ispol'zovanie sovremennykh informatsionnykh tekhnologii pri razrabotke trenazherov dlya teplovykh elektricheskikh stantsii" [The use of modern information technology in the development of simulators for thermal power plants], *Energy Saving and Water Treatment*, No. 2, pp. 26–30.

6. Aizinov, S.D. (2007), *Theoretical and methodological foundations of creating an expert system for assessing the effectiveness of marine simulators (for example, GMDSS simulators): dissertation*, St. Petersburg, 168 p.

7. Borsuk, S. P (2011), *Adaptive operator training on a functional simulator: Author's thesis*, Kiev, 23 p.

8. Lazyrin, M.B. (2005), "Ispol'zovanie tekhnologii mnogoagentnykh sistem pri razrabotke takticheskikh trenazherov" [The use of technology of multi-agent systems in the development of tactical simulators], *Collection of materials of the All-Russian Conference "Simulator Engineering: Current State, Development Prospects"*, pp. 53–57.

9. Gromov, Yu.Yu., Danilkin, S.V., Zemskoi, N.A., Ivanova, O.G. and Lagutin, A.V. (2004), "Podgotovka operatorov tekhnologicheskikh protsessov na osnove ispol'zovaniya trenazhernykh sistem" [Training of process operators based on the use of training systems], *Engineering Physics*, No. 2, pp. 54–56.

10. Snityuk, V.E. (2009), *Evolutionary decision-making technologies in conditions of uncertainty: dissertation*, NAU, Kiev, 305 p.

11. Ardimento, P., Boffoli, N., Convertini, V., Visaggio G. (2011), Decision table for

adaptiveelearningsystems, *Education in a Technological World: Communicating Current and Emerging Research and Technological Efforts*, Formatex Research Center, Editors: A. Mendez-Vilas, pp. 127–131.

12. Graesser, A.C., Lu,S.,Jackson, G. T. Mitchell, H. H.,Ventura, A. etc. (2004), AutoTutor: A tutor with dialogue in natural language, *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, No. 36(2), pp. 147–179.

13. Oxman, S.,Wong, W.(2014), White paper: adaptive learning systems, *DV X InnovationsDeVry Education Group*, pp. 1–30.

14. Fedoruk,P. I. (2008), "*Adaptyvna systema dystantsiinoho navchannia ta kontroliu znan na bazi intelektualnykh Internet-tekhnologii*" [*Adaptive distance learning and knowledge control system based on intelligent Internet technologies*], Vydavnycho-dyzainerskyi viddil TsIT Prykarpatskoho natsionalnoho universytetu imeni Vasylia Stefanyka, Ivano-Frankivsk, 326 p.

15. Tytenko, S.V. (2007), "Doslidzhennia i analiz metodiv ta modelei intelektualnykh system bezperervnoho navchannia" [Research and analysis of methods and models of intelligent lifelong learning systems], *Scientific news NTUU "KPI"*, No. 6 (56), pp. 37–48.

16. Gorenkov, A.N. (2016), "Sovremennye trenazhernye i modeliruyushchie komplekсы v sisteme professional'noi podgotovki upravleniya vozdušnym dvizheniem" [Modern simulators and modeling systems in the air traffic control training system], *Transport business*, No. 4, pp. 70–73.

17. Nedilko, V.M., Palonyi, A. S.,and Surkov, K. Yu. (2017),"Problemy pobudovy systemy adaptyvnoi trenazhnoi pidhotovky dyspetcheriv upravlinnia povitrianykh rukhom" [Problems of building an adaptive training system for air traffic controllers], *Radio electronic and computer systems*, No. 4, pp. 64–72.

18.Surkov,K.Yu.,Kalachova,V.V.andKachan,M.V. (2019), "Metod syntezy adaptyvnoho informatsiinoho seredovyshcha trenazhera pidhotovky dyspetcheriv upravlinnia povitrianykh rukhom" [Synthesis method for adaptive information environment of a training simulator for air traffic controllers], *Information processing systems*, No. 1(156), pp. 118–124.

19. Chernov, V.G., Pavlenko, M.A., Timochko, A.I., Svistunov, D.Yu.and Korolyuk, N.A. (2014), "Metod formirovaniya nabora individual'nykh testovykh zadaniy dlya otsenki urovnya podgotovki operatora ASU v protsesse trenazhnoi podgotovki" [The method of forming a set of individual test tasks to assess the level of training of the ACS operator in the training process], / *Control, navigation and communication systems*, Vol. 2 (30), pp. 63–68.

20. Yakh"yaeva, G.E. (2011), "*Nechetkie mnozhestva i neironnye seti*"[*Fuzzy sets and neural networks*], Internet-universitet informatsionnykh tekhnologii, Binom. Laboratoriya znaniy, Moscow, 320 p.