

УДК 656.7.086

Т.Ф. Шмельова<sup>1</sup>, Ю.В. Сікірда<sup>2</sup>, А.В. Землянський<sup>2</sup><sup>1</sup> Національний авіаційний університет, Київ<sup>2</sup> Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кіровоград

## НЕЙРОМЕРЕЖЕВА МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ СВОЄЧАСНОСТІ ТА БЕЗПОМИЛКОВОСТІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ АВІАДИСПЕТЧЕРОМ В ПРОЦЕСІ ТРЕНАЖЕРНОЇ ПІДГОТОВКИ

Визначено кількісні показники рівня складності конфліктної ситуації при розвитку потенційно конфліктної ситуації за допомогою апарату нечіткої логіки. Розроблено нейромережеву модель оцінювання своєчасності та безпомилковості прийняття рішень спеціалістом з обслуговування повітряного руху в процесі тренажерної підготовки та встановлено її параметри. За допомогою моделюючого комплексу Fusion отримано візуалізацію результатів виконання навчальної вправи авіадиспетчером за встановленими критеріями.

**Ключові слова:** авіадиспетчер, передтренажерне навчання, потенційно конфліктна ситуація, етапи розвитку, нечіткі множення, нейронна мережа, моделюючий комплекс.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Статистичні дані [1–3] показують, що причинність авіаційних подій за останні десятиріччя практично не змінюється: 70–80% аварій і катастроф відбувається через людський фактор і тільки 15–20% – через конструктивно-виробничі недоліки авіаційної техніки. Особливу роль при зниженні впливу людського фактору відіграє якість професійної підготовки авіаційних фахівців, зокрема, спеціалістів з обслуговування повітряного руху (ОПР). Важливою складовою професійної підготовки авіаційних диспетчерів є тренажерна підготовка. Тренажерна підготовка – це комплекс існуючих форм і методів навчання, за допомогою яких у курсантів/слухачів шляхом виконання відповідно сформульованих комплексних завдань і вправ під керівництвом диспетчера-інструктора формуються вміння та навички практичного застосування теоретичних положень декількох навчальних дисциплін [4]. Тренажерна підготовка проводиться на диспетчерських тренажерах і має метою удосконалення технології роботи диспетчерського складу і відпрацювання практичних навичок з ОПР в стандартних ситуаціях, потенційно-конфліктних ситуаціях, в особливих умовах і особливих випадках у польоті. На ефективність тренажерної підготовки впливають якість та кількість вправ, що виконуються, об'єктивність оцінювання виконання вправ тощо.

Відповідно до рекомендацій Євроконтролю та з метою оптимізації ефективності тренажерної підготовки, теоретичне і практичне навчання поєднується з самого початку процесу підготовки за допомогою системи передтренажерного навчання. Процес навчання розпочинається із здобуття курсантами/слухачами навичок (Skill Acquisition), потім практикується виконання часткових завдань (Part-Task Practice) та продовжується тренажерною підготовкою [5].

Існують такі види тренажерної підготовки [5]:

– тренажерна підготовка (SIMUL) – тренування за допомогою моделі повітряного руху, яка реагує на дії курсанта/слухача як реальний повітряний рух. Ця техніка навчання супроводжується брифінгом, дебрифінгом, консультацією;

– кероване комп'ютерне навчання (GSIMUL – Guided SIMUL) – взаємодія між курсантом/слухачем та комп'ютером у формі питань, коментарів, інструкцій та видачі оцінки дій курсанта/слухача в процесі взаємодії. Робота комп'ютера при такому навчанні полягає у порівнянні існуючої теоретичної моделі зі знаннями курсанта/слухача [4]. Актуальним є саме кероване здобуття навичок (GSA – Guided SA), що супроводжується інтерактивною оцінкою, коментарями та управлінням діями курсанта/слухача. Керована практика виконання часткових завдань (GPTP – Guided PTP) представляє собою практику виконання часткових завдань, що супроводжується коментарями, відображенням результатів, оцінкою дій курсанта/слухача та можливістю зворотного зв'язку [4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існуючі системи тренажерної підготовки авіадиспетчера, в тому числі і на етапі передтренажерного навчання, характеризуються низьким рівнем об'єктивного оцінювання виконання вправ [4]. Труднощі пов'язані, насамперед, з розробленням достатньої кількості вправ заданого рівня складності. Збільшення кількості вправ веде до суттєвого росту як кількості інструкторсько-методичного складу і вимог до його професійного рівня, так і часу на розроблення відповідних вправ заданої складності. При розробленні вправ найбільше часу витрачається на моделювання повітряної обстановки у відповідності з поставленими у вправі завданнями, перевірку вправи на відповідність заданому рівню складності, перевірку відповідності графіка завантаженості запланованому і можливості безконфліктного виконання вправи.

Основним критерієм оцінювання якості виконання вправ є безпомилковість [5, 6]. При моделюванні повітряної обстановки з використанням оберненої задачі генерації динамічної повітряної обстановки у вправах заданої складності враховуються інтенсивність повітряного руху, наявність і кількість потенційно-конфліктних ситуацій (ПКС), виникнення особливих випадків у польоті [6]. Не менш важливим критерієм оцінювання якості виконання вправ є своєчасність. Врахувати як безпомилковість, так і своєчасність виконання вправ можна за допомогою використання штучних нейронних мереж (ШНМ). Автоматизація процесу перевірки вправи дозволить значно скоротити час на її підготовку (економиться до 80% часу).

Гібридні нейронно-експертні системи є перспективним напрямом розвитку нейроінформаційних технологій [7]. ШНМ мають багато переваг порівняно з традиційними та заснованими на знаннях системами діагностики [8]. Вони можуть бути натреновані на прикладах, працюють у реальному часі, надійні й толерантні до помилок. За допомогою ШНМ діагностується стан хворого, виконується прогноз на фондовому ринку, приймається рішення щодо надання кредиту, діагностується стан обладнання, керується робота двигуна тощо [7, 9]. ШНМ створюються шляхом послідовного або паралельного об'єднання окремих нейронів. Залежно від виду зв'язків нейромережі групуються в два класи: прямонаправлені мережі (у яких зв'язки не мають петель) і рекурентні мережі (зі зворотними зв'язками) [7–9]. Серед прямонаправлених мереж найбільш поширені одношаровий і багатошаровий перцептрон, когнітрон, а також мережі радіальних базисних функцій (RBF); серед рекурентних можна виділити мережі Хопфілда, Больтцмана і Кохонена [8].

Застосування нейронних мереж і нейро-фуцці систем доцільне для рішення також багатьох задач авіаційної галузі, де необхідні обробка великих обсягів нерідко нечіткої інформації та розв'язання важкоформалізованих багатопараметричних нелінійних задач, а саме: у разі оцінювання ефективності альтернативних варіантів завершення польоту при виникненні позаштатної ситуації та діагностики помилкових дій оператора авіаційної ергатичної системи в особливих випадках польоту [10], прийняття рішення на виліт і обрання оптимального запасного аеродрому посадки [11] тощо.

Пропонується нейромережева модель оцінювання своєчасності та безпомилковості прийняття рішень (ПР) авіадиспетчером у разі виникнення ПКС при виконанні вправ в процесі тренажерної підготовки на етапі передтренажерного навчання.

#### **Формулювання мети статті:**

1. Визначення кількісних показників рівня складності ситуації при розвитку ПКС за допомогою нечіткої логіки.

2. Розроблення нейромережевої моделі оцінювання своєчасності та безпомилковості ПР авіадиспетчером в процесі тренажерної підготовки та визначення її параметрів.

3. Візуалізація результату виконання навчальної вправи спеціалістом з ОПР.

### **Визначення кількісних показників рівня складності ситуації при розвитку ПКС за допомогою нечіткої логіки**

Концептуальною моделлю, яка дозволяє визначити зв'язки між безпекою польотів та працездатністю оператора в швидкоплинних складних експлуатаційних умовах, в яких ПР авіадиспетчер та які моделюються при тренажерній підготовці, є відома концепція контролю факторів загроз та помилок (КЗП) [12]. Концепція носить описовий характер і служить засобом діагностики як характеристик працездатності людини, так і ефективності функціонування системи. Незважаючи на те, що концепція КЗП була спочатку розроблена для застосування в кабіні екіпажу, її можна використовувати також в різних організаціях авіаційної галузі, в тому числі для служб ОПР.

Стосовно авіадиспетчерів концепція КЗП складається з трьох основних компонентів:

- загрози;
- помилки;
- небажані стани.

Відповідно до концепції КЗП, загрози і помилки є частиною повсякденної діяльності авіації, з якими повинні справлятися спеціалісти з ОПР, оскільки загрози і помилки можуть спровокувати виникнення небажаних станів. Авіадиспетчери також повинні контролювати небажані стани, тому що вони можуть призвести до небезпечних наслідків. Контроль небажаних станів є одним з основних компонентів концепції КЗП та має таке ж значення, як і контроль факторів загроз і помилок. Контроль небажаних станів значною мірою є останньою можливістю уникнути небезпечних наслідків і, таким чином, забезпечити витримування заданого рівня безпеки польотів при ОПР.

Розглянувши концепцію КЗП відповідно до задачі визначення своєчасності ПР авіадиспетчером при розв'язанні ПКС, було розроблено класифікацію етапів розвитку конфліктної ситуації [13].

Загроза виникнення конфліктної ситуації є першим етапом розвитку ПКС. Загроза виникає з того моменту, коли час, що залишився до виникнення конфліктної ситуації, дорівнює часу, необхідному на виконання всіх елементів для розв'язання ПКС з урахуванням необхідного буферного запасу часу.

Передконфліктна ситуація є другим етапом розвитку ПКС. Передконфліктна ситуація виникає з того моменту, коли час, що залишився до виникнення

конфліктної ситуації, дорівнює часу, необхідному на виконання всіх елементів для розв'язання ПКС без урахування необхідного буферного запасу часу. У такій ситуації порушення встановлених інтервалів ешелонування ще не настало, але ймовірність розв'язання ситуації вкрай мала.

Конфліктна ситуація є етапом, коли настає порушення встановлених інтервалів ешелонування. З наведеної класифікації видно, що для визначення своєчасності ПР при розв'язанні ПКС необхідно визначити, коли відбувається перехід поточної ситуації до етапу загрози виникнення конфліктної ситуації та етапу передконфліктної ситуації.

Для отримання кількісних показників рівня складності ситуації при розвитку ПКС було використано метод нечітких множин [14].

На шкалі розміщено значення лінгвістичної змінної «рівень складності ситуації»:

- загроза виникнення конфліктної ситуації;
- передконфліктна ситуація;
- конфліктна ситуація.

Мінімальний рівень складності ситуації відповідає нулю, а максимальний, відповідно, одиниці. Отриманий інтервал розбито на п'ять відрізків.

Ступінь належності деякого значення лінгвістичної змінної певному інтервалу визначено як відношення числа відповідей, в яких воно зустрічається у даному інтервалі, до максимального значення цього числа за всіма інтервалами. Опитування експертів проведено методом Делфі у два тури. В опитуванні прийняло участь 30 експертів з числа інструкторів тренажерного центру ОПР Кіровоградської льотної академії Національного авіаційного університету. Результати опитування наведено у табл. 1.

Функції належності рівня складності ситуації  $\mu$  (загроза виникнення конфліктної ситуації, передконфліктна ситуація, конфліктна ситуація) у разі виникнення ПКС наведено у табл. 2 та представлено на рис. 1.

Представимо систему переходів між компонентами концепції КЗП (етапами розвитку ПКС) у вигляді графу станів (рис. 2).

Таблиця 1

Результати опитування

| Значення функції належності рівня складності ситуації, $\mu$ | Інтервал, одиниці |         |         |         |         |
|--|-------------------|---------|---------|---------|---------|
|  | 0-0,2             | 0,2-0,4 | 0,4-0,6 | 0,6-0,8 | 0,8-1,0 |
| Загроза виникнення конфліктної ситуації, $\mu_1$             | 1                 | 1       | 22      | 6       | 0       |
| Передконфліктна ситуація, $\mu_2$                            | 0                 | 0       | 8       | 20      | 1       |
| Конфліктна ситуація, $\mu_3$                                 | 0                 | 0       | 1       | 12      | 17      |

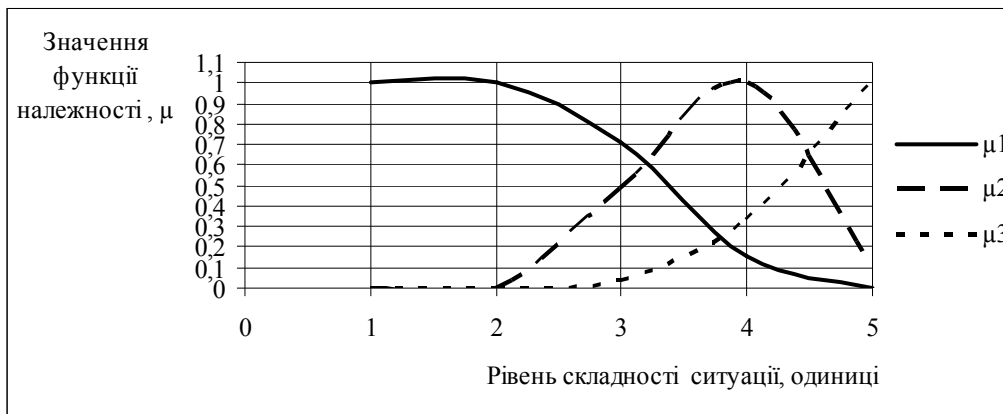
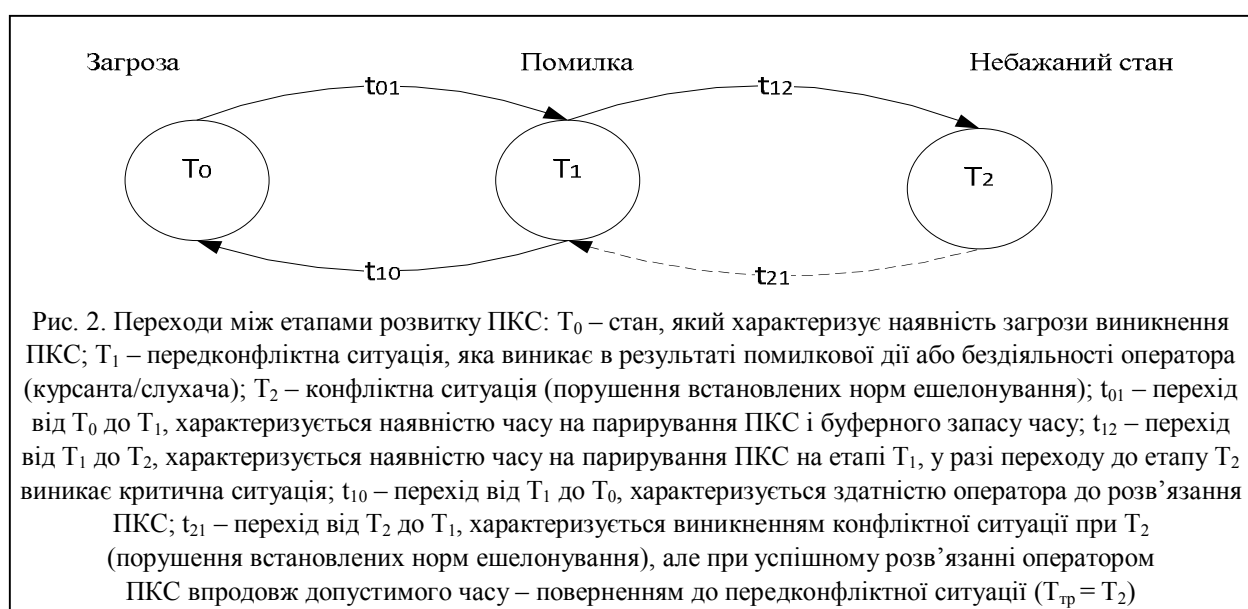


Рис. 1. Функції належності рівня складності ситуації у разі виникнення ПКС

Таблиця 2

Класифікація розвитку конфліктної ситуації за критерієм своєчасності

| Класифікація за КЗП | Класифікація за своєчасністю            | Опис ситуації   | Рівень складності ситуації, одиниці |
|---------------------|---|---|-------------------------------------|
| Загроза             | Загроза виникнення конфліктної ситуації | Зафіксована ПКС, що вимагає розв'язання                                     | 1-2                                 |
| Помилка             | Передконфліктна ситуація                | Парирування ПКС є неможливим або вкрай складним                             | 4                                   |
| Небажаний стан      | Конфліктна ситуація                     | Порушення встановлених інтервалів ешелонування, виникла конфліктна ситуація | 5                                   |



Визначимо стан виконання вправи як у:

$$y = \begin{cases} 1; t_{01} + t_{12} \leq T_2; \\ 0; t_{01} + t_{12} > T_2. \end{cases}$$

Час для розв’язання конфліктної ситуації залежить від індивідуальних характеристик оператора (курсанта/слухача) ( $k$ ), кількості ПКС ( $n$ ) і часу розвитку ПКС ( $T_c$ ):

$$T_{pk} = T_k \cdot k + T_p \cdot n + T_c,$$

де  $k$  – коефіцієнт, що визначає індивідуальні характеристики оператора (курсанта/слухача);  $n$  – кількість ПКС;  $T_c$  – час розвитку ПКС, якщо  $n=1, k=1$ , то  $T_{pk} = T_k + T_p + T_c$ .

### Розроблення нейромережевої моделі оцінювання своєчасності ПР в процесі тренажерної підготовки авіадиспетчера та визначення її параметрів

Для автоматизації оцінювання передтренажерного етапу початкової підготовки авіадиспетчерів на етапі передтренажерного навчання розроблено багат шаровий прямонаправлений перцептрон типу MLP (Multilayer Perceptron Networks) (рис. 3), який має чотири шари, два з яких сховані. Кожний нейрон в мережі характеризується входною величиною (дендритом) і вихідною величиною (аксоном), ваговими коефіцієнтами (синапсами), пороговою функцією. Мережа має додаткові входи, так звані Bias (зсув), що враховує додаткові обмеження на обчислювальні параметри:

$$\sum_{i=1}^n w_i x_i - \theta \geq 0,$$

де  $w_i$  – вагові коефіцієнти;  $x_i$  – входи нейронної мережі;  $\theta$  – Bias (зсув). Загальний вигляд ШНМ наводиться на рис. 3:

$$\bar{Y} = f(\overline{net} - \bar{\theta}),$$

де  $f$  – нелінійна функція (функція активації);  $\overline{net}$  – зважена сума вхідних сигналів.

Характеристика шарів ШНМ:

- 1 шар (вхідний) – вправи, які виконують курсанти/слухачі з розв’язання ПКС ( $\bar{X}$ );
- 2 шар (схований) – визначає психофізіологічні характеристики курсанта/слухача ( $\bar{H}$ );
- 3 шар (схований) – складність вправи, яка визначається кількістю ПКС ( $\bar{D}$ );
- 4 шар (вихідний) – оцінювання курсанта/слухача при виконанні вправи ( $\bar{Y}$ ).

Розглянемо більш детально топологію нейронної мережі на прикладі, якщо три курсанти/слухачі ( $Y_1, Y_2, Y_3$ ) виконують дві задачі ( $X_1$  та  $X_2$ ):

1 шар (вхідний) – входи  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – відповідають задачам, які виконують курсанти/слухачі з розв’язання ПКС ( $\bar{X}$ );

2 шар (схований) – визначає психофізіологічні характеристики курсанта/слухача ( $\bar{H}$ ) з урахуванням додаткового входу Bias, що указує обмеження на індивідуальний час виконання вправи ( $T_{01}$ ). Вихідний вектор шару:

Вихідний вектор другого шару:

$$\bar{H} = f(\bar{W}_1, \bar{X}) = f(\overline{net}_1 - \bar{\theta}_{01}),$$

де  $\overline{net}_1 = \bar{W}_1 \bar{X}$ ;  $\bar{\theta}_{01}$  – індивідуальний час на вирішення навчальної вправи  $\bar{W}_1$  – вагові коефіцієнти, що враховують індивідуальний час виконання навчальної вправи курсантом/слухачем залежно від його психофізіологічних характеристик (рис. 4):

$$\bar{W}_1 = \begin{pmatrix} w_{01} & w_{11} & w_{21} \\ w_{02} & w_{12} & w_{22} \\ w_{03} & w_{13} & w_{23} \end{pmatrix}.$$

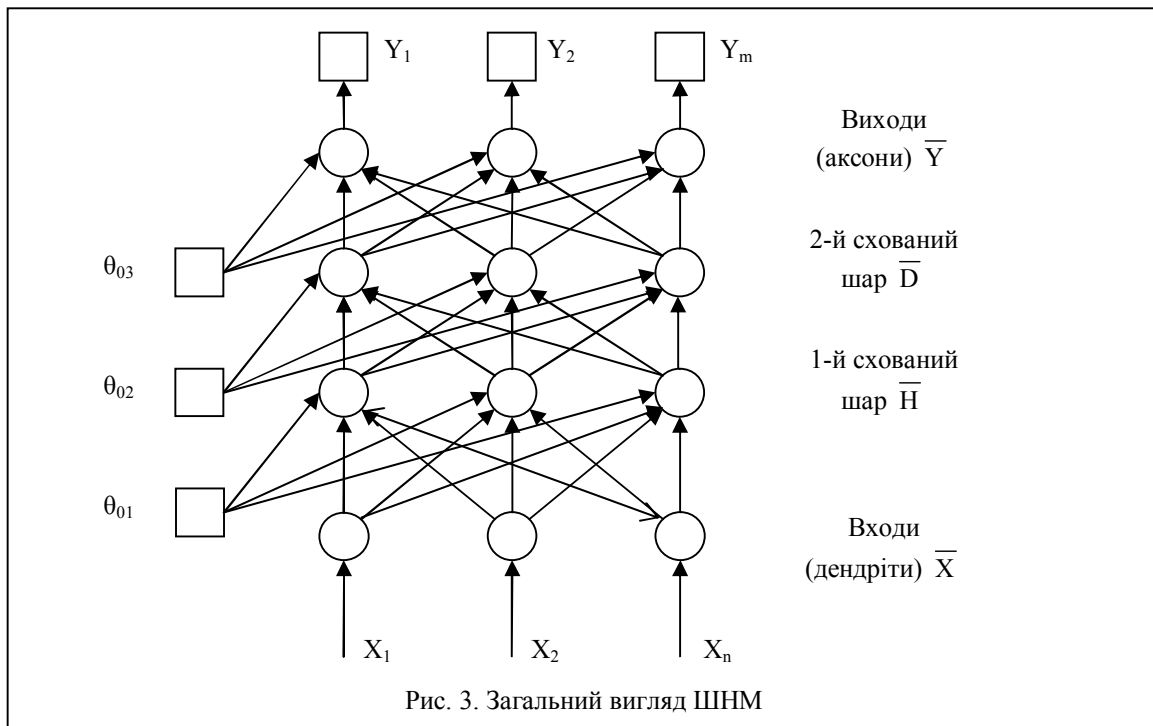


Рис. 3. Загальний вигляд ШНМ

3 шар (схований) – складність вправи, яка визначається кількістю ПКС ( $\bar{D}$ ) та характеризується динамічною повітряною обстановкою (ДПО). Додатковий вхід Bias указує обмеження на сумарний час вирішення ПКС ( $\theta_{02}$ ).

Вихідний вектор шару:

$$\bar{D} = f(\bar{W}_2, \bar{H}) = f(\text{net}_2 - \bar{\theta}_{02}),$$

де  $\text{net}_2 = \bar{W}_2 \bar{H}$ ;  $\bar{W}_2$  – вагові коефіцієнти, що враховують складність ДПО (рис. 4):

$$\bar{W}_2 = \begin{pmatrix} d_{01} & d_{11} & d_{21} & d_{31} \\ d_{02} & d_{12} & d_{22} & d_{32} \\ d_{03} & d_{13} & d_{23} & d_{33} \end{pmatrix};$$

$\bar{\theta}_{02}$  – час на вирішення навчальної вправи, що враховує складність ДПО.

4 шар (вихідний) – безпосередньо оцінювання курсанта/слухача при виконанні вправи ( $\bar{Y}$ ). Додатковий вхід Bias обмежує кількість спроб на вирішення ПКС ( $\theta_{03}$ ). Вихідний вектор шару:

$$\bar{Y} = f(\bar{W}_3, \bar{D}) = f(\text{net}_3 - \bar{\theta}_{03}),$$

де  $\text{net}_3 = \bar{W}_3 \bar{D}$ ;  $\bar{W}_3$  – вагові коефіцієнти, що враховують якість виконання вправи за своєчасністю (рис. 4):

$$\bar{W}_3 = \begin{pmatrix} y_{01} & y_{11} & y_{21} \\ y_{02} & y_{12} & y_{22} \\ y_{03} & y_{13} & y_{23} \end{pmatrix};$$

$\bar{\theta}_{03}$  – кількість спроб для вирішення навчальної вправи.

Задані наступні вихідні сигнали векторів шарів нейронів  $\bar{H}$ ,  $\bar{D}$ ,  $\bar{Y}$ :

$$H_i, D_k, Y_m = \begin{cases} 1; & \text{якщо } f(x) > 0; \\ 0; & \text{якщо } f(x) \leq 0 \end{cases}$$

де  $f$  – нелінійна функція активації.

Розглянемо наступний приклад з заданими значеннями вагових коефіцієнтів ( $\bar{W} = \bar{W}_1, \bar{W}_2, \bar{W}_3$ ), що враховують індивідуальний час виконання навчальної вправи курсантом/слухачем залежно від його психофізіологічних характеристик, складність ДПО, якість виконання вправи за своєчасністю:

$$H_1 = f(1x_1 + 2x_2 - 1);$$

$$H_2 = f(2x_1 + 5x_2 - 3);$$

$$H_3 = f(3x_1 + 4x_2 - 5);$$

$$D_1 = f(2d_1 + 2d_2 + 2d_3 - 1);$$

$$D_2 = f(3d_1 + 3d_2 + 3d_3 - 5);$$

$$D_3 = f(4d_1 + 4d_2 + 4d_3 - 6);$$

$$Y_1 = f(1y_1 + 3y_2 + 2y_3 - 3);$$

$$Y_2 = f(2y_1 + 4y_2 + 1y_3 - 10);$$

$$Y_3 = f(3y_1 + 5y_2 + 1y_3 - 0).$$

Представимо приклад у векторній формі:

$$\begin{pmatrix} 1 \\ H_1 \\ H_2 \\ H_3 \end{pmatrix} = f \left[ \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & -1 \\ 2 & 5 & -3 \\ 3 & 4 & -5 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 1 \\ X_1 \\ X_2 \end{pmatrix} \right];$$

$$\begin{pmatrix} 1 \\ D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{pmatrix} = f \left[ \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 2 & -1 \\ 3 & 3 & 3 & -5 \\ 4 & 4 & 4 & -6 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 1 \\ H_1 \\ H_2 \\ H_3 \end{pmatrix} \right];$$

$$\begin{pmatrix} 1 \\ Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \end{pmatrix} = f \left[ \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 3 & 2 & -3 \\ 2 & 4 & 1 & -10 \\ 3 & 5 & 1 & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 1 \\ D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{pmatrix} \right].$$

Результати функціонування ШНМ при різних початкових даних ( $X=(0;0)$ ,  $(0;1)$ ,  $(1;0)$ ,  $(1;1)$ ), з урахуванням заданих коефіцієнтів та умов виконання вправ (час, кількість спроб, характеристики курсанта/слухача), представлені в табл. 3.

Таблиця 3

Результати функціонування ШНМ

| $X_1$ | $X_2$ | $H_1$ | $H_2$ | $H_3$ | $D_1$ | $D_2$ | $D_3$ | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     |
| 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 1     |

В загальному вигляді чотирьохшарову ШНМ можна представити таким чином:

$$\bar{H} = f(\bar{W}_1, \bar{X}); \quad \bar{D} = f(\bar{W}_2, \bar{H}); \quad \bar{Y} = f(\bar{W}_3, \bar{D}).$$

З рівнянь отримуємо визначення чотирьохшарової ШНМ:

$$\bar{Y} = f(\bar{W}_1 f(\bar{W}_2 f(\bar{W}_3(\bar{X}))),$$

де  $\bar{X}$  – вхідний вектор мережі (вправи);

$\bar{W}$  – коефіцієнти індивідуальних характеристик курсанта/слухача. Наприклад, для вектора  $\bar{H}$ , що визначає психофізіологічні характеристики курсанта/слухача, маємо:

$H_1$  №1 –  $w_{11}$ ,  $w_{21}$  – коефіцієнти, які характеризують здатності курсанта/слухача №1;

$H_2$  №2 –  $w_{12}$ ,  $w_{22}$  – коефіцієнти, які характеризують здатності курсанта/слухача №2;

$H_3$  №3 –  $w_{13}$ ,  $w_{23}$  – коефіцієнти, які характеризують здатності курсанта/слухача №3.

Аналогічно враховуються вагові коефіцієнти, що характеризують складність ДПО (вектор  $\bar{D}$ ) та якість виконання навчальної вправи за своєчасністю (вектор  $\bar{Y}$ ).

З табл. 1 видно, що при виконанні вправи №2 ( $X_2 = 1$ ) курсанти/слухачі №2 і №3 виконали завдання вчасно (№1 – не виконав). При виконанні вправи №1 – ніхто не виконав завдання. При одночасному виконанні двох вправ ( $X_1 = 1$ ,  $X_2 = 1$ ) виконали завдання курсанти/слухачі №1 і №3, а №2 – не справився зі завданням.

### Візуалізація результату виконання навчальної вправи спеціалістом з ОПР

Розроблено програму візуалізації стану виконання вправи курсантом/слухачем за критерієм своєчасності. Інструктор має інформацію про те, на якому з етапів вирішення задачі знаходяться спеціалісти з

ОПР: загрози, передконфліктної чи конфліктної ситуації. Етап загрози слід розглядати як попередження, що необхідно негайно вжити заходів щодо вирішення ПКС. Передконфліктний етап показує, що уникнути виникнення конфліктної ситуації важко або неможливо. Виведення інформації про виникнення цих етапів дозволить тим, кого навчають, звернути увагу на необхідність вжиття заходів з вирішення ПКС.

Для підвищення ефекту пропонується дублювати цю інформацію даними щодо тих повітряних суден (ПС), між якими прогнозується ПКС. Для інструктора (викладача) така інформація допоможе привернути увагу того, кого навчають, на необхідність вживання заходів з розв’язання ПКС. При проведенні групових занять така інформація підкаже інструкторові, який курсант/слухач не справляється з поставленим завданням.

В Інституті аеронавігації Кіровоградської льотної академії Національного авіаційного університету розроблюється моделюючий комплекс (МК) Fusion, в якому передбачена багатомодульна система прогнозування ПКС (рис. 4).

Інформація з індикатора відображення динамічної повітряної обстановки, з регулярністю в одну секунду ( $t = 1$  с), передається в об’єктивну систему зберігання інформації щодо ДПО. Потім, враховуючи параметри руху ПС та їх взаємне розташування, визначається тип ПКС.

Після визначення системою типу ПКС, ця інформація надходить в модуль побудови зони безпеки ПС. Зона безпеки в МК Fusion будується згідно вимог керівних документів до витримування інтервалів ешелонування (поздовжнього, бічного і вертикального) [15]. Розмір зони безпеки залежить від структури повітряного простору та взаємного розташування ПС, для яких проводиться розрахунок. Зона безпеки будується уздовж вектора руху ПС кожний момент часу, коли проводиться перерахунок взаємного розташування ПС.

Попадання ПС в зону безпеки іншого ПС одночасно розцінюється, як порушення інтервалів ешелонування і фіксується як порушення.

У модулі виявлення порушень система, враховуючи тип конфліктної ситуації і діючи цій ситуації зону безпеки, визначає сам факт порушення встановлених інтервалів.

У випадках, коли система виявила порушення безпечних інтервалів, ця інформація надходить в систему зберігання інформації про порушення. Система зберігання інформації про порушення здатна зберегти три види інформації про конфлікт, який мав місце, а саме: позивні пари ПС, між якими відбувся конфлікт; час конфлікту; тип конфлікту.

Найбільш прийнятною для розуміння курсантом/слухачем або інструктором формою подачі інформації про настання етапів розвитку ПКС є візуальна форма подачі інформації.



Рис. 4. Структурна схема та алгоритм функціонування системи випереджаючого моделювання МК Fusion

З урахуванням розробленої класифікації пропонується виводити форму з трьома елементами, кожний з яких буде демонструвати кількість потен-

ційно-конфліктних ситуацій на кожному з етапів розвитку. На рис. 5 показаний зовнішній вигляд форми виведення такої інформації.

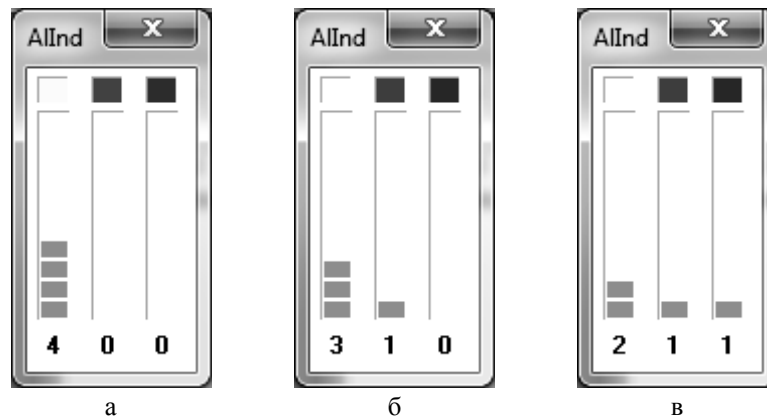


Рис. 5. Форми індикації: а – прогнозується чотири ПКС (перший стовпчик); б – одна з ПКС перейшла в стадію «передконфліктної ситуації» (другий стовпчик), в – одна з ПКС перейшла в стадію «конфліктної ситуації» (порушення інтервалів ешелонування), ще одна з ПКС – в стадію «передконфліктної ситуації» (другий та третій стовпчики)

Наведені на рис. 5 елементи в стовпчиках 1 – 3 відповідають етапам розвитку конфліктної ситуації. Жовтий елемент (стовпчик 1) відповідає етапу «Загроза виникнення конфліктної ситуації», малиновий (стовпчик 2) – «Передконфліктна ситуація», червоний (стовпчик 3) – «Конфліктна ситуація».

Індикатори, які розташовані під колірними елементами, призначені для відображення інформації про кількість ПКС на відповідному етапі розвитку.

Застосування запропонованої індикації етапів розвитку ПКС на робочому місці майбутнього фахівця з ОПР рекомендується на етапах навчальної підготовки, що дозволить курсантам/слухачам отримати необхідні навички виявлення і вирішення потенційно-конфліктних ситуацій.

На робочому місці інструктора (викладача) подібна індикація значною мірою полегшить прове-

дення групових занять з курсантами/слухачами, тому що дозволить своєчасно виявляти проблеми у виявленні і розв'язання ПКС в процесі виконання навчальних вправ.

### Висновки

Основними критеріям оцінювання якості виконання тренажерних вправ визначені безпомилковість та своєчасність. Врахувати їх запропоновано за допомогою використання штучних нейронних мереж.

Для побудови ШНС відповідно до основних положень концепції контролю факторів загроз та помилок класифіковано етапи розвитку конфліктної ситуації та визначено кількісні показники рівня складності на кожному з етапів за допомогою апарату нечіткої логіки.

Розроблено нейромережеву модель оцінювання своєчасності та безпомилковості прийняття рішень спеціалістом з обслуговування повітряного руху в процесі тренажерної підготовки та визначено її параметри.

Представлено структурну схему моделюючого комплексу Fusion з можливістю індикації етапів розвитку ПКС, який полегшує процес тренажерного навчання курсантів/слухачів – авіадиспетчерів, а також оцінювання їх дій в процесі виконання навчального завдання інструктором.

## Список літератури

1. Лейченко С.Д. Человеческий фактор в авиации : монография в 2-х кн. / С.Д. Лейченко, А.В. Малышевский, Н.Ф. Михайлик. – Кн. 1. – Кировоград : ИМЕКС, 2006. – 512 с.
2. Global Aviation Safety Study : A review of 60 years of improvement in aviation safety. – USA : Allianz Global Corporate & Specialty ; EMBRY-RIDDLE Aeronautical University, 2014. – 63 p.
3. Статистика крупнейших авиакатастроф мира за 1974-2014 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://forinsurer.com/public/14/07/07/3824/>. – Останній доступ : 2015.
4. ATM Services' Personnel : ESARR 5. – 2 ed. – European Organisation for the Safety of Air Navigation, 2002. – 24 p.
5. EATM Training Progression and Concepts. – European Organisation for the Safety of Air Navigation, 2004. – 56 p.
6. Правила видачі свідоцтв авіаційному персоналу в Україні: наказ Мінтрансу від 07.12.1998 р. № 486, зі змінами, внесеними наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 24.09.2007 р. N 842. – К. : Міністерство транспорту та зв'язку України, 2007. – 72 с.
7. Комашинский В. И. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи / В.И. Комашинский, Д.А. Смирнов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 94 с.
8. Архангельский В.И. Нейронные сети в системах автоматизации / В.И. Архангельский, И.Н. Богаенко, Г.Г. Грабовский, Н.А. Рюмишин. – К. : Техника, 1999. – 364 с.
9. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks / пер. с англ. – М. : Горячая линия – Телеком, 2001. – 182 с.
10. А.с. Комп'ютерна програма оптимізації вибору альтернативного варіанта завершення польоту повітряного корабля в позаитатних ситуаціях «Підказка» : свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 37872 від 11.04.2011 р. / В.П. Харченко, Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда, О.В. Герасименко.
11. А.с. Комп'ютерна програма «Вибір передпольотної інформації і прийняття рішення на виліт для автоматизованої системи підготовки передпольотної інформації (АСПП)» : свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 40062 від 09.09.2011 р. / В.П. Харченко, Т.Ф. Шмельова, О.В. Артеменко, В.Ю. Отряжій.
12. Контроль факторов угрозы и ошибок (КУО) при управлении воздушным движением / Cir. ICAO 314 – AN / 178. – Канада, Монреаль : ICAO, 2008. – 34 с.
13. Шмельова Т.Ф. Нечітка оцінка рівня складності польотної ситуації в процесі тренажерної підготовки спеціалістів з обслуговування повітряного руху / Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда, А.В. Землянський, О.М. Даниленко // Проблеми енергоефективності та автоматизації в промисловості та сільському господарстві : міжнар. наук.-практ. конф., Кировоград, 21-22 жовтня 2015 р. : тези доповідей. – Кировоград : Кировоградський національний технічний університет, 2015. – С. 118–120.
14. Борисов А.Н. Принятие решений на основе нечетких моделей : Примеры использования / А.Н. Борисов, О.А. Крумберг, И.П. Федоров. – Рига : Зинатне, 1990. – 184 с.
15. Организация воздушного движения / Doc .4444 – ATM/501 – 15-ое изд. – Канада, Монреаль : ICAO, 2007. – 474 с.

Надійшла до редколегії 11.12.2015

Рецензент: д-р фіз.-мат. наук, проф. В.Ф. Гамалій, Кировоградський національний технічний університет, Кировоград.

## НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНИВАНИЯ СВОЕВРЕМЕННОСТИ И БЕЗОШИБОЧНОСТИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ АВИАДИСПЕТЧЕРОМ В ПРОЦЕССЕ ТРЕНАЖЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ

Т.Ф. Шмелева, Ю.В. Сикирда, А.В. Землянский

Определены количественные показатели уровня сложности конфликтной ситуации при развитии потенциально конфликтной ситуации с помощью аппарата нечеткой логики. Разработана нейросетевая модель оценивания своевременности и безошибочности принятия решений специалистом по обслуживанию воздушного движения в процессе тренажерной подготовки и установлены ее параметры. С помощью моделирующего комплекса Fusion получена визуализация результатов выполнения учебного упражнения авиадиспетчером в соответствии с установленными критериями.

**Ключевые слова:** авиадиспетчер, предтренажерное обучение, потенциально конфликтная ситуация, этапы развития, нечеткие множества, нейронная сеть, моделирующий комплекс.

## NEURAL NETWORK MODEL OF EVALUATION CORECTNESS AND TIMELINESS OF DECISION MAKING DURING AIR TRAFFIC CONTROLLER TRAINING

T.F. Shmelova, Yu.V. Sikirda, A.V. Zemlyanskiy

Quantitative indicators of the complexity level of the conflict situation during the development of potential conflict situation with the help of fuzzy logic have idefined. The neural network model of assessment and timeliness of infallibility and decision-making by specialist of air traffic services in the course of simulator training has designed and its parameters have obtained. With the help of modeling complex Fusion visualization of results of performing a training exercise by air traffic controller in accordance with the established criteria has determined.

**Keywords:** air traffic controller, pre-training process, potentially conflict situation, stages of development, fuzzy sets, neural network, modeling complex.