

І. П. Мажара, О. І. Тимочко

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

## НЕЧІТКА НЕЙРОННА МЕРЕЖНА МОДЕЛЬ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

**Анотація.** Розроблено нечітка нейронна мережна модель інформаційної системи управління повітряним рухом. При побудові нечіткої нейронної мережної моделі процесу управління повітряним рухом необхідно досліджувати надійність роботи кожної особи групи керівництва польотами по формуванню потоків літаків в своїй зоні відповідальності в тому числі з урахуванням виникнення нештатних ситуацій в повітрі і на землі. В цьому випадку для побудови моделі необхідні засоби обробки, формалізації нечіткої інформації. **Висновки.** Отже, для побудова даної моделі вимагає застосування формального апарату нечіткої алгебри, нечіткої логіки, теорії нечіткої ідентифікації, тобто методів побудови нечітких моделей за результатами спостережень. Отримала подальший розвиток інформаційна модель управління повітряним рухом, яка, на відміну від відомих, являє собою ієрархічну нейронну мережу з нечітким описом впливає на процес управління повітряним рухом факторів. Інформаційна модель дозволяє підвищити безпеку польотів.

**Ключові слова:** нечітка множина, лінгвістична змінна, формування потоку літаків, правила нечітких продукцій, управління повітряним рухом.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Науково-технічний прогрес і пов'язана з ним автоматизація процесів управління істотно змінюють характер і умови праці осіб групи керівництва польотами (ГКрП) і по новому ставлять проблему врахування людського фактору при організації взаємодії людини і техніки в системі управління повітряним рухом (УПР) [1-3].

Впровадження нових способів діяльності з УПР, підвищення вимог до оперативності та якості вирішення завдань управління обумовлюють необхідність критичного аналізу відомих моделей (еталонів) діяльності і визначення напрямків їх вдосконалення на етапах розробки, дослідження і застосування для інформаційного забезпечення роботи і навчання осіб ГКрП [4-8].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** [9-14] показав, що на сучасному етапі не в повній мірі враховано вплив людського фактору на організацію взаємодії між особами які здійснюють безпосереднє управління екіпажами повітряних суден в складі групи керівництва польотами та засобами автоматизації. Даний факт тягне за собою необхідність вдосконалення існуючих методів оцінки діяльності авіаційних фахівців, шляхом більш повного врахування всіх факторів (включаючи людський), що впливають на функціонування осіб ГКрП.

**Мета статті:** визначення факторів які впливають на формування потоків літаків для заходу на посадку; розроблення нечіткої нейронної мережної моделі інформаційної системи управління повітряним рухом.

### Виклад основного матеріалу

При побудові нечіткої нейронної мережної моделі процесу УПР необхідно досліджувати надійність роботи кожної особи ГКрП по формуванню потоків

літаків в своїй зоні відповідальності в т. ч. з урахуванням виникнення нештатних ситуацій в повітрі і на землі. Майже на кожному етапі польоту присутні фактори, що відносяться до категорії нечітких. Тобто ці відомості є або неповними, або неясними або неточними за своєю природою: повітряна обстановка, фактична або прогнозована погода, орнітологічна обстановка, технічний стан транспортних засобів, дотримання планової таблиці, і т.п. Факторами, що впливають на процес УПР, або елементи його структури, є люди, які функціонують з урахуванням своїх особистих інтересів, цілей і характеру. В цьому випадку для побудови моделі необхідні засоби обробки, формалізації нечіткої інформації. Отже, для побудова даної моделі вимагає застосування формального апарату нечіткої алгебри, нечіткої логіки, теорії нечіткої ідентифікації, тобто методів побудови нечітких моделей за результатами спостережень [15-25].

З огляду на виявлені нечіткі і чіткі фактори, сформовані на підставі суджень і досвіду експертів, перший рівень ієрархічної нечіткої нейронної мережної моделі інформаційної системи управління процесом повітряного руху можна представити у вигляді з шести модулів (рис. 1). Кожен модуль в тій чи іншій мірі бере участь в реалізації відповідних блоків з схем формування потоків літаків (ФПЛ). Сьомий модуль моделі призначений для акумуляції результатів роботи попередніх модулів. Вхідними даними для цього модуля є виходи 1 – 6 модулів. У кожному модулі виділяється певна кількість факторів, що впливають на ефективність як окремого процес-блоку, так і всього процесу УПР в зоні візуального контролю в цілому (рис. 1).

Відповідно до схеми можна математично описати модель УПР в зоні візуального контролю. Шість модулів описують стан окремого процесу однієї з чотирьох схем формування потоків літаків (ФПЛ):

- “Запуск”,  $y_1 = O(x_j)$ , де  $j = 1, 2$ ;
- “Руління”,  $y_2 = M(x_j)$ , де  $j = 3, 4, 5$ ;
- “Попередній сарт”,  $y_3 = P(x_j)$ , де  $j = 6, 7, 8, 9$ ;
- “Зліг”,  $y_4 = A(x_j)$ , де  $j = 10, 11, 12, 13, 14$ ;
- “Посадка”,  $y_5 = S(x_j)$ , де  $j = 15, 16, 17, 18, 19$ ;
- “Пробіг”,  $y_6 = Z(x_j)$ , де  $j = 20, 21, 22$ .

де  $x_j$  – вхідні змінні кожного нечіткого нейронного мережного модуля, якими є різні чинники – це якісні характеристики окремого блок-процесу;  $y_k$  – вихід кожного з цих чотирьох модулів – оцінка ефективності k-го блок-процесу, де  $k = 1, 2, \dots, 6$  – відповідний номер модуля.

$$y_{pr} = F(y_k) = F(O(x_j), M(x_j), P(x_j), A(x_j), S(x_j), Z(x_j)). \quad (1)$$

Оцінка ефективності управління повітряним рухом  $y_{pr}$  залежить від стану всіх факторів, що впливають.

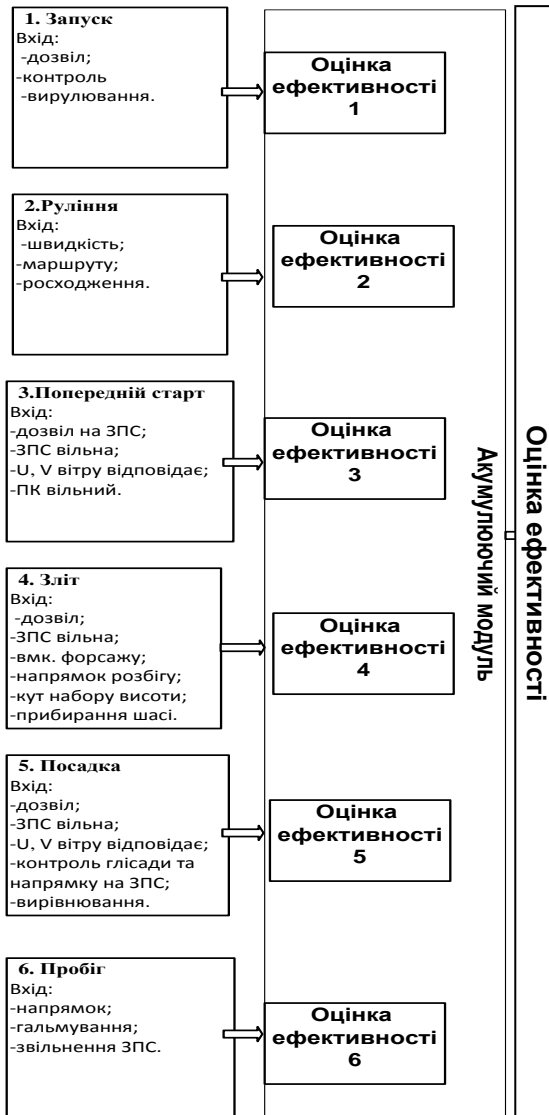


Рис. 1. Нечітка нейронна мережна модель інформаційної системи управління повітряним рухом

Для опису елементів нечіткої нейронної системи в процесі побудови моделі використовуються поняття нечіткої множини, лінгвістичної змінної і виконується побудова функції належності нечітких множин.

Вихідна змінна одна в кожному з шести модулів – це лінгвістичні змінні оцінка ефективності 1, оцінка ефективності 2, ..., оцінка ефективності 6, відповідно. Ці змінні, в свою чергу, є вхідними для акумулюючого модуля. На його виході формується лінгвістична змінна – оцінка ефективності.

Кожній лінгвістичній змінній відповідає п'ять термів: погано; нижче середнього; середньо; добре; відмінно (або операція відсутня). Нечітке числове обмеження термів – відрізок від 0 до 10. Так, лінгвістична змінна погано буде обмежена числовою оцінкою від 0 до приблизно 2, а лінгвістична змінна нижче середнього – від приблизно 2 до приблизно 4, і т.д. Коли в схемі ФПЛ будь-який процес відсутній, вихідний лінгвістичної змінної оцінка ефективності відсутнього модуля  $i$  ( $i = 1, \dots, 6$ ) відповідає терм відмінно, рівний максимальному значенню 10.

З огляду на, те що в рамках нечіткої зони кожного терму закон зміни кожної змінної явно нелінійний, форма функцій приналежності була обрана гаусом і сигмоїдної форми (рис. 2). Для побудови навчальних вибірок використовуються експертні оцінки фахівців. При складанні правила нечітких продукцій (ПНП) також враховуються в експертних оцінках, взаємозв'язок і значимість чинників відносно один одного в кожному процес-блоці.

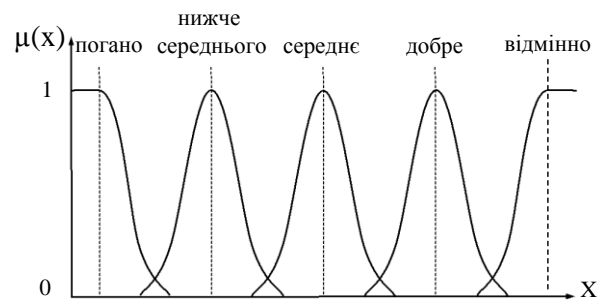


Рис. 2. Функції приналежності нечітких множин, що відповідають термам лінгвістичних змінних п'яти модулів нечіткої нейронної мережної моделі управління повітряним рухом

На виході кожного модуля визначається ефективність конкретного процесу. Він залежить не тільки від швидкості самого процесу, а й від якості УПР в певному модулі (наприклад, чи були порушені інтервали горизонтального і вертикального ешелонування), які впливають в кінцевому підсумку на безпеку і регулярність повітряного руху. Ці залежності здебільшого не очевидні, складні, невідомі. У процесі навчання з використанням нечіткої нейронної мережі коригуються спочатку задані пріоритети, визначаються параметри функції приналежності, згладжуються можливі розбіжності експертів ваговими коефіцієнтами (рис. 3). База знань цієї мережі будується в вигляді сукупності правил нечітких продукцій і вхідних лінгвістичних змінних  $x$  (відповідні фактори, що впливають на процес управління повітряним рухом).

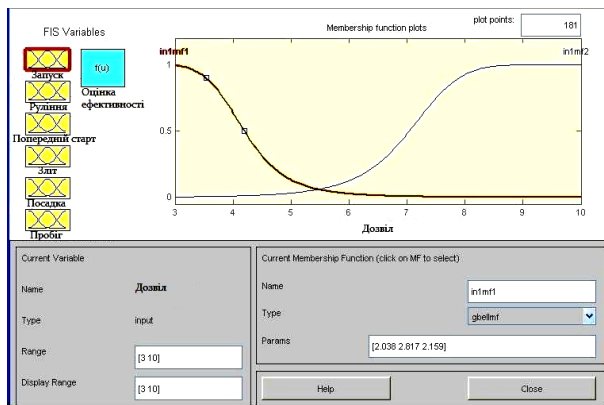


Рис. 3. Графік налаштування параметрів функції належності за допомогою графічних засобів системи MATLAB

1. ПНП першого модуля:

$$\Pi_i^S : \text{якщо } x_{1i} = O_{1i}^S, x_{2i} = O_{2i}^S, \text{ то } y_{1i}^S, \quad (2)$$

де  $i = 1, \dots, 25$  ( $25 = 52$  – дві лінгвістичні змінні, кожній з яких відповідає п'ять термів).

2. ПНП другого модуля:

$$\Pi_j^S : \text{якщо } x_{3j} = M_{1j}^S, x_{4j} = M_{2j}^S, x_{5j} = M_{3j}^S, \text{ то } y_{2j}^S, \quad (3)$$

де  $j = 1, \dots, 125$  ( $125 = 53$  – три лінгвістичні змінні, кожній з яких відповідає п'ять термів).

3. ПНП третього модуля:

$$\Pi_k^S : \text{якщо } x_{6k} = P_{1k}^S, x_{7k} = P_{2k}^S, x_{8k} = P_{3k}^S, \quad (4)$$

$$x_{9k} = P_{4k}^S, \text{ то } y_{3k}^S,$$

де  $k = 1, \dots, 625$  ( $625 = 54$  – чотири лінгвістичні змінні, кожній з яких відповідає п'ять термів)

4. ПНП четвертого модуля:

$$\Pi_l^S : \text{якщо } x_{10l} = A_{1l}^S, x_{11l} = A_{2l}^S, x_{12l} = A_{3l}^S, \quad (5)$$

$$x_{13l} = A_{4l}^S, x_{14l} = A_{5l}^S, \text{ то } y_{4l}^S,$$

де  $l = 1, \dots, 3125$  ( $3125 = 55$  – п'ять лінгвістичних змінних, кожній з яких відповідає п'ять термів).

5. ПНП п'ятого модуля:

$$\Pi_m^S : \text{якщо } x_{15m} = S_{1m}^S, x_{16m} = S_{2m}^S, x_{17m} = S_{3m}^S, \quad (6)$$

$$x_{18m} = S_{4m}^S, x_{19m} = S_{5m}^S, \text{ то } y_{5m}^S,$$

де  $m = 1, \dots, 3125$  ( $3125 = 55$  – п'ять лінгвістичних змінних, кожній з яких відповідає п'ять термів).

6. ПНП шостого модуля:

$$\Pi_n^S : \text{якщо } x_{20n} = Z_{1n}^S, x_{21n} = Z_{2n}^S, x_{22n} = Z_{3n}^S, \text{ то } y_{6n}^S, \quad (7)$$

де  $j = 1, \dots, 125$  ( $125 = 53$  – три лінгвістичні змінні, кожній з яких відповідає п'ять термів).

7. ПНП сьомого акумулюючого модуля:

$$\Pi_t^S : \text{якщо } y_{1t}^S = Y_{1t}^S, y_{2t}^S = Y_{2t}^S, y_{3t}^S = Y_{3t}^S, \quad (8)$$

$$y_{4t}^S = Y_{4t}^S, y_{5t}^S = Y_{5t}^S, y_{6t}^S = Y_{6t}^S, \text{ то } y_t^S,$$

де  $t = 1, \dots, 15625$  ( $15625 = 56$  – шість лінгвістичних змінних, кожній з яких відповідає п'ять термів);  $s = 1, \dots, 4$  – це номери чотирьох способів ФПЛ.

Умови ПНП IF ..., THEN ... (якщо ..., то ...) реалізуються функціями належності  $\mu(x_i)$  (фазифікація) сигмоїдної і гаусової форми. Тоді база правил нечітких продукцій, складена на основі експертних оцінок, складається з 313 правил.

### Висновки

Таким чином, в роботі були визначені фактори які впливають на формування потоків літаків для заходу на посадку. Формалізований досвід експертів дозволив побудувати нечітку нейронну мережу моделі інформаційної системи управління повітряним рухом. Модель включає шість модулів, що реалізують відповідно одну з схем ФПЛ за допомогою нечіткої нейронної мережі. Сьомий модуль моделі призначений для попередніх модулів.

Отримала подальший розвиток інформаційна модель управління повітряним рухом, яка, на відміну від відомих, являє собою ієрархічну нейронну мережу з нечітким описом впливає на процес управління повітряним рухом факторів. Інформаційна модель дозволяє підвищити безпеку польотів.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Павленко М. А. Залежність функціональних станів оператора від комплексу зовнішніх та внутрішніх факторів при роботі з АСУ / М. А. Павленко, О. А. Черток, Є. А. Толкаченко, В. П. Ясинецький // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2017. – № 4. – С. 111-114.
2. Анализ методов моделирования деятельности оператора в системе "человек-машина" / О. В. Сергунова, М. А. Павленко, А. И. Тимочко, Е. В. Воробьев // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2015. – № 7. – С. 80-82.
3. Контроль факторов угрозы и ошибок при управлении воздушным движением / Сиг. ICAO 314 – AN / 178. – Канада, Монреаль : ICAO – ISBN 978-92-9231-266-4, 2008. – 34 с.
4. Гришманов Е. А. Методы интенсификации процессов формирования навыков распознавания и устранения потенциально-конфликтных ситуаций персоналом ОВД / Е. А. Гришманов, Ю. В. Чинченко, И. Е. Буланов // Наукові праці академії, вип. III, част. II. – Кіровоград : ДЛАУ, 1998. – С. 16-21.
5. Онпченко П. Н. Управление воздушным движением и перспективные направления его совершенствования / П. Н. Онпченко, М. А. Павленко, А. И. Тимочко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2015. – № 2. – С. 38-41.
6. Чинченко Ю. В. Подходы к автоматизации контроля уровня готовности авиадиспетчеров к действиям в кризисных ситуациях / Ю. В. Чинченко // Искусственный интеллект. – Донецк: Наука і освіта, 2003. – № 4. – С. 378-383.
7. Чинченко Ю. В. Автоматизация управления уровнем готовности авиадиспетчеров к действиям в кризисных ситуациях / Ю. В. Чинченко // Тез. докл. Межд. НПК «Современные информационные технологии в управлении и профессиональной подготовке операторов сложных систем». – Кіровоград: ГЛАУ, 2003. – С. 67-68.
8. Дем'янчук В. С. Безпека польотів та організація повітряного руху Київ : ДП ОПР України, 2009. 424 с.

9. Бердник П. Г. Математические основы эргономических исследований / П. Г. Бердник, Г. А. Кучук, Н. Г. Кучук, Д. Н. Обидин, М. А. Павленко, А. В. Петров, В. Н. Руденко, А. И. Тимочко // Кропивницький : КІА НАУ, 2016. 248 с.
10. Чинченко Ю. В. Автоматизация управления уровнем готовности авиадиспетчеров к действиям в кризисных ситуациях / Ю. В. Чинченко // Тез. док. МНПК «Современные информационные технологии в управлении и профессиональной подготовке операторов сложных систем». Кировоград: ГЛАУ, 2003. С. 67-68.
11. Неделько В.Н. Концепция информационной поддержки оператора в автоматизированных системах обслуживания воздушного движения / В.Н. Неделько // Аерокосмічні системи моніторингу та керування: Секція «Аерокосмічні та наземні системи керування транспортом»: Мат-ли IV МНТК «АВІА-2002». – Т. 2. – К.: НАУ, 2002. – С. 21.13-21.16.
12. Неделько С.Н. Структурно-динамический подход к представлению решений в интеллектуальных автоматизированных системах обслуживания воздушного движения / С.Н. Неделько, В.Н. Неделько, Е.А. Дубровский // Проблемы аэронавигации. – Кировоград: ДЛАУ, 1998. – Вып. III, ч. II. – С. 5-12.
13. Неділько В.М. Пертинентний підхід до підтримки прийняття рішень при керуванні об'єктами, що можуть бути небезпечними / В.Н. Неделько // Комп'ютерна математика. Оптимізація обчислень: Зб. наук. праць. НАН України. Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова, Наукова рада НАН України з пробл. «Кібернетика». – К.: 2001. – Т. 2. – С. 292-300.
14. Неделько В.Н. Прогнозирование информационных потребностей операторов особо сложных систем управления / В.Н. Неделько // Искусственный интеллект. – 2002. – № 3. – С. 420-427.
15. Павленко М. А. Основи теорії систем та системного аналізу / М. А. Павленко, О. В. Петров, С. І. Хмелевський // Харків : ХНУПС, 2018. 215 с.
16. Герасимов Б.М. Человеко-машинные системы принятия решений с элементами искусственного интеллекта / Б.М. Герасимов, В.А. Тарасов, И.В. Токарев // – К.: Наук. думка, 1993. – 184 с.
17. Герасимов Б.М. Нечеткие множества в задачах проектирования, управления и обработки информации / Б.М. Герасимов, Г.Г. Грабовский, Н.А. Рюмшин // – К.: Техніка, 2002. – 140 с.
18. Архангельский В.И. Нейронные сети в системах автоматизации / В.И. Архангельский, И.Н. Богаенко, Г.Г. Грабовский, Н.А. Рюмшин // – К.: Техніка, 1999. – 364 с.
19. 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.
20. Donets V., Kuchuk N., Shmatkov S. Development of software of e-learning information system synthesis modeling process. Сучасні інформаційні системи. 2018. Т. 2, № 2. С. 117–121. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.20>.
21. Кучук Н.Г., Гавриленко С.Ю., Лукова-Чуйко Н.В., Собчук В.В. Перерозподіл інформаційних потоків у гіперконвергентній системі / С.Ю. Гавриленко. Сучасні інформаційні системи. 2019. Т. 3, № 2. С. 116-121. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.2.20>
22. Nechausov A., Mamusuć I., Kuchuk N. Synthesis of the air pollution level control system on the basis of hyperconvergent infrastructures. Сучасні інформаційні системи. 2017. Т. 1, № 2. С. 21 – 26. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.04>
23. Артеменко О.В. Построение нейросетевой модели анализа возможности выполнения полета / О.В. Артеменко, Т.Ф. Шмельова, А.С. Тимошенко // Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. пр. ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління». – 2012.– Вип. 1 (21). – Т. 2. – С. 68–74.
24. Павленко М.А. Використання середовища Matlab для моделювання діяльності оператора АСУ / М.А. Павленко, В.М. Руденко, С.В. Сериченко, С.І. Сімонов // Системи озброєння та військової техніки. Науковий журнал. – 2009. – № 3 (19). – С. 79-83
25. Штовба, С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба – М.: Горячая линия–Телеком, 2007. – 288 с.

Received (Надійшла) 21.01.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 14.04.2021

### Fuzzy neural network model of air traffic control information system

I. Mazhara, O. Tymochko

**Abstract.** A fuzzy neural network model of the air traffic control information system has been developed. When constructing a fuzzy neural network model of the air traffic control process, it is necessary to study the reliability of each flight crew member's work on the formation of aircraft flows in their area of responsibility, including the occurrence of abnormal situations in the air and on the ground. In this case, the construction of the model requires means of processing, formalization of fuzzy information. Thus, the construction of this model requires the use of a formal apparatus of fuzzy algebra, fuzzy logic, fuzzy identification theory, that is, methods for constructing fuzzy models based on the results of observations. To describe the elements of the fuzzy neural system in the process of building the model, the concepts of fuzzy set, linguistic variable are used and the construction of the membership function of fuzzy sets is performed. Given that within the fuzzy zone of each term the law of change of each variable is clearly nonlinear, the form of membership functions was chosen by Gaussian and sigmoid form. Expert assessments of specialists are used to build training samples. When drawing up the rules of fuzzy products are also taken into account in expert assessments, the relationship and significance of factors relative to each other in each block. The output of each module determines the efficiency of a particular process. It depends not only on the speed of the process itself, but also on the quality of air traffic control in a particular module (for example, whether the intervals of horizontal and vertical separation have been violated), which ultimately affect the safety and regularity of air traffic. Thus, the formalized experience of experts allowed to build a fuzzy neural network model of air traffic control information system. The model includes six modules that implement, respectively, one of the schemes for the formation of aircraft flows using a fuzzy neural network. The seventh module of the model is intended for previous modules. The information model of air traffic control has been further developed, which, unlike the known ones, is a hierarchical neural network with a vague description of the factors influencing the air traffic control process. The information model allows to increase flight safety.

**Keywords:** fuzzy set, linguistic variable, aircraft flow formation, fuzzy product rules, air traffic control.