

УДК 681.3

Н.О. Королюк<sup>1</sup>, Р.В. Корольов<sup>1</sup>, О.А. Коршець<sup>2</sup><sup>1</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків<sup>2</sup> Національний університет оборони України ім. І. Черняхівського, Київ

## ПРОЦЕДУРА ФОРМАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПРИ ОПИСІ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ

*Розглядаються особливості формалізації лінгвістичних змінних, що використовуються при описі процесу управління рухом повітряних об'єктів, які пов'язані з визначенням їх функцій приналежності за допомогою метода парних порівнянь. Формалізація лінгвістичних змінних, які використовуються при описі процесу управління рухом повітряних об'єктів, за допомогою методу парних порівнянь, що лежить в основі методу аналізу ієрархій, дає можливість створити модель прийняття рішень, яка має нечіткий словесний опис і є основою для якісного поліпшення та підвищення ефективності автоматизованих систем керування.*

**Ключові слова:** метод парних порівнянь, матриця попарних порівнянь, вектор пріоритетів, максимальне власне значення, погодженість суджень.

### Вступ

Діяльність авіаційного диспетчера пов'язана з постійним процесом прийняття рішень. Якісне управління організацією потоків повітряного руху залежить від авіадиспетчерів, що підтримують безпечний, впорядкований та прискорений потік повітряного руху. Видача диспетчерського дозволу, виконання процедур, рішення потенційно конфліктних ситуацій або дій в особливих випадках мають різний ступінь складності процесу прийняття рішень. Кожне рішення, прийняте авіаційним диспетчером, має бути адекватним ситуації, яка виникла, та відповідати критерію безпеки польотів [1–2].

Аналіз показав, що під час польоту диспетчери відчують великі навантаження і стрес. При нестандартних ситуаціях наземні служби змушені терміново приймати рішення щодо обходу несприятливого фронту, розведення потоків у вузлових зонах з великою кількістю літаків. Актуальним є впровадження нових технологій управління повітряним рухом, що дозволять виключити ситуації з перевантаженням диспетчера, а також для забезпечення найефективнішого використання наявних ресурсів. Система управління польотами буде залучатися до організації повітряного руху тільки при виникненні екстрених ситуацій. Велика роль в управлінні польотами буде віддана машинам – комп'ютерам повітряних суден і наземним автоматизованим системам. Вони візьмуть на себе функцію обміну інформацією, а диспетчер буде поступово зникати з цього процесу та виконуватиме функцію швидше рекомендаційну або коригувальну. Система буде видавати узгоджені рекомендації щодо виходу із надзвичайних ситуацій, наприклад, у випадку, якщо на ешелоні несподівано з'явилася хмара попелу або гроза. Але роль

людини все одно залишається головною, тому що саме вона приймає остаточне рішення [2].

Для здійснення оптимізації при рішенні завдань штурманського забезпечення при повній визначеності та вірогідності вихідної інформації в існуючих автоматизованих системах управління широко використовуються методи теорії ймовірностей, випадкових функцій, методи математичного програмування. Дані методи не дозволяють урахувати неповноту, невизначеність, неточність відомостей про метеоумови, обстановці за маршрутом польоту і на аеродромах, помилки навігаційних вимірів, дотримування режиму польоту в умовах жорсткого ліміту часу. Штучне введення однозначності означає огрубіння вихідних даних, що сприяє одержанню нехай чіткого, але невірною результату [3].

**Постановка задачі.** У роботі [3–5] запропоновано при управлінні повітряними об'єктами військового призначення, цивільної авіації враховувати інтуїцію, досвід, накопичені знання фахівців по управлінню повітряним рухом, що можливо завдяки використанню в теорії управління моделей і методів штучного інтелекту та інженерії знань.

Дослідження факторів, що впливають на безпеку та організацію польотів, показали, що вони мають якісні та кількісні характеристики [6]. Тому для їхнього опису найбільш зручним є представлення у формі лінгвістичних змінних (ЛЗ), які виражають знання експерта, що має певний досвід роботи по управлінню повітряним рухом [7]. ЛЗ є розповсюдженим способом опису складних систем, параметри яких розглядаються не з кількісних, а з якісних позицій. При цьому ЛЗ дають можливість поставити у відповідність якісним значенням деяку кількісну інтерпретацію із заданою часткою впевненості.

Безпосереднє застосування ЛЗ у тій або іншій області зв'язано з рішенням завдання її формування, тобто опису компонентів. Це, як правило, реалізується на основі опитувань експертів – фахівців у даній предметній області. Особлива увага при цьому приділяється формуванню функцій приналежності нечітких множин, що є базовими термами даної ЛЗ.

Таким чином, розглянемо особливості формування ЛЗ, яка використовується при описі процесу управління рухом повітряних об'єктів.

**Мета статті** полягає в розробці формалізації ЛЗ, які використовуються при описі процесу управління рухом повітряних об'єктів, пов'язаної з визначенням функцій приналежності нечітких змінних, які складають зміст терм-множини даних ЛЗ.

### Виклад основного матеріалу

Розглянемо процес формалізації ЛЗ «Висота», що є однією з важливих умов організації використання повітряного простору. Одним з найпоширеніших методів опитувань експертів є метод парних порівнянь, що лежить в основі методу аналізу ієрархій, запропонованого М. Саати [7–8]. Метод використовується для одержання групових суджень за допомогою консенсусу. В результаті будь-яке отримане рішення перетворюється для особи, що приймає рішення, у зовсім певну відповідь. Отже, використовуючи метод парних порівнянь, здійснено індивідуальне непряме опитування авіадиспетчерів, які приймають особисту участь при управлінні повітряними об'єктами і мають багаторічний досвід роботи. В результаті формалізована ЛЗ «Висота» шляхом формування функцій приналежності нечітких множин «Мала», «Середня», «Велика», «Стратосфера». Процедура обробки результатів опитування експертів наступна:

1. Кожний експерт І, з погляду розглянутої нечіткої змінної (наприклад, «Мала»), робить порівняння значення висоти з кожним з інших значень, керуючись при цьому наступною шкалою (табл. 1) [7].

Таблиця 1

Шкала порівняння значень

	Якісна оцінка	Зміст якісної оцінки
0	Не порівнянність	Немає смислу порівнювати ці оцінки
1	Однакове значення	Елементи рівні по значимості
2	Проміжна оцінка між сусідніми оцінками	Необхідний компроміс
3	Мала значимість	Елемент $x_i$ слабо значимий ніж $x_j$ . Існують показання про перевагу одного елемента іншому, але показання не переконливі

Закінчення табл. 1

	Якісна оцінка	Зміст якісної оцінки
4	Проміжна оцінка між сусідніми оцінками	Необхідний компроміс
5	Істотна або сильна значимість	Існують гарні докази, які можуть показати, що один з елементів більш важливий
6	Проміжна оцінка між сусідніми оцінками	Необхідний компроміс
7	Очевидна значимість	Існують переконливі докази більшої значимості одного елемента в порівнянні з іншим
8	Проміжна оцінка між сусідніми оцінками	Необхідний компроміс
9	Абсолютна значимість	Максимально підтверджується відсутність переваги одного елемента іншому

2. Складання матриці парних порівнянь. За згодою порівняння ступеня пріоритету одного елемента іншому виробляється для значення, що стоїть в лівому стовпці стосовно значення, що стоїть у верхньому рядку матриці парних порівнянь. Таким чином, експерт висловлює судження

$$a_{ij}^{(1)} = \frac{\mu_{\text{мал}}^{(1)}(x_i)}{\mu_{\text{мал}}^{(1)}(x_j)}, \quad (1)$$

де  $\mu_{\text{мал}}^{(1)}(x_i)$  – ступінь приналежності елемента  $x_i$  нечіткої змінної «Мала», висловлена експертом І;

$\mu_{\text{мал}}^{(1)}(x_j)$  – ступінь приналежності елемента  $x_j$  нечіткої змінної «Мала», висловлена експертом І.

При порівнянні елемента із самим собою маємо рівну значимість, тобто 1. Після проведення суджень одержуємо матрицю парних порівнянь:

«Мала»	200	400	600	800	1000
200	1	3	7	8	9
400	1/3	1	3	7	8
600	1/7	1/3	1	2	3
800	1/8	1/7	1/2	1	3
1000	1/9	1/8	1/3	1/3	1

3. Обчислення вектора пріоритетів по даній матриці, тобто визначення головного власного вектора, який після нормалізації стає вектором пріоритетів. Підсумуємо елементи кожного стовпця та одержимо зворотні величини цих сум. Сума стовпців дає вектор-рядок (1,7; 4,59; 11,83; 18,33; 24). Зворотними величинами цих сум є  $\omega = (0,58; 0,22; 0,08; 0,05; 0,04)$ , а після нормалізації стають (1; 0,37; 0,14; 0,09;

0,07). Отже, одержуємо  $\mu_{\text{мал}}^{(1)}(x) = (10/1; 15/0,37; 20/0,14; 25/0,09; 30/0,07)$ .

4. Оцінювання міри погодженості суджень. Відомо, що погодженість позитивної зворотно симетричної матриці еквівалентна вимозі рівності її максимального власного значення  $\lambda_{\text{max}}$  з  $n$  (число значень курсового кута). Отже, задача

$$A \omega^T = \lambda_{\text{max}} \omega \quad (2)$$

$\mu(x)$  має єдине рішення – власне значення матриці. Помноживши матрицю порівнянь  $A$  праворуч на вектор  $\omega^T$ , одержимо новий вектор. Розділивши перший компонент цього вектора на перший компонент вектора  $\omega$ , другий компонент нового вектора на другий компонент вектора  $\omega$  і т.д., визначимо ще один вектор. Розділивши суму компонентів на число компонентів, знайдемо наближення до числа  $\lambda_{\text{max}}$ , яке використовується для оцінки погодженості суджень. Чим ближче  $\lambda_{\text{max}}$  до  $n$ , тим більше погоджений результат:

$$\begin{pmatrix} 1 & 3 & 7 & 8 & 9 \\ 1/3 & 1 & 3 & 7 & 8 \\ 1/7 & 1/3 & 1 & 2 & 3 \\ 1/8 & 1/7 & 1/2 & 1 & 3 \\ 1/9 & 1/8 & 1/3 & 1/3 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,58 \\ 0,22 \\ 0,08 \\ 0,05 \\ 0,04 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2,51 \\ 1,32 \\ 0,45 \\ 0,31 \\ 0,15 \end{pmatrix}; \begin{pmatrix} 2,51 \\ 1,32 \\ 0,45 \\ 0,31 \\ 0,15 \end{pmatrix} \div \begin{pmatrix} 0,58 \\ 0,22 \\ 0,08 \\ 0,05 \\ 0,04 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4,32 \\ 6 \\ 5,62 \\ 6,2 \\ 3,75 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$\lambda_{\text{max}} = 5,178.$$

5. Виходячи з оцінки максимального власного значення, проаналізуємо погодженість суджень експерта при виконанні парних порівнянь.

$$\frac{\lambda_{\text{max}} - n}{\alpha(n-1)} \leq 0,1, \quad (4)$$

де  $\alpha$  – випадковий індекс, що залежить від кількості порівнюваних об'єктів (табл. 2).

Таблиця 2

Значення випадкового вектора

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$\alpha$	0,6	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6

У випадку невиконання умови погодженості опитування повинно бути проведено повторно.

$$\frac{\lambda_{\text{max}} - n}{n-1} = \frac{5,178 - 5}{4} = 0,04 < 0,1. \quad (5)$$

Розбіжність в судженнях експерта дуже мала (4%), що вважається допустимим, отже, можемо формалізувати ЛЗ «Висота» шляхом побудови функції приналежності нечітких змінних, які складають зміст терм-множини ЛЗ.

Для розглянутої вище нечіткої змінної «Мала» побудуємо кусочно-лінійну функцію приналежності  $\mu_{\text{мал}}^{(1)}(x) = (200/1; 400/0,37; 600/0,14; 800/0,09; 1000/0,07)$ .

На рис. 1 представлена ЛЗ «Висота» після побудови функцій приналежності всіх нечітких змінних.

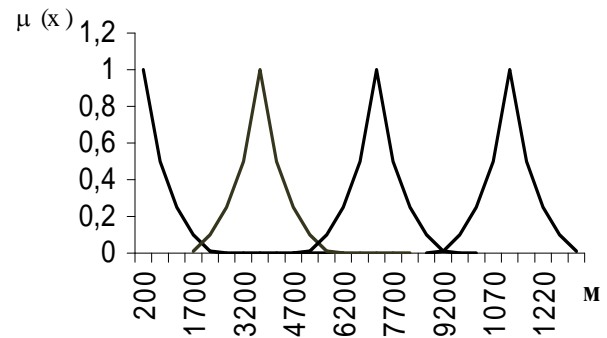


Рис. 1. Лінгвістична змінна «Висота»

Отримані кусочно-лінійні функції приналежності можуть бути апроксимовані деякими гладкими функціями. Звичайно таке завдання ставиться при необхідності забезпечити компактність подання ЛЗ або мінімізації обчислювальних витрат.

### Висновки

Таким чином, формалізація лінгвістичних змінних, які використовуються при описі процесу управління рухом повітряних об'єктів, за допомогою методу парних порівнянь, що лежить в основі методу аналізу ієрархій, дає можливість створити модель прийняття рішень, яка має нечіткий словесний опис і є основою для якісного поліпшення та підвищення ефективності автоматизованих систем керування.

### Список літератури

1. Повітряний Кодекс України від 19 травня 2011 року № 3393-VI [Електронний ресурс]. – К.: Кабінет міністрів України. [cited 2017-03-21]. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon.golovbukh.ua>.
2. Наказ Міністерства інфраструктури України від 28.09.2016 № 339 «Стратегічний план розвитку Державного підприємства обслуговування повітряного руху України до 2020 року»
3. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьева и др. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.
4. Королюк Н.А. Логико-лингвистическая модель для повышения оперативности и качества принятия решения при наведении / Н.А. Королюк, А.И. Тимочко, О.В. Касьян

// *Авиационно-космическая техника и технология*. – Х.: Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ". – 2005. – Вып. 3(19). – С. 60-63.

5. Харченко В.П. Системи підтримання прийняття рішень авіаційних диспетчерів під час управління повітряним рухом / В.П. Харченко, В.А. Лазоренко // *Вісник НАУ*. – Х.: НАУ. – 2008. – Вип. № 1. – С. 30-36.

6. Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 31 травня 2010 року N 320 «Про затвердження Положення про нагляд за безпекою польотів у системі організації повітряного руху та змін до деяких нормативно-правових актів»

7. Саати Т. *Принятие решений. Метод анализа иерархий* / Т. Саати; пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. – М.: Радио и связь, 1993. – 314 с.

8. Поспелов Д.А. *Логико-лингвистические модели в системах управления* / Д.А. Поспелов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 190 с.

Надійшла до редколегії 8.06.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. В.І. Васишин, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### ПРОЦЕДУРА ФОРМАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОПИСАНИИ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ

Н.А. Королюк, Р.В. Королев, Е.А. Коршец

*Рассматриваются особенности формализации лингвистических переменных, используемых при описании процесса управления движением воздушных объектов, связанных с определением их функций принадлежности с помощью метода парных сравнений. Формализация лингвистических переменных, которые используются при описании процесса управления движением воздушных объектов, с помощью метода парных сравнений, лежащая в основе метода анализа иерархий, дает возможность создать модель принятия решений, имеет нечеткое словесное описание и является основой для качественного улучшения и повышения эффективности автоматизированных систем управления.*

**Ключевые слова:** метод парных сравнений, матрица попарных сравнений, вектор приоритетов, максимальное собственное значение, согласованность суждений.

### PROCEDURE FORMALIZATION DATA USED IN DESCRIBING OF AIR TRAFFIC CONTROL FACILITIES

N. Koroyuk, R. Korolev, O. Korshets

*The features formalize linguistic variables used in describing the process of air traffic control facilities that are associated with defined features wooden p-ness using the method of paired comparisons. Formalization of linguistic variables used in describing the process of air traffic control facilities, using the method of paired comparisons, the underlying hierarchy analysis method makes it possible to create a model decision that has fuzzy verbal description and a basis for improving the quality and efficiency of automated control systems.*

**Keywords:** method of paired comparisons matrix of pairwise comparisons, the vector priorities actual maximum value judgments consistency.