

DOI 10.33099/2786-7714-2024-1-6-28-35

УДК 519.6

¹Шевяков Юрій Іванович (доктор технічних наук, професор)

<https://orcid.org/0000-0002-5322-6674>

²Миронюк Микола Юрійович (кандидат військових наук)

<https://orcid.org/0000-0002-7164-2700>

²Дзюбенко Юрій Анатолійович (кандидат військових наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0001-6213-6905>

²Ярошенко Ярослав Віталійович (доктор філософії)

<https://orcid.org/0000-0001-6213-6905>

¹Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

²Національний університет оборони України, Київ, Україна

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЛЬОТНОЇ ПІДГОТОВКИ ПІЛОТІВ НА ОСНОВІ АЛГОРИТМІВ НЕЧІТКОГО ВИВЕДЕННЯ

Дослідження спрямоване на розвиток нового підходу до оцінки ефективності льотної підготовки пілотів, використовуючи алгоритми нечіткого виведення. Цей підхід враховує комплексні аспекти, які впливають на професійну компетентність та безпеку пілота під час польотів. Врахування таких факторів, як рівень знань і навичок, досвід пілота, його психологічний стан і умови польоту, дає можливість отримати об'єктивну картину ефективності підготовки. Розроблений метод оцінювання є інноваційним і відкриває нові можливості для підвищення рівня підготовки пілотів та забезпечення безпеки в авіації. Використання алгоритмів нечіткого виведення дозволяє враховувати нестандартні ситуації та реальні умови польотів, що робить оцінку більш адаптивною та точною. Потенційні переваги цього підходу включають можливість ідентифікації слабких місць у підготовці пілотів та вчасного втручання для їх покращення. Крім того, врахування психологічного стану пілота може допомогти у запобіганні стресових ситуацій під час польоту, що також впливає на загальну безпеку.

Ключові слова: льотна підготовка; нечітка логіка; логічне виведення; ефективність.

Вступ

Питання ефективності льотної підготовки військових пілотів є ключовим у сучасних умовах, оскільки воно впливає на успішність виконання завдань та здатність пілотів ефективно реагувати на різноманітні бойові ситуації, які виникають в залежності від завдань, що виконуються, типів літальних апаратів та командної роботи направленої на вирішення завдання. Створення об'єктивних та комплексних методів оцінювання вимагає ретельного врахування різних аспектів навичок та здібностей пілотів, включаючи:

знання основ тактики ведення бойових дій, характеристик літака, тактичних прийомів ведення бою (нанесення авіаційних ударів);

навички пілотування, використання зброї та навігації;

стійкість до стресу, здатність до концентрації уваги, швидкість реакції;

вміння приймати рішення в умовах невизначеності та ризику.

Традиційні методи оцінювання ефективності льотної підготовки пілотів можуть бути обмеженими в їх здатності враховувати множину аспектів навчання та мають ряд недоліків, таких як суб'єктивність оцінок, складність врахування

множини факторів, що впливають на успішність польоту, неможливість прогнозувати поведінку пілота в нештатних ситуаціях, тобто можуть бути не чутливими до нечіткості даних та вимог, що виникають під час польотів.

Підготовка пілотів розглядається як складний процес, який вимагає великих витрат часу, коштів та зусиль. Наразі існує потреба в удосконаленні методів оцінювання ефективності підготовки з метою забезпечення вищого рівня безпеки та професійності під час здійснення польотів. Очікується, що використання алгоритмів нечіткого виведення в оцінці льотної підготовки пілотів дозволить збільшити точність та об'єктивність цих оцінок, а також забезпечить більш гнучкий підхід до врахування різноманітних факторів, що впливають на процес навчання. Практична значимість дослідження полягає в його потенційній здатності покращити безпеку польотів та оптимізувати навчальні програми.

Особливості процесу професійної підготовки військових льотчиків висвітлені у наступних джерелах:

підготовка до льотної діяльності [1-4]
([1] Автор більше уваги приділяє педагогічним аспектам формування готовності, тоді як

психологічні особливості курсантів, їхні мотивації, страхи та емоційні стани розкриті не так детально; дослідження базується на теоретичних положеннях та літературних джерелах, але не містить результатів емпіричних досліджень); ([2] Розглянутий досвід виконання бойових завдань обмежений старим парком озброєння і військової техніки, якість підготовки на нових зразках техніки потребує навчання пілотів в сумісництві з країнами партнерами використовуючи нові підходи як до навчання так і до оцінювання самої підготовки.); ([3] Підкреслено необхідність комплексного підходу до формування психологічної готовності пілотів цивільної авіації який доцільно розглянути як складову психологічної готовності пілотів тактичної авіації.); ([4] Запропоновано практичні рекомендації щодо вдосконалення навчального процесу проте не запропоновано врахування емпіричних даних та методів щодо їх збору);

підготовка до дій в особливих ситуаціях у польоті [5-8]; ([5] Не висвітлено емпіричні дослідження наведених методів підготовки); ([6] Запропоновано розробка та впровадження програм підготовки персоналу які включають вивчення методики CRM та QRH для підвищення безпеки польотів та зменшити ризики авіаційних інцидентів, спричинені людським фактором. Однак, для того, щоб остаточно оцінити ефективність цих програм, необхідна чітка система оцінювання підготовки пілотів); ([7] Запропонована система оцінювання ефективності підготовки пілотів має багато переваг, які можуть допомогти покращити безпеку польотів. Однак, важливо враховувати й деякі недоліки системи, такі як складність, вартість та суб'єктивність.); ([8] Запропоновано оцінювати інтегральну кількісну оцінку індивідуального психофізіологічного стану з використанням п'яти методів, оцінювання яких порівнюються для оцінювання рівня придатності до виконання професійної діяльності, однак для оцінювання ефективності підготовки пілотів вони мають певні обмеження, а саме оцінка здатності пілотів діяти в умовах невизначеності та діяти в критичних ситуаціях);

формуванням професійних компетенцій у майбутніх авіаційних фахівців [3, 9, 11]. ([9-11] Наведено професійні компетенції проте не відображено емпіричні дослідження, які б вказували на достатній рівень професійної підготовки, що зумовлює необхідність в проведенні додаткових досліджень з визначення професійної компетентності).

Проведений аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить, що існуючі підходи мають свої переваги, але їх недоліки полягають у відсутності емпіричних даних, що свідчить про необхідність проведення емпіричних досліджень, щоб перевірити на практиці запропоновані моделі та методики підготовки пілотів, а також оцінити

рівень підготовки пілотів. Проте для проведення емпіричних досліджень в першу чергу потрібно запропонувати метод оцінювання ефективності льотної підготовки пілотів. Враховуючи значний науковий інтерес до завдання оцінювання льотної підготовки пілотів в умовах скорочених термінів, одним з перспективних напрямків дослідження в цій галузі є використання алгоритмів нечіткої логіки, основи якої були закладено американським ученим Лютфі Заде [12], а її розвитку сприяли праці зарубіжних учених [13-15], тому для вирішення запропонованої задачі запропоновано розробити інтегрований підхід, який оцінюватиме ефективність льотної підготовки з використанням алгоритмів нечіткого виведення, які можуть бути використані для оцінювання пілотажної майстерності (яка включає в себе навички, знання та досвід пілота) та аналізу помилок пілотів (які спричинені психологічним станом або умовами польоту), враховуючи які, отримаємо змогу оцінювати підготовку комплексно, а також забезпечити збір емпіричних даних для об'єктивної оцінювання ефективності навчання пілотів, яка є актуальною науковою задачею.

Мета статті полягає в розробці методу оцінювання ефективності льотної підготовки пілотів.

Матеріали і методи

У статті використано загальнонаукові методи дослідження, такі як аналіз (для визначення вимог до підготовки пілота) та синтез (для узагальнення процесу оцінювання ефективності підготовки пілота), а також теорію нечіткої логіки для визначення рівня підготовки пілота.

Результати

Статистика авіаційних подій свідчить про те, що переважна їх кількість пов'язана з людським фактором, оцінка якого складне завдання і у відповідь на яке, не існує єдиного методу, який би дозволив точно оцінити всі його аспекти. Ця теза відображає не лише складність та відповідність роботи пілотів, але й потребу у постійній оптимізації професійної підготовки.

Професійну готовність пілота можливо характеризувати складовими, які охоплюють теоретичні знання, навички, досвід та психологічний стан, вміння діяти в критичних ситуаціях та різних умовах польоту. Традиційні методи оцінювання професійної готовності пілотів, такі як тести, практичні вправи та симуляційні сценарії, мають певні обмеження. Вони можуть бути суб'єктивними, не враховувати всі аспекти професійної готовності та не давати чіткої картини того, як пілот буде діяти в реальних умовах польоту. Алгоритм Сугено, який є методом нечіткого висновку, може бути використаний для подолання цих обмежень та забезпечення більш об'єктивного та точного оцінювання професійної готовності пілота.

Формально алгоритм Сугено може бути визначений наступним чином:

1. Формування бази правил системи нечіткого виводу в формі[24]:

$$\text{if } \beta_1 \in \alpha_1 \text{ and } \dots \beta_n \in \alpha_n \quad (1)$$

$$\text{then } \omega = \varepsilon_1 \cdot \alpha_1 + \dots + \varepsilon_n \cdot \alpha_n$$

- де β_n – вхідна лінгвістична змінна;
 α_n – значення, якому відповідає окремий лінгвістичний терм із початкової терм множин T лінгвістичних змінних β_n ;
 ω – значення вихідної змінної;
 α_n – вагові коефіцієнти (можуть бути рівні або знаходитись методом експертних оцінок), при проведенні досліджень запропоновано використати рівні коефіцієнти для всіх правил.

2. Фазифікація вхідних змінних (знаходження функцій належності нечітких термів (множин)) виконується з використанням функцій належності нечітких термів.

Вхідні змінні (фактори, які впливають на систему): навички пілота, знання пілота, досвід пілота, психологічний стан пілота, умови польоту.

Для визначення числової міри кожного фактору у вигляді нечітких множин скористаємося експертними знаннями у відповідності до [16, 17], і сформуємо відповідні рівні оцінок пілота.

Рівень знань оцінюється за шкалою від 0 до 100, що відповідає правам, які надаються свідоцтвом, за такими напрямками:

повітряне право;

загальні відомості про повітряне судно конструкція / системи / силова установка / приладове обладнання; маса і центрування; характеристики;

льотне планування та моніторинг;

можливості людського організму;

метеорологія; загальні принципи навігації; радіонавігація; експлуатаційні процедури; принципи польоту;

зв'язок в контексті правил польотів за приладами або правила візуальних польотів.

Оцінка також може ґрунтуватися на попередній освіті пілота, його успішності на тестах та інших оцінювальних заходах. Іспити вважаються складеними, якщо заявник отримав не менше ніж 75 % максимальної кількості балів за отримане завдання. Крім того, знання англійської або будь-якої іншої мови – на середньому побутовому рівні є достатнім для початку навчання, проте, для здійснення радіозв'язку у польоті у визначеному повітряному просторі потребує визначеного рівня володіння англійською мовою, який зазначається в самому сертифікаті (мова, рівень володіння та строк дії). Визначений *рівень знань (Rz)* наведено в табл. 1.

Таблиця 1

| Рівень знань пілота | | |
|---------------------|----------|----------|
| № | Рівень | Значення |
| 1 | Низький | 0-76 |
| 2 | Середній | 75-80 |
| 3 | Високий | 79-100 |

Найбільш вагомим та складним етапом професійної підготовки пілотів є процес безпосередньої підготовки до польотів та практичне отримання первинних навичок в техніці пілотування повітряним судном з наступним поетапним вдосконаленням льотної майстерності в повітрі. Рівень навичок відповідає шкалі від 0 до 25, де 0 відповідає найнижчому рівню навичок, а 25 – найвищому. В роботі [18], виділено особливості роботи пілота (пілот за політ виконує, в середньому, 14 дій за хвилину у штатній ситуації і до 21 дії у нештатній). Тому для оцінювання навичок виникає необхідність оцінювати не тільки засвоєнні знання, але й фізичні, психофізіологічні та морально-вольові якості пілота [19, 20], які впливають на максимальний рівень навичок.

Рівень навичок (Rn) визначено відносно кількості дій пілота за хвилину у нештатній ситуації наведено в табл. 2.

Таблиця 2

| Рівень навичок пілота | | |
|-----------------------|----------|----------|
| № | Рівень | Значення |
| 1 | Низький | 10-20 |
| 2 | Середній | 19-23 |
| 3 | Високий | 23-25 |

Досвід льотної підготовки (D) за програмою комплексного курсу не враховуючи підготовку для отримання рейтингу типу, становить загалом не менше ніж 150 годин з урахуванням усіх проміжних перевірок, з яких не більше ніж 5 годин може становити час наземного тренування за приладами [21]. Крім цього, враховується кількість виконаних польотів, рівень знань і навичок пілотування в різних умовах та режимах польоту, виконання вправ. Для узагальнення свого досвіду, може складатись список найбільш складних ситуацій. Для проведення дослідження досвід пілота визначено в кількості годин нальоту і відповідає шкалі від 50 до 200 (табл. 3).

Таблиця 3

| Досвід польотів | | |
|-----------------|------------|----------|
| № | Рівень | Значення |
| 1 | Не великий | 50-80 |
| 2 | Середній | 78-147 |
| 3 | Великий | 146-200 |

Пілот може бути добре підготовленим у професійному відношенні, але в екстремальних умовах здатний бути безпорадним через причини відсутності у нього надійності, стійкості до різних

стрес-факторів льотної діяльності. За таких умов він буде пропускати сигнали та інформацію, або буде приймати невірні рішення, або залишиться бездіяльним [1]. Психологічний стан (Ps) вимірюється за бінарною шкалою:

- 0 – відповідає незадовільному рівню психологічного комфорту;
- 1 – задовільному.

Це може включати рівень стресу, тривожності та загальний емоційний стан пілота перед польотом.

Аналогічно за бінарною шкалою оцінюються умови польоту (Um):

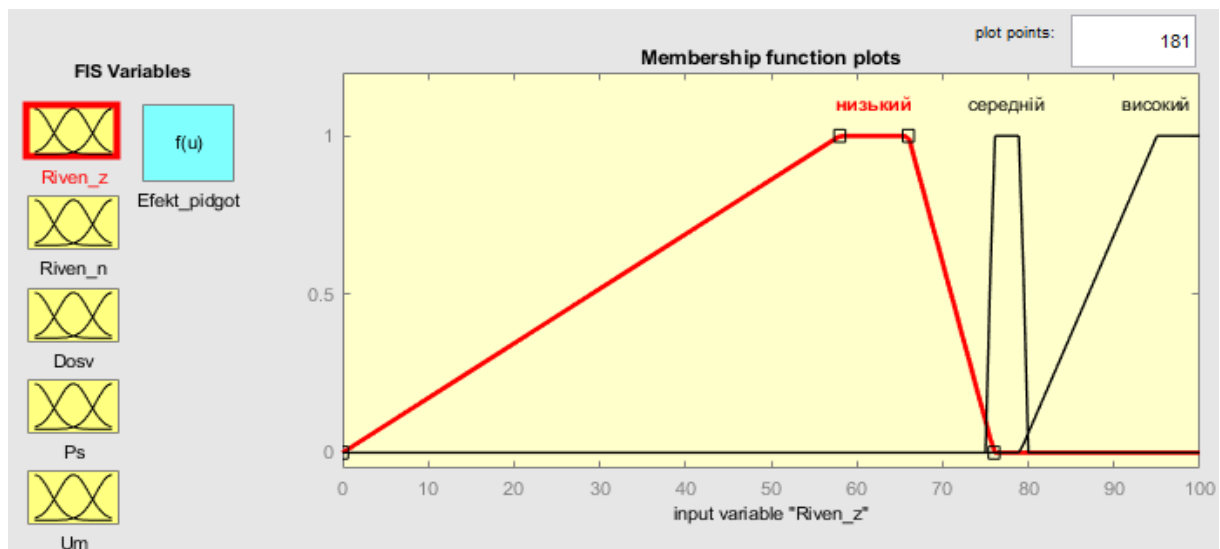
- 0 – прості метеорологічні умови (ПМУ), прості;
- 1 – складні метеорологічні умови (СМУ), складні.

Це може включати оцінку видимості, швидкості вітру, ступеня хмарності та інші метеорологічні умови.

Для дослідження системи нечіткого виводу було використано програмне забезпечення *MatLab*, а саме редактор функцій приналежності систем нечіткого виводу *Membership Function Editor*. У редакторі побудовані трапецієподібні функції приналежності нечітких термів побудовані на основі експертних оцінок.

Лінгвістична змінна “Рівень знань” визначено: універсальна множина: $U = [0, 100]$; терм-множина: $T = \{ \text{“низький”} [0\ 58\ 66\ 76], \text{“середній”} [75\ 76\ 79\ 80], \text{“високий”} [79\ 95\ 100\ 100] \}$.

На рис. 1 наведено приклад завдання функції приналежності для змінної “Рівень знань”.



Рисуюнок 1. Завдання функції приналежності для змінної “Рівень знань”

Аналогічно визначені функції приналежності для інших вхідних змінних.

3. Агрегування підумов в нечітких правилах виконується за логічною операцією кон’юнкції: ті правила ступінь приналежності умов яких є відмінним від нуля вважаються активними та беруть участь у нечіткому виводі.

4. Активізація підзаключень в нечітких правилах продукції здійснюється за допомогою методу [22]:

$$\mu'(y) = \min\{c_i, \mu(y)\}$$

- де c_i – ступінь істинності підзаключень;
- $\mu(y)$ – функція приналежності терма, який являється значенням вихідної перемінної ω_i , заданої в області значень Y .

Використовуючи формулу (1) заміняємо значення α_n значеннями вхідних перемінних до етапу фазифікації.

5. Акумуляція висновку за нечіткими правилами виконується з використанням дійсних чисел ω .

Емпіричні знання представлено у формі евристичних продуктивних правил наведених в табл. 4 (загальна кількість правил дорівнює добутку кількості рівнів для кожної змінної і становить 108, оскільки 3 параметра мають по 3 рівня і 2 параметра по 2 рівня).

правило №1:

if R_z = “низький” and R_n = “низький” and D = “невеликий” and P_s = “незадовільний” and U_m = “прості” then $\omega = \varepsilon_1 \cdot \beta_1 + \varepsilon_2 \cdot \beta_2 + \varepsilon_3 \cdot \beta_3 + \varepsilon_4 \cdot \beta_4 + \varepsilon_5 \cdot \beta_5$,

правило №2:

if R_z = “низький” and R_n = “низький” and D = “невеликий” and P_s = “задовільний” and U_m = “складні” then $\omega = \varepsilon_1 \cdot \beta_1 + \varepsilon_2 \cdot \beta_2 + \varepsilon_3 \cdot \beta_3 + \varepsilon_4 \cdot \beta_4 + \varepsilon_5 \cdot \beta_5$,

правило №3:

.....

правило №108:

if R_z ="високий" and R_n ="високий" and
 D ="невеликий" and P_s ="задовільний" and
 U_m ="прості" then $\omega = \varepsilon_1 \cdot \beta_1 + \varepsilon_2 \cdot \beta_2 + \varepsilon_3 \cdot \beta_3 + \varepsilon_4 \cdot \beta_4 + \varepsilon_5 \cdot \beta_5$,

Для визначення векторів вагових коефіцієнтів використовується метод Сааті [25], який дозволяє ранжувати критерії за їх важливістю шляхом порівняння їх попарно. За результатами опитування експертів щодо важливості елементів ефективності підготовки пілота складено співвідношення, представлені в табл. 4.

Таблиця 4

Експертна оцінка

| Параметр | Rz | Rn | D | Ps | Um | СГ | НЗ |
|----------|------|------|-----|-----|----|-------|------|
| Rz | 1 | 2 | 4 | 6 | 4 | 2.867 | 0.4 |
| Rn | 0.5 | 1 | 5 | 6 | 5 | 2.377 | 0.3 |
| D | 0.25 | 0.2 | 1 | 5 | 5 | 1.046 | 0.15 |
| Ps | 0.17 | 0.17 | 0.2 | 1 | 5 | 0.488 | 0.07 |
| Um | 0.25 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 1 | 0.288 | 0.04 |
| Сума | - | - | - | - | - | 7.06 | 1 |

де СГ – середні геометричні значення кожного рядка;

НЗ – нормовані значення параметрів (вагові коефіцієнти параметрів).

Проводимо розрахунок вагових коефіцієнтів для кожного параметра, як середнє значення в кожному рядку поділене на суму середніх значень, отримаємо: ε_1 : 0.4; ε_2 : 0.3; ε_3 : 0.15; ε_4 : 0.07; ε_5 : 0.04.

З розрахунку векторів пріоритетів (R_z-U_m) видно, що кінцеві результати суттєво залежать від оцінки експерта. Для перевірки достовірності експертних оцінок запропонована процедура оцінювання за допомогою індексу узгодженості і порядкової узгодженості експертних оцінок. Індекс узгодженості визначається за формулою [26]:

$$I_u = \frac{\lambda - n}{n - 1}$$

де n – число порівнюємих елементів;

λ – число, яке перевищує n , в залежності від грубості експертних оцінок, тому $\lambda - n$.

Отримано значення $I_u = 0,17$. Узгодженість може виявитись випадковою U_v якщо її величина буде залежати від розміру матриці. В нашому випадку для розмірності п'ять на п'ять дорівнює $U_v = 1.12$. Маючи індекс узгодженості і випадкову узгодженість розраховано відношення узгодженості I_v за формулою [26]:

$$I_v = \frac{I_u}{U_v}$$

Отримали (I_v) відношення узгодженості, яке складає 15%, що являється задовільним.

6. Дефазифікація здійснюється за допомогою обчислення зваженого середнього (w_{taver}) значення, з урахуванням ваги кожного виходу правила [23]

$$w_{taver} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \mu_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (2)$$

де x_i – значення функції приналежності для кожного можливого варіанту вихідного значення;

μ_i – ступінь належності для кожного можливого варіанту вихідного значення;

n – кількість можливих варіантів вихідного значення.

Для прикладу оцінювання ефективності підготовки трьох пілотів визначені наступні вхідні дані для кожного пілота табл. 5.

Таблиця 5

Вхідні значення підготовки

| № | Rz | Rn | D | Ps | Um | Ep |
|---------|----|----|-----|-----|-----|------|
| Пілот 1 | 75 | 10 | 150 | 0,3 | 0,7 | 0,51 |
| Пілот 2 | 87 | 20 | 91 | 0,8 | 0,2 | 0,59 |
| Пілот 3 | 83 | 23 | 91 | 0,7 | 0,8 | 0,85 |

де E_p – ефективність підготовки пілота.

Для кожного конкретного випадку вплив вхідних параметрів може бути різним в залежності від специфіки ситуації та умов. Наприклад, якщо пілот має високий рівень досвіду і знань, то його психологічний стан може бути більш важливим чинником, оскільки від нього може залежати його здатність реагувати на стресові ситуації в повітрі. Однак, якщо пілот має обмежені знання або досвід, то ці параметри можуть мати більший вплив на його ефективність.

Таким чином, важливо аналізувати конкретні ситуації та умови для визначення того, які вхідні параметри найбільше впливають на ефективність підготовки пілотів.

Чутливість алгоритму визначено формуванням вагових коефіцієнтів, які визначають вплив кожного правила на вихідну змінну, а функції

належності враховують вплив на вихідну змінну, вхідних значень. Провівши співставлення результатів оцінювання ефективності запропонованим методом та з використанням експертних оцінок результати практично ідентичні, що може свідчити про адекватність моделі. Проте врахування різнорідних факторів в запропонованому методі значно підвищує обґрунтованість оцінювання ефективності підготовки пілотів.

Обговорення

Використання методу Сугено дозволяє враховувати як кількісні, так і якісні нечіткі параметри, на основі яких отримується кількісна оцінка ефективності підготовки пілотів. Важливість правил враховується за допомогою експертних оцінок. Завдяки запропонованому методу можна швидко моделювати складні динамічні системи та порівнювати їх з заданим рівнем точності, не змінюючи при цьому саму логіку. Для кожного конкретного випадку вплив вхідних параметрів може бути різним в залежності від специфіки ситуації та умов в яких перебуває пілот.

Подальші дослідження доцільно зосередити на розробку складних нечітких систем, які здатні адаптуватися до змінних умов та отримувати більш точні результати. Це може включати вдосконалення алгоритмів нечіткого виводу, розробку нових методів навчання чи створення інтерактивних систем нечіткого оцінювання.

Висновок

Алгоритми нечіткого виведення дозволяють оцінювати ефективність підготовки пілотів навіть у випадках, коли інформація є відсутньою або неповною, що робить їх корисними для оцінювання ефективності підготовки пілотів. Використання представленої методики дозволить залучати до бойових завдань найбільш підготовлених пілотів, що в свою чергу дозволить підвищити ефективність виконання бойових завдань.

Список використаних джерел

1. О. М. Керницький, “Формування готовності курсантів льотних навчальних закладів до професійної діяльності”, *Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах*. Вип. 41 (94), С. 155–162, 2015.
2. Р. В. Невзоров, *Досвід виконання бойових завдань авіаційними підрозділами у сучасних збройних конфліктах: методичні рекомендації*, за заг. ред. А. М. Алімпієва. Харків, Україна: ХУПС, 2014.
3. С. М. Чернявська, О. П. Хохліна, “Професійна готовність до діяльності як умова професійної самореалізації студентів-пілотів цивільної авіації. Moderní aspekty vědy: XIV. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2021. Т. 14. С. 287-306. <http://perspectives.pp.ua/public/site/>

monograph-14.pdf.

4. О. І. Москаленко, “Критерії, показники та рівні готовності авіаційних фахівців до виконання професійних дій”, *Вища школа*, № 5 (142). С. 118–124. 2016. [Онлайн]. Доступно: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VZhDU_2015_1_25

5. О. Задкова, “Теоретичні основи підготовки курсантів-пілотів до дій в особливих випадках польоту.” *Наукові записки Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка. Серія: Педагогічні науки*, № 120, С. 166-171. 2013. [Онлайн]. Доступно: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nz_p_2013_120_27

6. О. М. Компанієць, М. В. Касаткін, Ю. В. Сікідра, “Методика управління ресурсами екіпажу літаків транспортної авіації Повітряних Сил Збройних Сил України в особливих випадках у польоті”, *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. № 2 (51), С. 31-37, 2023. [Онлайн]. Доступно: <https://doi.org/10.30748/nitps.2023.51.04>

7. О. Задкова, О. Бродова, “Комунікативні уміння як компонент вирішення проблемних ситуацій в структурі професійної готовності пілота”, *Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky, Volme 6*, P. 125-127, 2B/2018.

8. О. М. Кокун, О. В. Нічик, “Психофізіологічні аспекти професійного відбору фахівців для діяльності в особливих умовах”, *Проблеми екстремальної та кризової психології*, № 5, С. 67-78, 2008.

9. О. Г. Марченко, П. М. Онипченко, “Організаційно-педагогічні умови формування соціально-правової компетентності курсантів ВВНЗ авіаційного профілю”, *Перспективи та інновації науки*, № 15(33), С. 326-338, 2023. [Онлайн]. Доступно: DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2023-15\(33\)-326-338](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2023-15(33)-326-338)

10. Т. С. Плачинда, “Особливості організації освітнього середовища ЗВО авіаційного профілю”, *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології*, № 6 (90), С. 120-129, 2019.

11. Е. В. Лузік, “Системно-синергетичне діагностування готовності майбутніх фахівців авіаційної галузі до професійної діяльності” *Proceedings of the National Aviation University. Series: Pedagogy, Psychology*, № 9, 2016, PP. 103-108.

12. L. A. Zadeh. Fuzzy sets, *Information and control*, № 8(3), 338-353, 1965.

13. T. Terano, K. Asai, M. Sugeno, *Applied fuzzy systems*, Academic Press, 2014.

14. Tanaka, Kazuo & Wang, Owen, *Fuzzy Control Systems Design and Analysis: A Linear Matrix Inequality Approach*, 2002. [Онлайн]. Доступно: <https://doi.org/10.1002/0471224596.ch2>

15. D. K. Chaturvedi, *Modeling and Simulation of Systems Using MATLAB and Simulink (1st ed.)*, CRC Press, 2010. <https://doi.org/10.1201/9781315218335>.

16. Україна, Державна служба України з нагляду за забезпеченням безпеки авіації. (2005, 17 серп.). Наказ Державної служби України з нагляду за забезпеченням безпеки авіації № 601, Про затвердження Правил сертифікації авіаційних навчальних закладів цивільної авіації з підготовки льотного складу в Україні. Дата звернення: 7 квітня 2024. [Онлайн]. Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0981-05#Text>

17. Україна, Державна авіаційна служба України. (2017, 20 лип.). Наказ Державної авіаційної служби України № 565, Про затвердження Авіаційних правил України “Технічні вимоги та адміністративні процедури

для льотних екіпажів цивільної авіації”. Дата звернення: 7 квітня 2024. [Онлайн]. Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1056-17>.

18. П. М. Онипченко, “Професійно-педагогічна підготовка льотно-інструкторського складу ВПС України у вищих навчальних військових закладах”, дис. канд. пед. наук, ЛНПУ ім. Тараса Шевченка, Луганськ, Україна, 2004.

19. А. В. Скрипець, О. Ю. Буров, В. В. Павлов, Інженерна психологія, ергономіка та людський чинник в авіації: Підручник, за заг. ред. проф. А. В. Скрипця. Київ, Україна: “НАУ-друк”, 2010.

20. А. В. Скрипець, Основи авіаційної інженерної психології. Київ, Україна: НАУ, 2002.

21. Ю. Бершадська, “Сучасні тенденції професійної підготовки авіаційного персоналу цивільної авіації в

провідних країнах світу”, *Krakowskie Studia Małopolskie*. № 2 (34), P. 134-151, 2022.

22. Fuzzy Logic Projects with Matlab. In: Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-35781-0_9

23. Sivanandam, SN., Sumathi, S., Deepa, S. N, Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB.

24. Ross, Timothy J. Fuzzy logic with engineering applications. JohnWiley&Sons, 2009.

25. Raudenbush, Stephen W., and Anthony S. Bryk. Hierarchical linear models: Applications and data analysis methods. Vol. 1. sage, 2002.

26. Х. В. Бурштинська, Аерофотографія : Підруч. для студ. вищ. закл. освіти. Львів, Україна: Львів. астрон-геодез. т-во, 1999.

¹**Yurii Sheviakov** (Doctor of Sciences, Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-5322-6674>

²**Mykola Myroniuk** (PhD)

<https://orcid.org/0000-0002-7164-2700>

²**Yurii Dziubenko** (PhD, Associated Professor)

<https://orcid.org/0000-0001-6213-6905>

²**Yaroslav Yaroshenko** (PhD)

<https://orcid.org/0000-0001-6213-6905>

¹*Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine*

²*The National Defence university of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF PILOT FLIGHT TRAINING BASED ON FUZZY INFERENCE ALGORITHMS

The study is aimed at applying fuzzy logic to evaluate the effectiveness of pilot training. The work uses a system of fuzzy inference using the Sugeno model, which allows you to make decisions in conditions of incomplete or missing information. The main parameters that affect the effectiveness of pilot training are the level of knowledge, experience, psychological state, as well as flight conditions.

During the research, a system with five input parameters and one output was developed. Input parameters include the level of knowledge of pilots, their experience, psychological state, as well as flight conditions. Each of these parameters is considered using triangular and trapezoidal membership functions.

For each pilot, specific values of these parameters were determined, after which, using a set of rules, the fuzzy inference system calculated his training efficiency. Using the weighted average method, the performance level was established for each pilot, which allowed for a comparative analysis of their training.

The obtained results showed that the level of knowledge and experience of pilots have the greatest influence on their training effectiveness. It was also found that the psychological state and flight conditions also significantly affect this indicator, although to a lesser extent.

In general, the results of the study indicate that the application of fuzzy logic is an effective method for evaluating the effectiveness of pilot training, as it allows taking into account both quantitative and qualitative parameters.

Keywords: flight training, fuzzy logic, fuzzy inference efficiency.

References

1. O. M. Kernycjkyj, “Formuvannja ghotovnosti kursantiv ljetnykh navchalnykh zakladiv do profesijnoi dijialnosti”, *Pedagoghika formuvannja tvorchoji osobystosti u vyshhij i zaghaljnoosvitnij shkolakh*. Vyp. 41 (94), S. 155–162, 2015.

2. R. V. Nevzorov, *Dosvid vykonannja bojovykh zavdanj aviacijnymu pidrozdilamy u suchasnykh zbrojnykh konfliktakh: metodychni rekomendaciji, za zagh. red. A. M. Alimpijeva*. Kharkiv, Ukraïna: KhUPS, 2014.

3. S. M. Chernjavsijka, O. P. Khokhlina, “Profesijna ghotovnistj do dijialnosti jak umova profesijnoi samorealizaciji studentiv-pilotiv cyviljnoji aviaciji. Moderni aspekty vědy: XIV. Dіл mezinárodní kolektivní monografie /

Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2021. T. 14. C. 287 - 306. <http://perspectives.pp.ua/public/site/mono/monography-14.pdf>.

4. O. I. Moskalenko, “Kryteriji, pokaznyky ta rivni ghotovnosti aviacijnykh fakhivciv do vykonannja profesijnykh dij”, *Vyshha shkola, # 5 (142)*. S. 118–124. 2016. [Onlajn]. Dostupno: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VZhDU_2015_1_25

5. O. Zadkova, “Teoretychni osnovy pidghotovky kursantiv-pilotiv do dij v osoblyvykh vypadkakh poljotu.” *Naukovi zapysky Kirovohradsjkogho derzhavnogho pedagoghichnogho universytetu imeni Volodymyra*

- Vynnychenka. Serija: Pedagogichni nauky, # 120, S. 166-171. 2013. [Onlajn]. Dostupno: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nz_p_2013_120_27
6. O. M. Kompanijecj, M. V. Kasatkin, Ju.V. Sikirda, "Metodyka upravlinnja resursamy ekipazhu litakiv transportnoji aviaciji Povitrjanykh Syl Zbrojnykh Syl Ukrainy v osoblyvykh vypadkakh u poljoti", Nauka i tekhnika Povitrjanykh Syl Zbrojnykh Syl Ukrainy. # 2 (51), S. 31-37, 2023. [Onlajn]. Dostupno: <https://doi.org/10.30748/nitps.2023.51.04>.
7. O. Zadkova, O. Brodova, "Komunikatyvni uminnja jak komponent vyrishennja problemnykh situacij v strukturі profesijnoji ghotovnosti pilota", Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky, Volme 6, P. 125-127, 2B/2018.
8. O. M. Kokun, O. V. Nychyk, "Psykhofiziologichni aspekty profesijnogho vidboru fakhivciv dlja dijalnosti v osoblyvykh umovakh", Problemy ekstremalnoji ta kryzovoji psykhologhiji, # 5, S. 67-78, 2008.
9. O. Gh. Marchenko, P.M. Onypchenko, "Orghanizacijno-pedagogichni umovy formuvannja socialjno-pravovoji kompetentnosti kursantiv VVNZ aviacijnogho profilju", Perspektyvy ta innovaciji nauky, # 15(33), S. 326-338, 2023. [Onlajn]. Dostupno: DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2023-15\(33\)-326-338](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2023-15(33)-326-338).
10. T. S. Plachynda, "Osoblyvosti orghanizacijni osvithnjogho seredovyshha ZVO aviacijnogho profilju", Pedagogichni nauky: teoriji, istorija, innovacijni tekhnologhiji, # 6 (90), S. 120-129, 2019.
11. E. V. Luzik, "Systemno-synerghetychne diagnostuvannja ghotovnosti majbutnikh fakhivciv aviacijnoji ghaluzi do profesijnoji dijalnosti" Proceedings of the National Aviation University. Series: Pedagogy, Psychology, # 9, 2016, PP. 103-108.
12. L. A. Zadeh. Fuzzy sets, Information and control, № 8(3), 338-353, 1965.
13. T. Terano, K. Asai, M. Sugeno, Applied fuzzy systems, Academic Press, 2014.
- [14] Tanaka, Kazuo & Wang, Owen, Fuzzy Control Systems Design and Analysis: A Linear Matrix Inequality Approach, 2002. [Onlajn]. Dostupno: <https://doi.org/10.1002/0471224596.ch2>.
15. D. K. Chaturvedi, Modeling and Simulation of Systems Using MATLAB and Simulink (1st ed.), CRC Press, 2010. <https://doi.org/10.1201/9781315218335>
16. Ukraina, Derzhavna sluzhba Ukrainy z naghlyadu za zabezpechennjam bezpeky aviaciji. (2005, 17 serp.). Nakaz Derzhavnoji sluzhby Ukrainy z naghlyadu za zabezpechennjam bezpeky aviaciji # 601, Pro zatverdzhennja Pravyl sertyfikaciji aviacijnykh navchalnykh zakladiv cyvilnoji aviaciji z pidghotovky ljetnogho skladu v Ukraini. Data zvernennja: 7 kvitnja 2024. [Onlajn]. Dostupno: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0981-05#Text>.
17. Ukraina, Derzhavna aviacijna sluzhba Ukrainy. (2017, 20 lyp.). Nakaz Derzhavnoji aviacijnoji sluzhby Ukrainy # 565, Pro zatverdzhennja Aviacijnykh pravyl Ukrainy "Tekhnichni vymoghy ta administratyvni procedury dlja ljetnykh ekipazhiv cyvilnoji aviaciji". Data zvernennja: 7 kvitnja 2024. [Onlajn]. Dostupno: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1056-17>.
18. P. M. Onypchenko, "Profesijno-pedagogichna pidghotovka ljetno-instruktorsjkogho skladu VPS Ukrainy u vyshhykh navchalnykh vijsjkovykh zakladakh", dys. kand. ped. nauk, LNU im. Tarasa Shevchenka, Lughansjk, Ukraina, 2004.
19. A. V. Skrypecj, O. Ju. Burov, V. V. Pavlov, Inzhenerna psykhologhija, erghonomika ta ljudsjkyj chynnyk v aviaciji: Pidruchnyk, za zagh. red. prof. A. V. Skrypcja. Kyjiv, Ukraina: "NAU-druk", 2010.
20. A. V. Skrypecj, Osnovy aviacijnoji inzhenernoji psykhologhiji. Kyjiv, Ukraina: NAU, 2002.
21. Ju. Bershadsjka, "Suchasni tendenciji profesijnoji pidghotovky aviacijnogho personalu cyvilnoji aviaciji v providnykh krajnakh svitu", Krakowskie Studia Malopolskie. # 2 (34), P. 134-151, 2022.
23. Sivanandam, SN., Sumathi, S., Deepa, S. N, Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB.
24. Ross, Timothy J. Fuzzy logic with engineering applications. JohnWiley&Sons, 2009.
25. Raudenbush, Stephen W., and Anthony S. Bryk. Hierarchical linear models: Applications and data analysis methods. Vol. 1. sage, 2002.
26. Kh. V. Burshtynsjka, Aerofotografija : Pidruch. dlja stud. vyshh. zakl. osvity. Ljviv, Ukraina: Ljviv. astron-gheodez. t-vo, 1999.