

Пермяков Олександр Юрійович (доктор технічних наук, професор)<sup>1</sup>

Королюк Наталія Олександрівна (кандидат технічних наук, доцент)<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Національний університет оборони України, Київ, Україна

<sup>2</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна

## ПІДХІД ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИБОРУ МАРШРУТУ ПОЛЬОТУ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ НЕСПРИЯТЛИВИХ ФАКТОРІВ

У статті проаналізовано особливості застосування безпілотних літальних апаратів як ефективного засобу для отримання розвідданих про противника під час повітряної розвідки. Проведений аналіз досвіду бойового застосування безпілотних літальних апаратів у процесі виконання розвідувальних завдань показав, що існують проблемні питання у прийнятті обґрунтованого рішення щодо вибору набору параметрів для здійснення польоту і побудови доцільного маршруту. Метою статті є удосконалення процесів автоматизації вибору доцільного маршруту польоту безпілотного літального апарату в умовах невизначеності шляхом формалізації знань осіб, які приймають рішення, на основі нечіткої інформації. Під час написання статті застосовано методи теорії нечітких множин, когнітивні методи автоматизації, моделювання й представлення знань та інші. Зазначений методичний підхід дав змогу структурувати інформацію в формальні моделі, що, в свою чергу, полегшить оброблення та використання інформації під час її аналізу та прийняття рішень. Обґрунтовано доцільність вдосконалення спеціального математичного та програмного забезпечення за рахунок формалізації власних знань, інтуїції, досвіду бойової роботи осіб, які приймають рішення. Автоматизація процесів прийняття рішення щодо визначення доцільного маршруту польоту відносяться до задач прийняття рішення в умовах невизначеності. Запропоновано реалізацію задачі планування розвідувального польоту безпілотного літального апарату здійснити за допомогою використання евристичних методів формалізації знань на основі нечітких множин та нечітких логічних систем. Також запропоновано задачу прогнозування обстановки розв'язати за рахунок використання нечітких продукційних правил. В якості умови (антецедента) – використовувати нечіткі лінгвістичні висловлювання, включно з формалізованими факторами, які враховують вплив зовнішнього середовища і тактичні умови проведення розвідки у вигляді нечітких множин. В якості виведення правила використовується множина варіантів набору параметрів польоту безпілотних літальних апаратів. Запропонований метод формалізації знань для ефективного проведення повітряної розвідки із застосуванням безпілотних літальних апаратів включає дві основні процедури. Розглянуто приклад формалізації знань визначених факторів впливу на вибір доцільного маршруту. Обґрунтовано, що подальші дослідження в даній предметній області стануть основою для створення алгоритму дій під час планування маршруту безпілотних літальних апаратів для виконання розвідувального завдання. У статті проаналізовано детерміновані та стохастичні методи формалізації знань, що дозволяють передавати специфічні особливості предметної області, але недоліком являється нечіткість вихідних даних. Тому в роботі для досягнення визначеної мети подано метод формалізації знань щодо процесу планування маршруту безпілотних літальних апаратів із застосуванням математичного апарату нечітких множин. Він дозволяє обробляти задачі, що важко формалізувати, та відрізняється логіко-аналітичним характером і нечіткістю вхідних й вихідних даних.

**Ключові слова:** застосування безпілотного літального апарату, нечіткі множини, маршрут польоту безпілотного літального апарату, формалізація знань.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Аналіз досвіду ведення бойових дій на території України свідчить, що вдосконалення розвідки, зокрема, повітряної, у теперішній час є одним з важливих завдань у процесі створення ефективної системи розвідки Збройних Сил України (далі – ЗС України) відповідно до стандартів НАТО [1]. Планування

повітряної розвідки (далі – ПР) за допомогою безпілотного літального апарату (далі – БпЛА) є складним завданням, що потребує проведення складних розрахунків для побудови маршрутів [2; 3]. У цьому контексті необхідно врахувати різноманітні чинники:

- характер майбутнього бою;
- умови проведення розвідки;

вплив зовнішнього середовища (метеоумови, рельєф) на дальність польоту БпЛА;

вплив системи протиповітряної оборони противника тощо.

Наявність великих потенційних можливостей БпЛА не гарантує досягнення заданої ефективності розвідки. Її підвищення може бути досягнуто шляхом інтелектуального прогнозування поведінки противника, врахуванням впливу факторів зовнішнього середовища, знань і досвіду операторів під час управління БпЛА [4; 5]. Досвід бойового застосування БпЛА у ході виконання розвідувальних завдань виявив проблемні питання у прийнятті обґрунтованого рішення щодо вибору набору параметрів для здійснення польоту і побудови доцільного маршруту.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Нині, для вибору доцільних маршрутів розвідувального польоту БпЛА, недостатньо враховується вплив факторів стохастичної і нестохастичної невизначеності [6–11]. Фактори нестохастичної невизначеності мають природу поведінкової невизначеності. Тому необхідно адаптувати заздалегідь розроблені моделі прийняття рішень до зміни множини можливих ситуацій [12; 13].

Динамічність і швидкоплинність бойових дій, невизначеність обстановки, часові обмеження вимагають підвищення рівня автоматизації вирішення завдань даного класу. Але автоматизація процесу вибору доцільного маршруту для виконання розвідувального завдання БпЛА ускладнюється необхідністю врахування досвіду з їх застосування особами, які приймають рішення (далі – ОПР) [13; 14]. Це обумовлює доцільність удосконалення спеціального математичного та програмного забезпечення шляхом формалізації власних знань, досвіду бойової роботи ОПР.

**Мета статті** – удосконалення процесів автоматизації вибору доцільного маршруту польоту БпЛА в умовах невизначеності шляхом формалізації знань осіб, які приймають рішення, на основі нечітких множин.

#### Виклад основного матеріалу дослідження

Планування маршрутів польоту БпЛА – це багатоступінний процес, який має враховувати значну кількість факторів та необхідної інформації перед початком виконання завдання. Математичну складову вирішення задачі формалізації знань щодо процесу побудови маршруту польоту БпЛА для ефективного проведення ПР, можна подати як формалізоване представлення окремих факторів, а саме  $L_{tx}$  – змінна, що описує множини можливих технічних характеристик БпЛА,  $F_{zc}$  – змінна, що описує множини можливих факторів впливу зовнішнього середовища, і  $P_{zn}$  – змінна, що описує множини даних про можливості засобів протиповітряної оборони (далі – ППО) та радіоелектронної боротьби (далі – РЕБ)

противника. У свою чергу, кожна з представлених змінних залежить від таких показників:

$$L_{mx} = \{T_{\max}^1, D_{\max}^1, V_{\max}^1, V_{mid}^1, H_{\max}^1\}, \quad (1)$$

де  $T_{\max}^1$  – максимальна тривалість польоту конкретного БпЛА;

$D_{\max}^1$  – максимальна дальність польоту;

$V_{\max}^1$  – максимальна швидкість;

$V_{mid}^1$  – крейсерська швидкість;

$H_{\max}^1$  – висота польоту.

$$F_{zc} = \{V_{vimp}^1, t_{nov}^1, \chi^1, R^1, Q^1\}, \quad (2)$$

де  $V_{vimp}^1$  – прогнозована швидкість вітру;

$t_{nov}^1$  – температура повітря;

$\chi^1$  – вірогідність наявності опадів;

$R^1$  – найважливіші об'єкти рельєфу;

$Q^1$  – напрямок вітру.

$$P_{zn} = \{T_n^1, N^1, R^1, B_{cm}^1, S_{zag}^1\}, \quad (3)$$

де  $T_n^1$  – час пошуку БпЛА засобом ППО (РЕБ);

$N^1$  – кількість засобів протиповітряної оборони на маршруті польоту БпЛА;

$R^1$  – розміщення основних елементів бойового порядку військ противника;

$B_{cm}^1$  – ширина смуги розвідки;

$S_{zag}^1$  – загальна площа району розвідки.

У бойових застосуваннях завдання прогнозування доцільного маршруту польоту БпЛА зазвичай характеризується неповнотою інформації про значення показників, що впливають на ефективне застосування БпЛА під час виконання поставлених завдань. Після узагальнення всіх факторів, що впливають на процес планування маршруту польоту БпЛА, є необхідним формалізувати отримані дані. Відсутність повної інформації для побудови маршруту польоту БпЛА обумовлюється такими основними причинами:

відсутність значень необхідних показників у заданий момент часу;

багатозначність значень показників;

невідповідність деяких значень показників у момент дійсності.

Описані причини в подальшому впливають на суперечливість, неповноту та неоднозначність вихідних даних, тому процес вибору доцільного маршруту польоту БпЛА потребує удосконалення. Формалізація знань з використанням математичних підходів, що спираються лише на апарат теорії ймовірностей не є ефективною та має недоліки, а саме виявляється неспроможною вирішити проблему неоднозначності вихідних даних. Для

досягнення побудови доцільного маршруту польоту безпілотного літального апарату з урахуванням всіх факторів невизначеності найважливішим етапом є прогнозування [15; 16].

Розрізняють такі методи прогнозування: кількісні, що базуються на інформації, статистично достовірних залежностях, які характеризують діяльність об'єкта керування; якісні методи засновані на експертних оцінках фахівців в області прийнятих рішень.

Для об'єктів, що мають високий ступінь невизначеності, застосовуються різні кількісні та якісні методи. Розглянуті методи дозволяють передати особливості предметної області, але недоліком є те, що не враховують невизначеність (нечіткість) вихідних даних. Тому для вирішення задачі планування маршруту польоту БпЛА в умовах невизначеності доцільно застосувати евристичні методи з використанням математичного апарату нечітких множин (далі – НМ) і нечіткої логіки, що дозволить обробляти задачі, які важко піддаються формалізації, та які відрізняються логіко-аналітичним характером і нечіткими вхідними або вихідними даними [11; 12; 16].

Завдання планування польоту БпЛА повинно вирішуватися в умовах нестохастичної невизначеності. Це пояснюється неможливістю залишати умови прогнозованих значень параметрів маршрутів БпЛА незмінними на прогнозований період часу в умовах високої динаміки зміни обстановки [1; 10].

Тому пропонується для вирішення поставленого завдання використовувати методи, що засновані на знаннях експертів та експертного оцінювання. Для вирішення задачі побудови маршруту польоту БпЛА з врахуванням невизначеності, числовий показник прогнозованої змінної, що впливає на ефективність виконання поставленого завдання має деякі межі. На наступному етапі обробки даних є можливість вказати діапазон можливих значень, але отримати (спрогнозувати) конкретні числові значення неможливо. Підхід заміни інтервальних величин на середні значення істотно знижує вірогідність результатів прогнозування. У досліджуваній предметній області інтервал, як правило, має нечіткі межі. Фактори, що впливають на процес планування маршруту польоту, визначенні експертами зазвичай подаються у вигляді лінгвістичних змінних, що значно полегшує роботу з даними, на відміну від числових значень. Узагальнені дані формалізуються, в межах даного методу, використовуючи математичний апарат НМ.

Таким чином, для підзадачі прогнозування обстановки можна використовувати нечіткі продукційні правила. В якості умови (антецедента) використовуються нечіткі лінгвістичні висловлювання, що включають формалізовані фактори, які враховують вплив зовнішнього середовища і тактичні умови проведення розвідки у вигляді НМ. Для виведення правила використовується множина варіантів набору параметрів польоту БпЛА.

Метод формалізації знань для ефективного проведення повітряної розвідки із застосуванням БпЛА містить дві основні процедури. *Перший етап* – це формалізація факторів, що враховують тактичні умови проведення розвідки і вплив зовнішнього середовища. *Другий етап* – представлення формалізованого опису прогнозованої обстановки і варіанта побудови маршрутів польоту БпЛА як сукупності нечітких продукційних правил [12; 14].

Зміст процедури формалізації знань про процес планування маршрутів розвідувального польоту БпЛА на основі НМ для наочності розглянемо на прикладі. Представимо фактори впливу на проведення ПР у вигляді лінгвістичної змінної (далі – ЛЗ) для кожного варіанта, що прогнозується:

$$\left\{ \chi^{POY^P}, \chi^{ШСР^P}, \chi^{ППО^P}, \chi^{ЗС^P} \right\}, \quad (4)$$

де  $\chi^{POY^P}$  – ЛЗ з найменуванням «Район особливої уваги»;

$\chi^{ШСР^P}$  – ЛЗ з найменуванням «Ширина смуги розвідки»;

$\chi^{ППО^P}$  – ЛЗ з найменуванням «Кількість засобів ППО»;

$\chi^{ЗС^P}$  – ЛЗ з найменуванням «Вплив зовнішнього середовища».

Припустимо, у ході підготовки до ведення ПР прогнозована множина факторів, що враховують тактичні умови проведення розвідки і вплив зовнішнього середовища. Водночас, нехай у результаті планування маршрутів розвідувального польоту БпЛА в якості терм-множини  $T^{POY^P}$  ЛЗ  $\chi^{POY^P}$  визначена така множина, що формалізує прогнозовану глибину бойового порядку противника:  $\rho_1$  – «підрозділи зі стрілецькою зброєю»,  $\rho_2$  – «мінометні підрозділи»,  $\rho_3$  – «підрозділи ствольної артилерії»,  $\rho_4$  – «підрозділи ракетних систем залпового вогню»,  $\rho_5$  – «підрозділи тактичних ракетних комплексів»,  $\rho_6$  – «інші підрозділи».

У подальшому потужність НМ визначає глибину бойового порядку підрозділів противника, що знаходяться в районі особливої уваги. Тому дискретну вісь глибини району особливої уваги (рис. 1) будемо розглядати як безперервну.

Значення  $\mu_A(p)$  для конкретного  $p$  називається ступенем приналежності цього елемента до нечіткої множини [17; 18].

Нехай в якості терм-множини  $T^{ШСР^P}$  ЛЗ  $\chi^{ШСР^P}$  визначена терм-множина ЛЗ «Ширина смуги розвідки» –  $X=(7; 20)$ , що зображена на рис. 2.

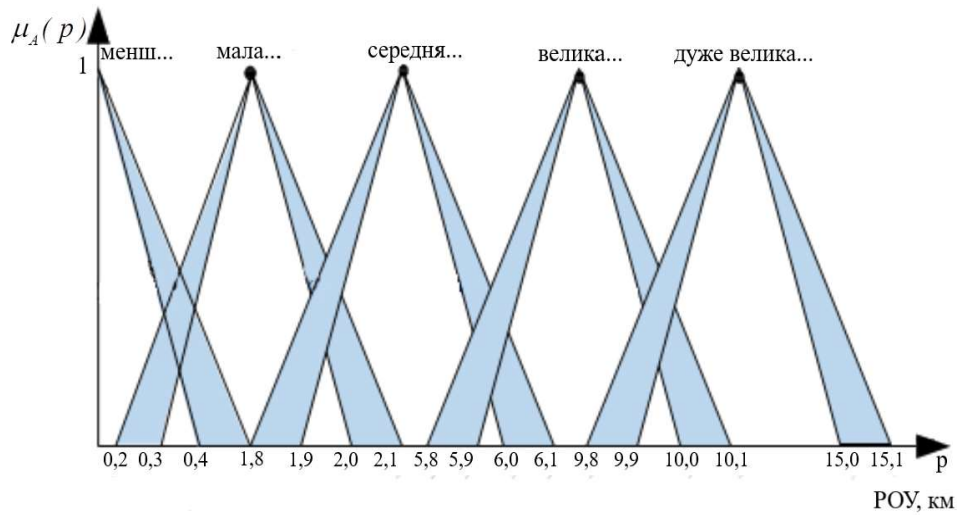


Рисунок 1 – Графічне представлення займаних площ невизначеності термів лінгвістичної змінної «Район особливої уваги» [розроблено авторами]

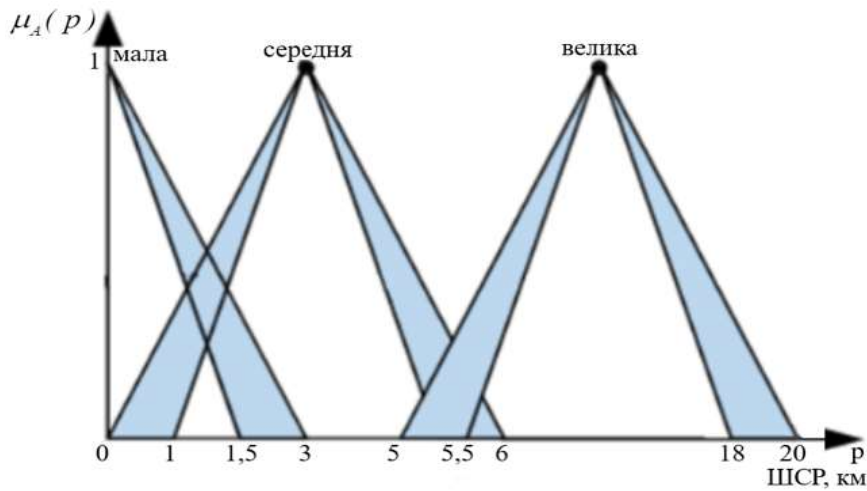


Рисунок 2 – Графічне представлення займаних площ невизначеності термів лінгвістичної змінної «Ширина смуги розвідки» [розроблено авторами]

$$T_{ШСР^P} = \left\{ \begin{array}{l} \rho_1^{ШСР^P} = \text{"мала"}, \rho_2^{ШСР^P} = \text{"середня"}, \\ \rho_3^{ШСР^P} = \text{"велика"} \end{array} \right\}, (5)$$

Кожна нечітка зміна (далі – НЗ) з найменуванням  $\rho_i^{ШСР^P}$  описується відповідним трикутним нечітким числом (ТНЧ) НМ  $\tilde{A}_{\Delta i}^{ШСР^P}$  із площами невизначеності  $FOU(\tilde{A}_{\Delta 1}^{ШСР^P}), FOU(\tilde{A}_{\Delta 2}^{ШСР^P}), FOU(\tilde{A}_{\Delta 3}^{ШСР^P})$  термів (рис. 2).

Нехай в якості терм-множини  $T^{ППО^P}$  ЛЗ  $\chi^{ППО^P}$  визначена множина:

$$T^{ППО^P} = \left\{ \begin{array}{l} \rho_1^{ППО^P} = \text{"дуже мала"}, \rho_2^{ППО^P} = \text{"мала"}, \\ \rho_3^{ППО^P} = \text{"середня"}, \rho_4^{ППО^P} = \text{"багато"}, \\ \rho_5^{ППО^P} = \text{"дуже багато"} \end{array} \right\}, (6)$$

Кожна НЗ з найменуванням  $\rho_s^{ППО^P}$  описується відповідним ТНЧ НМ  $\tilde{A}_{\Delta s}^{ППО^P}$  із зайнятими площами невизначеності  $FOU(\tilde{A}_{\Delta 1}^{ППО^P}), \dots, FOU(\tilde{A}_{\Delta 5}^{ППО^P})$  термів (рис. 3).

Нехай в якості терм-множини  $T^{ЗС^P}$  ЛЗ  $\chi^{ЗС^P}$  визначена така множина:

$$T^{ЗС^P} = \left\{ \begin{array}{l} \rho_1^{ЗС^P} = \text{"мала"}, \rho_2^{ЗС^P} = \text{"середня"}, \\ \rho_3^{ЗС^P} = \text{"велика"} \end{array} \right\}, (7)$$

Кожна НЗ з найменуванням  $\rho_i^{ЗС^P}$  описується відповідним ТНЧ  $\tilde{A}_{\Delta k}^{ЗС^P}$  із зайнятими площами невизначеності

$FOU(\tilde{A}_{\Delta 1}^{ЗС^P}), FOU(\tilde{A}_{\Delta 2}^{ЗС^P}), FOU(\tilde{A}_{\Delta 3}^{ЗС^P})$  термів (рис. 4). Значення  $D$  відображає вплив зовнішнього середовища на дальність.

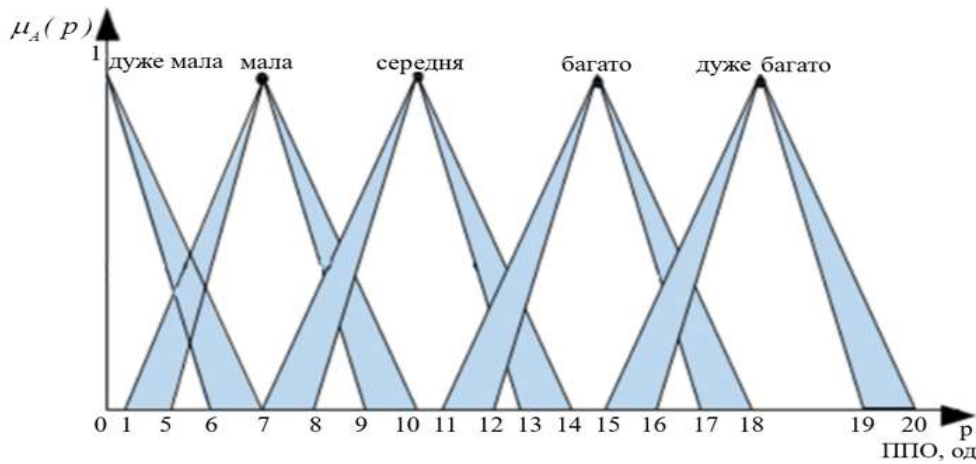


Рисунок 3 – Графічне представлення займаних площ невизначеності термів лінгвістичної змінної «Кількість засобів протиповітряної оборони» [розроблено авторами]

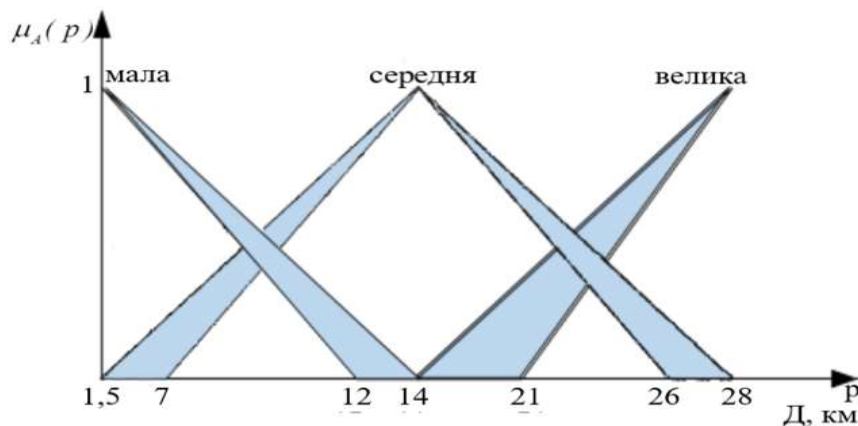


Рисунок 4 – Графічне представлення займаних площ невизначеності термів лінгвістичної змінної «Вплив зовнішнього середовища на дальність польоту БПЛА» [розроблено авторами]

Під впливом зовнішнього середовища (рис. 5) змінюються параметри розвідувального польоту БПЛА. Для формалізації залежностей впливу та формування нечіткої бази знань використаний метод ідентифікації, який полягає у застосуванні нечітких логічних рівнянь, що формуються на основі матриці знань системи логічних висловлювань, що дозволяє обчислювати значення функцій приналежності різних рішень при фіксованих значеннях вихідних змінних об'єкта [12].

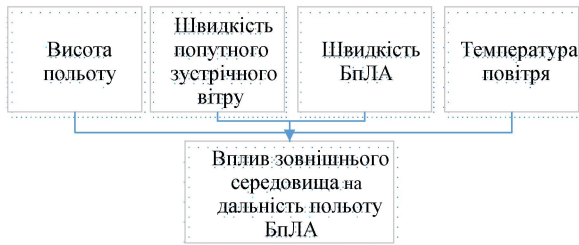


Рисунок 5 – Показники, що впливають на дальність польоту БПЛА [11, 15]

Таким чином, формальний опис  $j$ -ої комбінації сукупності факторів, що враховують тактичні умови проведення розвідки та вплив зовнішнього середовища. У межах даного прикладу, це подається

у вигляді кортежів:

$$c_j^p = \left\langle \begin{matrix} FOU(\tilde{A}_{\Gamma i}^{POU^p}), FOU(\tilde{A}_{\Delta l}^{ШСР^p}) \\ FOU(\tilde{A}_{\Delta s}^{ППО^p}), FOU(\tilde{A}_{\Delta k}^{ЗС^p}) \end{matrix} \right\rangle, (8)$$

$$c_j^p = \langle \rho_i^{POU^p}, \rho_l^{ШСР^p}, \rho_s^{ППО^p}, \rho_k^{ЗС^p} \rangle, (9)$$

де  $\tilde{A}_{\Gamma i}^{POU^p}$  – ТНЧ НМ описує дані про район особливої уваги, що характеризують можливі значення глибини ведення ПР відповідної НЗ з найменуванням  $\rho_i^{POU^p}$ ;

$\tilde{A}_{\Delta l}^{ШСР^p}$  – ТНЧ НМ описує дані про прогнозовану ширину смуги ПР і характеризують можливі значення відповідної НЗ з найменуванням  $\rho_l^{ШСР^p}$ ;

$\tilde{A}_{\Delta s}^{ППО^p}$  – ТНЧ НМ описує дані про можливі засоби ППО противника і характеризують можливі значення відповідної НЗ з найменуванням  $\rho_s^{ППО^p}$ ;

$\tilde{A}_{\Delta k}^{ЗС^p}$  – ТНЧ НМ описує дані про можливі зміни дальності польоту БПЛА, що отримані в результаті логічного виведення при відповідних значеннях висоти, швидкості, напрямлення вітру, температури

повітря і характеризує можливі значення відповідної НЗ з найменуванням  $\rho_k^{3C^P}$ .

Представлення факторів, що характеризують тактичну обстановку та вплив зовнішнього середовища згідно виразу (8), є формальним описом для подальшого використання методів нечіткого логічного виведення у рамках нечітких логічних систем. Вираз (9) є більш зручним для

безпосереднього використання експертами в заданій предметній області.

Для формування бази правил у межах даного методу, формується сукупність нечітких продукційних правил  $R$ . Як приклад нижче наведено порядок (логіка) формування продукційного правила  $R_1$ :

$$R_1 : \text{if "Район особливої уваги" is "мала" and "Ширина смуги розвідки" is "мала" and "Кількість засобів ППО" is "дуже мала" and "Вплив зовнішнього середовища" is "мала" then "Доцільна стратегія польоту БПЛА" = " №1" } \quad (10)$$

Сукупність нечітких продукційних правил у вигляді виразу (10) являє собою базу правил, які надалі обробляються з використанням типових підходів, передбачених методом нечітких продукцій. Результатом планування маршрутів БПЛА для проведення повітряної розвідки польоту є номер стратегії, який має максимальну нечітку ступінь приналежності (первинну приналежність).

Таким чином, метод формалізації знань на основі НМ дозволяє представити деякі числові показники у вигляді ЛЗ. У статті було наведено приклад формалізації знань для ефективного застосування БПЛА під час проведення повітряної розвідки, шляхом удосконалення процесу вибору доцільного маршруту.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Викладено підхід щодо удосконалення процесу автоматизації вибору маршруту польоту БПЛА з врахуванням впливу несприятливих факторів. Визначено, що висока залежність БПЛА від різних факторів бойової обстановки, передбачають множинність варіантів маршрутів розвідувального польоту. Виконання такого завдання у заданій постановці можливе лише шляхом врахування бойової роботи особи, яка приймає рішення. Це, у свою чергу, потребує

формалізації знань про процес побудови маршруту, визначення доцільної стратегії запланованого виконання польотного завдання БПЛА. У цьому контексті під стратегією розвідувального польоту БПЛА маємо на увазі:

- пріоритетні об'єкти розвідки;
- початкові та кінцеві точки маршруту польоту;
- початковий курс польоту;
- рекомендації щодо набору висоти під час виконання завдання на небезпечних ділянках;
- спосіб пошуку та огляду місцевості.

У статті проаналізовано детерміновані та стохастичні методи формалізації знань, що дозволяють передавати специфічні особливості предметної області, але недоліком являється нечіткість вихідних даних. Тому в роботі подано метод формалізації знань щодо процесу планування маршруту БПЛА із застосуванням математичного апарату нечітких множин. Він дозволяє обробляти задачі, що важко формалізувати, та відрізняється логіко-аналітичним характером і нечіткістю вхідних й вихідних даних.

Результати дослідження, що розглянуті у цій статті в подальшому стануть основою для створення алгоритму дій під час планування маршруту БПЛА для виконання розвідувального завдання.

### Список бібліографічних посилань

1. Joint Intelligence, Surveillance and Reconnaissance. *NCA.NATO* : web site. URL: <https://www.ncia.nato.int/what-we-do/joint-intelligence-surveillance-reconnaissance.html> (accessed 10.08.2023).
2. NATO – AJP-2. Allied joint doctrine for intelligence, counterintelligence and security. *Globalspec.com* : web site. URL: <https://standards.globalspec.com/std/14362031/AJP-2> (accessed 10.08.2023).
3. NATO – AJP-2.1. Allied joint doctrine for intelligence procedures. *Globalspec.com* : web site. URL: <https://standards.globalspec.com/std/14514909/AJP-2.1> (accessed 10.08.2023).
4. Павлишен О. О., Тимчук Г. М., Цокур Т. В. Командиру підрозділу по застосуванню БПЛА тактичного рівня (за досвідом проведення ООС (раніше АТО)) : методичні рекомендації. Вінниця : КПС ЗСУ, 2018. 72 с. URL: <http://surl.li/lzmum> (дата звернення 12.08.2023).
5. Степанов Г. С., Камінський В. В.

Погляди щодо проблемних питань застосування Повітряних Сил в протиповітряній обороні. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2018. № 1(30). С. 18–23. DOI: <https://doi.org/10.30748/nitps.2018.30.03>.

6. Королюк Н. О., Корольов Р. В., Коршєнь О. А. Процедура формалізації даних, які використовуються при описі процесу управління рухом повітряних об'єктів. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2017. № 4(53). С. 103–106. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZKhUPS\\_2017\\_4\\_23](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZKhUPS_2017_4_23) (дата звернення: 09.08.2023).

7. Королюк Н. О., Першин О. В., Грідньова Т. О., Шевченко С. О. Обґрунтування сучасного підходу щодо автоматизації процесів прийняття рішень по управлінню авіацією. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2019. № 1(59). С. 32–39.

- DOI: <https://doi.org/10.30748/zhups.2019.59.04>.
8. Дудко М. В., Королюк Н. О., Опенько П. В. Узагальнений алгоритм планування маршруту розвідувального польоту безпілотного літального апарату із використанням нечітких логічних систем. *Системи озброєння і військова техніка*. 2021. № 2(66). С. 44–50. DOI: <https://doi.org/10.30748/soivt.2021.66.06>.
9. Бережний А. О., Сорока М. Ю. Методи рішення завдань планування поведінки агентів в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2019. № 4(62). С. 18–24. DOI: <https://doi.org/10.30748/zhups.2019.62.02>.
10. Захарченко Ю. В., Іванець Г. В., Іванець М. Г., Калугін В. Д., Тютюнник В. В. Формування трас польоту безпілотних літальних апаратів під час оперативного моніторингу окремої місцевості, де сталася надзвичайна екологічна ситуація. *Техногенно-екологічна безпека*. 2022. № 11(1). С. 23–33. DOI: <https://doi.org/10.52363/2522-1892.2022.1.4>.
11. Пермяков О. Ю., Дудко М. В., Королюк Н. О. Метод формалізації знань про процес визначення доцільної стратегії польоту безпілотних літальних апаратів в ході підготовки до ведення повітряної розвідки на основі нечітких логічних систем. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2020. № 2(38). С. 12–18. DOI: <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2020-38-2-12-20>.
12. Ротштейн О. П., Ракитянська Г. Б. Діагностика на основі багатовимірних нечітких відношень. *Системні дослідження та інформаційні технології*. 2015. № 2. С. 97–111. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/sdtit\\_2015\\_2\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/sdtit_2015_2_12) (дата звернення: 08.08.2023).
13. Korolyuk N. Hybrid model of knowledge for situation recognition in airspace. *Automatic Control and Computer Sciences*. 2014. Vol. 48, P. 257-263. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0146411614050083>.
14. Хмелевський С. І., Королюк Н. О., Белоус Н. М. Дослідження ступеня автоматизації процесів прийняття рішень для підвищення якості управління літаками винищувальної авіації. *Новітні технології – для захисту повітряного простору*: зб. тез доп. міжнар. наук. конф., м. Харків, 12-13 квітня 2023 р. Харків, 2023. С. 297.
15. Дудко М. В., Полонський Ю. І., Королюк Н. О., Коршець О. А. Метод формалізації знань про процес планування маршруту польоту безпілотних літальних апаратів на основі інтервальних нечітких множин типу 2. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2020. № 3(65). С. 6-42. DOI: <https://doi.org/10.30748/zhups.2020.65.05>.
16. Пермяков О. Ю., Королюк Н. О., Королюк А. О., Коротченко Л. А. Новий підхід щодо планування маршруту польоту безпілотних літальних апаратів на основі нечітких множин. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2021. № 1(40). С. 55–62. DOI: <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2021-40-1-55-62>.
17. Hagrais H., Wagner C. Introduction to Interval Type-2 Fuzzy Logic Controllers – Towards Better Uncertainty Handling in Real World Applications. *IEEE eNewsletter. Systems, Man and Cybernetics Society*. No. 27. 2019. URL: <https://www.ieeesmc.org/news/Hagrais.html> (accessed 08.08.2023).
18. Karnik N., Mendel J. On centroid calculations for Type-2 Fuzzy Sets. *Information Sciences*. 2019. Vol. 132. P. 195–220. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0020-0255\(01\)00069-X](https://doi.org/10.1016/S0020-0255(01)00069-X).

## APPROACH TO IMPROVING THE AUTOMATION PROCESS OF SELECTING THE FLIGHT ROUTE OF AN UNMANNED AIRCRAFT TAKING INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF ADVERSE FACTORS

*Permiakov Oleksandr (Doctor of Technical Sciences, Professor)<sup>1</sup>*  
*Korolyuk Natalia (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *National defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine*  
<sup>2</sup> *Kharkiv national Air Forces University named after I. Kozhedub, Kharkiv, Ukraine*

**Formulation of the problem in general.** The article analyzes the features of the use of unmanned aerial vehicles as an effective means of obtaining intelligence about the enemy during aerial reconnaissance. The carried out analysis of the experience of combat use of unmanned aerial vehicles in the process of performing reconnaissance tasks showed that there are problematic issues in making an informed decision on the choice of a set of parameters for the flight and the construction of an appropriate route. Purpose of the article – improving the automation processes for selecting the final route for an unmanned aircraft in the minds of insignificance by formalizing the knowledge of the features that make decisions based on fuzzy multiplicities. Research methods. At the time of writing this article, methods of fuzzy multiplier theory, cognitive methods of automation, modeling and representation of knowledge and others were established. Therefore, a methodical approach allows us to structure information in a formal model, which, in turn, makes it easier to collect and analyze information and make decisions.

**Analysis of recent researches and publications.** The completeness of special mathematical and software support for the formalization of power knowledge, intuition, and the knowledge of combat robotic skills to make decisions has been ensured. Automation of decision-making processes before determining the final route is brought to the task of decision-making in the minds of insignificance.

**Presenting the main material.** The implementation of the task of planning the reconnaissance field of an unmanned aerial vehicle is based on the use of heuristic methods of formalizing knowledge based on fuzzy multiplicities and fuzzy logical systems. The task of forecasting the situation is also assigned to resolve unclear production rules. In the core of the mind (antecedent) there are fuzzy linguistic conditions that include formalized factors that involve the infusion of the modern environment and the tactical minds of conducting reconnaissance, which does not seem to be Other multiplicities. As a rule, there are many options for the set of parameters for the flight of unmanned aircraft. The proposed method of formalizing knowledge for the effective conduct of airborne



*reconnaissance from stationary unmanned aerial vehicles includes two main procedures. The article examines the formalization of knowledge of the significant factors involved in choosing a route.*

**Practical significance of the article.** *It is confirmed that further research in this subject area will become the basis for the creation of an algorithm for daily route planning of unmanned aircraft for the completion of the reconnaissance plant.*

**Conclusion and the perspectives of future researches.** *The article analyzes deterministic and stochastic methods of formalizing knowledge that allow the transfer of specific features of the subject area, but not the lack of clarity of the output data. Thus, the work presents a method for formalizing knowledge of the process of planning a UAV route using the mathematical apparatus of fuzzy multipliers. It allows you to process tasks that are important to formalize, but are characterized by a logical-analytical nature and the vagueness of input and output data.*

**Keywords:** *definition of unmanned aerial vehicle, fuzzy multipliers, route to unmanned aerial vehicle, formalization of knowledge.*

## References

- 1. Joint Intelligence, Surveillance and Reconnaissance.** [online], (2023). *The official site of NCIA.NATO.* Available at: [www.ncia.nato.int/Our-Work/Pages](http://www.ncia.nato.int/Our-Work/Pages) [Accessed: 10 August 2023].
- 2. NATO – AJP-2. Allied joint doctrine for intelligence, counterintelligence and security** [online], (2020). *The official site of GLOBALSPEC.COM.* Available at: [www.standards.globalspec.com/std/9994887/AJP-2](http://www.standards.globalspec.com/std/9994887/AJP-2) [Accessed 10 August 2023].
- 3. NATO – AJP-2.1. Allied joint doctrine for intelligence procedures** [online], (2022). *The official site of GLOBALSPEC.COM.* Available at: [www.standards.globalspec.com/std/14514909/AJP-2.1](http://www.standards.globalspec.com/std/14514909/AJP-2.1) [Accessed 10 August 2023].
- 4. Pavlyshen, O. O., Tymchuk, H. M. and Tsokur, T. V.,** (2018). *Methodical recommendations for the "Commander of the tactical level UAV unit commander.* KPS ZSU, Vinnytsia, [online]. Available at: [www.surl.li/lzmym](http://www.surl.li/lzmym) [Accessed: 12 August 2023].
- 5. Stepanov, G. S., Kaminsky, V. V. and Pavlenko, M. A.,** (2018). Views on the problematic issues of the use of the Air Force in air defense. *Science and technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine. Science and technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine, 1(30), 18-23.* DOI: <https://doi.org/10.30748/nitps.2018.30.03>.
- 6. Korolyuk, N. O., Korolev, R. V. and Korshets, O. A.** (2017), The procedure of formalization of the data used in the description of the process of controlling the movement of air objects [online]. *Collection of Scientific Works Kharkiv National University of the Air Force, 4(53), 103-106.* Available at: [www.nbu.gov.ua/UJRN/ZKhUPS\\_2017\\_4\\_23](http://www.nbu.gov.ua/UJRN/ZKhUPS_2017_4_23) [Accessed: 09 August 2023].
- 7. Korolyuk, N. O., Pershin, O. V., Gridnyova, T. O. and Shevchenko, S. O.,** (2019). Justification of the modern approach to the automation of aviation management decision-making processes. *Collection of Scientific Works Kharkiv National University of the Air Force, 1(59), 32-39.* DOI: <https://doi.org/10.30748/zhups.2019.59.04>.
- 8. Dudko, M. V., Koroliuk, N. O. and Openko, P. V.,** (2021). A generalized algorithm for planning the route of a reconnaissance flight of an unmanned aerial vehicle using fuzzy logic systems. *Weapon Systems and Military Equipment, 2(66), 44-50.* DOI: <https://doi.org/10.30748/soivt.2021.66.06>.
- 9. Bereznyy, A. O. and Soroka, M. Yu.,** (2019). Methods of solving agents' behavior planning tasks in intelligent decision support systems. *Collection of Scientific Works of the Kharkiv National University of the Air Force, 4(62), 18-24.* DOI: <https://doi.org/10.30748/zhups.2019.62.02>.
- 10. Zakharchenko, Y. V., Ivanets, G. V., Ivanets, M. G., Kalugin, V. D. and Tyutyunyk, V. V.,** (2022). Formation of flight paths of unmanned aerial vehicles during operational monitoring of a separate area where an environmental emergency has occurred. *Technological and Environmental Safety, 11(1), 23-33.* DOI: <https://doi.org/10.52363/2522-1892.2022.1.4>.
- 11. Permyakov, O. Yu., Dudko, M. V. and Koroliuk, N. O.,** (2020). The method of formalization of knowledge about the process of determining the appropriate flight strategy of unmanned aerial vehicles in the course of preparation for aerial reconnaissance based on fuzzy logical systems. *Military Cybernetics and Systems Analysis, 2(38), 12-18.* DOI: <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2020-38-2-12-20>.
- 12. Rotshtein, O. P. and Rakityanska, G. B.,** (2015). Diagnostics based on multidimensional fuzzy relations [online]. *System Research and Information Technologies, 2, 97-111.* Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/sdit\\_2015\\_2\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/sdit_2015_2_12) [Accessed 08 August 2023].
- 13. Pavlenko, M. A., Timochko, A. I., Korolyuk, N. A. and Gusak, M. Yu.,** (2014). Hybrid model of knowledge for situation recognition in airspace. *Automatic Control and Computer Sciences, 48, 257-263.* DOI: <https://doi.org/10.3103/S0146411614050083>.
- 14. Khmelevs'kyi, S. I., Korolyuk, N. O. and Byelous, N. M.,** (2023). Study of the degree of automation of decision-making processes to improve the quality of fighter aircraft management. In: *XIX International Scientific Conference of Kharkiv National University of the Air Force named after Ivan Kozhedub "The latest technologies - for the protection of airspace", Collection of abstracts of reports of the international scientific conference, April 12-13, Kharkiv, 297.*
- 15. Dudko, M. V., Polonskyi, Y. I., Koroliuk, N. O. and Korshets, O. A.,** (2020). The method of formalization of knowledge about the process of planning the flight route of unmanned aerial vehicles based on interval fuzzy sets of type 2. *Collection of Scientific Works of the Kharkiv National University of the Air Force, 3(65), 36-42.* DOI: <https://doi.org/10.30748/zhups.2020.65.05>.
- 16. Permyakov, O. Yu., Korolyuk, N. O., Korolyuk, A. O. and Koryotchenko, L. A.,** (2021). A new approach to flight route planning of unmanned aerial vehicles based on fuzzy sets. *Modern information technologies in the field of security and defense, 1(40), 55-62.* DOI: <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2021-40-1-55-62>.
- 17. Hagra, H. and Wagner, C.,** (2019). Introduction to Interval Type-2 Fuzzy Logic Controllers – Towards Better Uncertainty Handling in Real World Applications [online]. *Systems, Man and Cybernetics Society, 27.* Available at: [www.ieeesmc.org/newsletters/back/2009\\_06/SMC-Hagra.htm](http://www.ieeesmc.org/newsletters/back/2009_06/SMC-Hagra.htm) [Accessed: 08 August 2023].
- 18. Karnik, N., and Mendel, J.,** (2019). On centroid calculations for Type-2 Fuzzy Sets. *Information Sciences, 132, 195-200.* DOI: [https://doi.org/10.1016/S0020-0255\(01\)00069-X](https://doi.org/10.1016/S0020-0255(01)00069-X).