

Олена Мураховська

старший викладач кафедри вищої математики та системного аналізу
Національний аерокосмічний університет імені М. С. Жуковського «ХАІ» (Харків, Україна)
E-mail: o.murahovska@khai.edu. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6170-5173>
ResearcherID: [HIA-0690-2022](https://orcid.org/0000-0002-6170-5173). SCOPUS Author ID: [57223964871](https://orcid.org/0000-0002-6170-5173)

**ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИЯВЛЕННЯ
НАЗЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ БЕЗПІЛОТНИМ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ
ЦИВІЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

Вирішується задача побудови частинних критеріїв ефективності безпілотного літального апарата при виконанні завдань поодинокого або групового пошуку незамаскованих нерухомих об'єктів методом випадкового пошуку з постійною інтенсивністю спостереження. Запропоновано ймовірнісну модель побудови частинних критеріїв ефективності, яка дозволить оцінити ймовірність виявлення поодинокого об'єкта в заданий проміжок часу, середній час, необхідний для пошуку до виявлення об'єкта з урахуванням технічних характеристик безпілотного літального апарату, обмежень на час знаходження в робочій зоні та відстань до дальньої межі робочої зони.

Ключові слова: безпілотна авіаційна система; критерії ефективності; ймовірнісна модель; пошук об'єктів; поодинокий об'єкт; груповий об'єкт.

Рис.: 2. Бібл.: 19.

Актуальність теми дослідження. Активний розвиток безпілотних літальних апаратів (БпЛА) зумовлено низкою їхніх важливих переваг [1; 2]. Насамперед це відсутність екіпажу, тобто вони можуть виконувати маневри з перевантаженням, що перевищує фізичні можливості людини, порівняно невелика вартість БпЛА, малі витрати на їхню експлуатацію, вони не вимагають спеціальних аеродромів із розвиненою інфраструктурою для свого базування, великі тривалість і дальність польоту через відсутність фактору втоми екіпажу та інші переваги порівняно з пілотованою авіацією. Наприклад, у роботі [3] серед переваг БпЛА транспортної категорії порівняно з пілотованим варіантом зазначено відмову від систем та обладнання життєзабезпечення, маса яких для середнього транспортного літака приблизно дорівнює 1,6-1,7 т. Актуальність дослідження пов'язана з аналізом найбільш доцільних способів поодинокого або групового пошуку об'єкта, які забезпечують виявлення об'єкта в найкоротший термін та з найменшою витратою ресурсів.

Постановка проблеми. Кінцевою метою пошукових дій є виявлення об'єкта, яке може бути реалізовано в різний спосіб, нерівноцінним із погляду витрачених зусиль та тривалості пошуку. Отже, актуальна розробка найбільш доцільних способів пошуку, які забезпечують виявлення об'єкта в найкоротший термін та з найменшою витратою ресурсів [4]. Виявлення об'єкта залежить від багатьох чинників, основними з яких є:

- спосіб пошуку цілі (маршрут польоту, послідовність перегляду місцевості тощо);
- характер об'єктів пошуку (об'єкт поодинокий або множинний, рухомий чи ні);
- умови застосування БпЛА (швидкість, висота польоту тощо);
- апаратура, що використовується для ведення пошуку та передачі інформації;
- дестабілізуючий вплив факторів зовнішнього середовища (природного та техногенного характеру).

Тобто на виявлення об'єктів впливають як об'єктивні чинники (наприклад, спосіб пошуку цілі), так і випадкові (наприклад, дестабілізуючий вплив чинників довкілля) [5; 6], тому попередньо не можна напевно стверджувати, буде виявлено об'єкт за даних умов та у даний спосіб пошуку чи ні. Інакше кажучи, виявлення об'єкта при його пошуку є випадковою подією, а тому, характеризуючи можливість виявлення об'єкта та ефективність його пошуку, необхідно використовувати відповідні методи теорії ймовірностей [7; 8].

У цій роботі для оцінки ефективності обрані ймовірнісні частинні критерії, що дозволяють не лише оцінити ефективність використання БпЛА, а ще і спланувати поставлене завдання із заданим рівнем ймовірності [4; 7; 9]. До цієї групи критеріїв належать:

- $P_{\text{виявл}}$ – частинний критерій виявлення об'єкта і заданий проміжок часу t ;
- $T_{\text{сер}}$ – середній час пошуку до виявлення об'єкта;
- P_m – частинний критерій виявлення не менше m об'єктів із загальної кількості n ;
- P_M – частинний критерій виявлення не менше заданої кількості об'єктів за заданий час пошуку;
- $P_{\text{виявл}}^1$ – частинний критерій виявлення не менш одного об'єкта.

Метод пошуку – випадковий пошук із постійною інтенсивністю спостереження (район можливого знаходження об'єкта проглядається в хаотичному порядку, більша увага приділяється ділянкам найбільш вірогідного розташування об'єкта пошуку, не включаючи багаторазового перегляду тієї самої ділянки). Також приймаються такі припущення: знаходження об'єкта рівноймовірне в будь-якій точці району пошуку; об'єкт нерухомий; об'єкт не замаскований; об'єкт поодинокий або груповий.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно з [10] безпілотні авіаційні системи (БАС) класифікуються за сферою застосування та належності на військові, цивільні, спеціальні та дослідні. Цивільні БАС, у свою чергу, поділяються на протипожежні, транспортні, пошукові, моніторингові та побутові. БпЛА можна використовувати також під час вирішення наступних цивільних завдань [11-14].

Виробничий та екологічний моніторинг – збір інформації про об'єкт з метою визначення відповідності його функціональних характеристик до технологічних та екологічних норм. Виробничому та екологічному моніторингу підлягають об'єкти видобутку, зберігання газу, магістральні трубопроводи, газопереробні та газохімічні комплекси.

Пошукові та рятувальні роботи – виконуються за потреби, здебільшого в разі виникнення позаштатних (надзвичайних) ситуацій в обсягах, що відповідають можливостям безпілотної авіаційної техніки – авіамоніторинг різних видів.

Оперативна доставка вантажів – доставка вантажів у важкодоступні райони (що не мають транспортних комунікацій по земній поверхні) та інші.

Охорона об'єктів – виконання моніторингу та активних дій щодо запобігання несанкціонованому втручанням в діяльність об'єктів.

Геофізичні дослідження – збирання інформації щодо фізичного стану земної поверхні, а також ґрунту до можливої глибини, на якій розташовуються або плануються до розміщення об'єкти інфраструктури, а також з метою пошуку родовищ корисних копалин, уточнення їхніх меж.

Картографування – виконання робіт з визначення просторового розміщення та поєднання елементів земної поверхні, геометричної прив'язки об'єктів інфраструктури до геодезичної системи Землі.

Валідація результатів обробки матеріалів космічної зйомки – збір та обробка контрольної вибірки матеріалів наземної та авіаційної зйомки для підтвердження заявленої точності вимірювання тематичних характеристик природних об'єктів чи технологічного обладнання.

Льодова розвідка – виконання моніторингу крижаних полів, переважно у водних акваторіях, з метою визначення віку льоду, напряму та швидкості дрейфу льодових полів, положення та величин розводів тощо.

Ретрансляція радіосигналів систем зв'язку – забезпечення оперативної передачі радіосигналів за лінію радіогоризонту від джерела до споживача в районах із відсутністю дротових, радіорелейних та інших видів зв'язку.

Таким чином, питання створення та ефективного використання БпЛА на сьогодні стоять надзвичайно гостро та актуально. Це пояснюється не тільки зростаючою кількістю об'єктів моніторингу, але й тією обставиною, що наявні способи моніторингу не влаштовують споживачів за тими чи іншими показниками.

БпЛА – складова частина безпілотного авіаційного комплексу (БАК). Критерій ефективності БАК – це показник, за числовою величиною якого виконується оцінка та порівняння результативності (ефективності) БАК при виконанні ним поставленого завдання [15]. Для оцінки ефективності БАК найчастіше використовуються вартісні критерії [16]. Вартісні критерії характеризують витрати на виконання завдання [17].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Аналіз літературних джерел виявив, що проблема побудови частинних критеріїв ефективності БпЛА залежно від об'єктивних та випадкових чинників мало досліджена. Також не досліджено питання побудови частинних критеріїв, що дозволяють не лише оцінити ефективність використання БпЛА, а ще і спланувати поставлене завдання із заданим рівнем ймовірності.

Метою дослідження є побудова частинних критеріїв ефективності БпЛА цивільного призначення при виконанні завдання пошуку та виявлення нерухомих об'єктів. Ці критерії повинні не тільки дозволити оцінювати ефективність виконання завдання БпЛА, а ще і планувати завдання пошуку одиничного або групового об'єкта із заданим рівнем ймовірності.

Виклад основного матеріалу. Вибір критерію ефективності є важливим етапом при вирішенні будь-якого завдання, пов'язаного з функціонуванням БАК [4; 5; 9; 16; 18]. Для того, щоб правильно вибрати критерії, необхідно керуватися основними вимогами, що пред'являються до них. Тільки при дотриманні цих вимог критерій буде обраний правильно, оцінка ефективності буде об'єктивною і стане надійною основою рішення про дії або вибір параметрів складових частин БАК, при їх створенні та модернізації. Основні вимоги до критеріїв ефективності БАК:

– критерії повинні безпосередньо відображати цільову спрямованість вирішувального завдання;

– критерії повинні враховувати основний напрямок завдання, що виконується;

– критерії повинні враховувати основні фактори, від яких залежить виконання завдання;

– критерії мають бути кількісними та можливо простими для обчислення та аналізу;

– бажано, щоб критерій мав фізичний зміст.

Загальний критерій ефективності БАК [19] повинен давати можливість як для оцінки ефективності його функціонування при виконанні ним конкретного завдання, так і для дослідження впливу тактико-технічних характеристик, експлуатаційних властивостей та умов застосування БАК на ефективність його функціонування. Однак це надзвичайно складне завдання. Тому загальний критерій ефективності записується як функція частинних критеріїв, які своєю чергою виражаються через характеристики БАК. Частинні критерії ефективності БАК – це показники ефективності виконання окремих етапів функціонування БАК, які характеризують якість виконання кожного етапу його функціонування [4; 9].

Припустимо, що завдання пошуку полягає у виявленні одного з об'єктів, що знаходиться в районі пошуку площею S (розмір робочої зони). У цьому випадку частинним критерієм ефективності буде ймовірність виявлення об'єкта пошуку $P_{\text{виявл}}$. Оскільки пошук об'єктів є процесом без післядії по випадковій траєкторії, то час пошуку підпорядковується показниковому закону розподілу, щільність якого має вигляд [7]:

$$\rho(t) = \gamma e^{-\gamma t},$$

де γ – щільність виявлення об'єкта пошуку, тобто середнє очікуване число виявлень в одиницю часу, що приблизно визначається як

$$\gamma = \frac{S_1}{S} = \frac{BV_{\text{БПЛА}}}{S} = \frac{2R V_{\text{БПЛА}}}{S} = \frac{2 H \text{tg}\left(\frac{\theta}{2}\right) V_{\text{БПЛА}}}{S},$$

де S_1 – розмір полоси перегляду;

B – ширина області огляду оптичної системи, $B = 2R$;

$V_{\text{БПЛА}}$ – швидкість польоту БПЛА;

H – висота польоту;

θ – кут поля зору оптичної системи БПЛА.

Тоді середня кількість виявлених об’єктів пошуку за одиницю часу становить

$$\gamma_{\text{зН}} = \gamma P_{\text{В}},$$

де $P_{\text{В}}$ – ймовірність миттєвого виділення незамаскованого об’єкта.

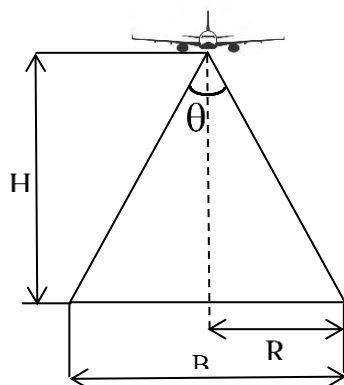


Рис. 1. Ширина області огляду оптичної системи БпЛА

На рис. 1 зображено залежність ширини області огляду оптичної системи БПЛА від висоти польоту та кута поля зору оптичної системи БПЛА. Коефіцієнт γ залежить від характеристик об’єкта спостережень [4]. Такою узагальненою характеристикою є середній час $T_{\text{сер}}$, яке витрачається на пошук та упізнання об’єкта у заданому районі. Його можна знайти як математичне сподівання випадкової величини, розподіленої за показниковим законом:

$$T_{\text{сер}} = \int_0^{\infty} t \rho(t) dt = \gamma_{\text{зН}} \int_0^{\infty} t_{\text{зН}} e^{-\gamma_{\text{зН}} t_{\text{зН}}} dt_{\text{зН}} = \frac{1}{\gamma_{\text{зН}}} = \frac{1}{\gamma P_{\text{В}}},$$

де $t_{\text{зН}}$ – час знаходження БПЛА в робочій зоні.

Ймовірність виявлення об’єкта $P_{\text{виявл}}(t)$ у заданому районі S за час пошуку $t_{\text{зН}}$ (частинний критерій ефективності) може бути визначений за формулою [7]:

$$P_{\text{виявл}} = \int_0^{t_{\text{зН}}} \rho(t) dt = \int_0^{t_{\text{зН}}} \gamma_{\text{зН}} e^{-\gamma_{\text{зН}} t_{\text{зН}}} dt_{\text{зН}} = 1 - e^{-\gamma_{\text{зН}} t_{\text{зН}}} \text{ або}$$

$$P_{\text{виявл}} = 1 - e^{-t_{\text{зН}}/T_{\text{сер}}} = 1 - e^{-\gamma P_{\text{В}} t_{\text{зН}}}.$$

Як показано у [18] на час знаходження БПЛА у робочій зоні та відстань до дальньої межі робочої зони накладаються обмеження:

$$t_{\text{зН}} = t_{\text{max}} - 2t_{\text{від}}, \quad t_{\text{від}} = D_{\text{від}}/V_{\text{БПЛА}}, \quad D_{\text{мвід}} \leq D_{\text{упр}},$$

де t_{max} – максимальний час знаходження БПЛА в польоті; $t_{\text{від}}$ – час польоту БПЛА від точки зльоту до ближньої межі робочої зони; $D_{\text{від}}$ – відстань від точки зльоту БПЛА до ближньої межі робочої зони; $D_{\text{мвід}}$ – відстань до дальньої межі робочої зони; $D_{\text{упр}}$ – максимальна дальність, на якій забезпечується управління БПЛА з наземного пункту управління.

На практиці можуть бути поставлені такі завдання пошуку групового об’єкта, розташованого на певній площі або у просторі:

1. Знайти частинний критерій виявлення m об’єктів із загальної кількості n , за умови, що ймовірність виявлення об’єктів різна.

Застосовуючи теореми теорії ймовірностей [7] напишемо твірну функцію $\varphi_n(z)$ ймовірностей $P_{m,n}$:

$$\varphi_n(t) = (q_1 + p_1 t)(q_2 + p_2 t) \dots (q_n + p_n t) = \prod_{i=1}^n (q_i + p_i t),$$

де t – довільний параметр;

q – ймовірність протилежної події, тобто $q = 1 - p$.

Тоді ймовірність, що з n об'єктів буде виявлено m , дорівнює коефіцієнту при t^m у виразі для твірної функції, тобто

$$\prod_{i=1}^n (q_i + p_i t) = \sum_{m=0}^n P_{m,n} t^m.$$

Якщо $p_1 = p_2 = \dots = p_n = p$ и $q_1 = q_2 = \dots = q_n = q$, тобто за умови, що ймовірності виявлення об'єктів однакові, твірна функція звертається в n -й ступінь бінома, таким чином отримуємо частинний критерій:

$$P_{m,n} = (q + pt)^n = \sum_{m=0}^n C_n^m p^m q^{n-m} t^m,$$

де C_n^m – комбінація з n по m елементів. На рис. 2 наведено алгоритм знаходження частинного критерію $P_{m,n}$ за умов різної ймовірності виявлення об'єктів при груповому пошуку.

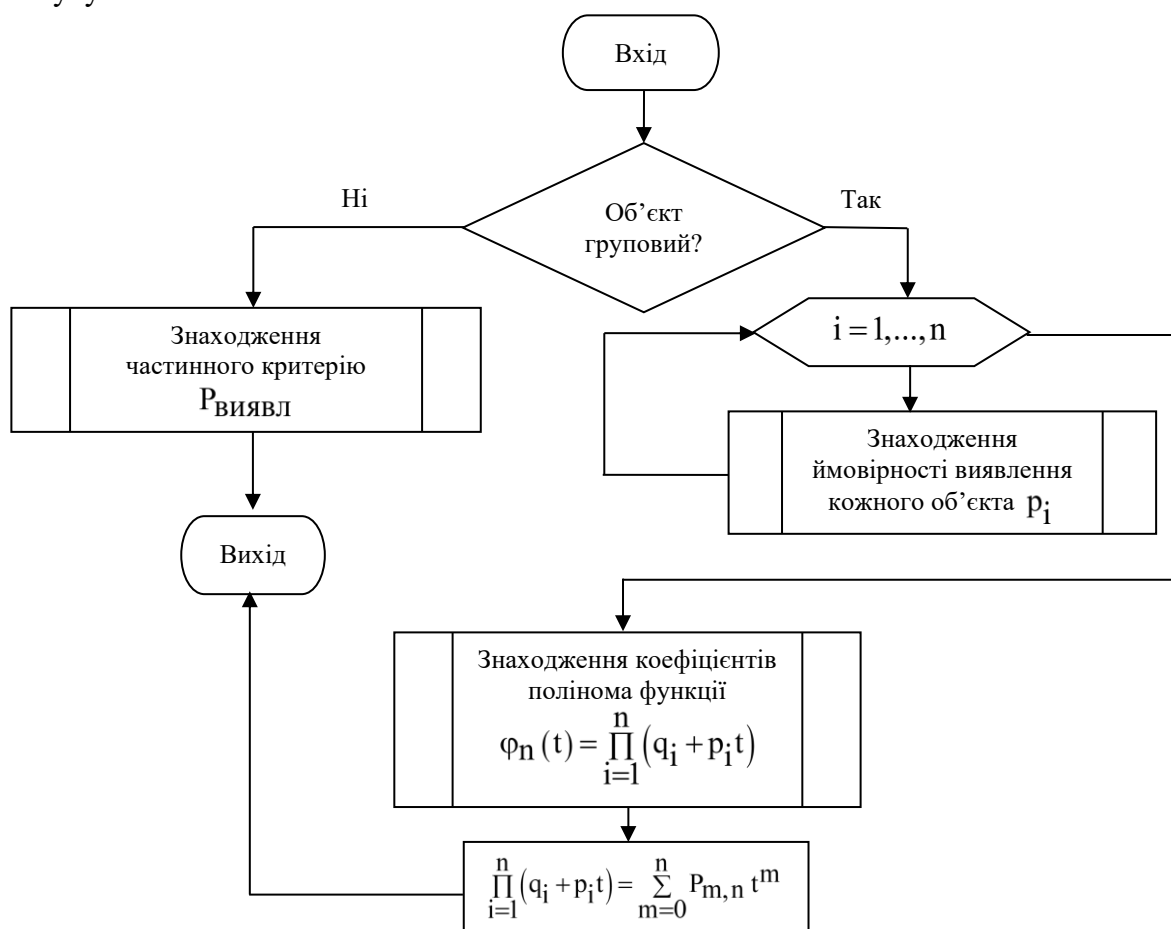


Рис. 2. Блок-схема алгоритму знаходження частинного критерію

2. Частинний критерій P_M знаходження не менш ніж M об'єктів можна обчислити за формулою:

$$P_M = \sum_{m=M}^n P_m.$$

3. Частинний критерій $P_{\text{виявл}}^1$ виявлення не менш ніж одного об'єкта розраховують за формулою:

$$P_{\text{виявл}}^1 = 1 - (1 - P_{\text{виявл}})^n = 1 - (\bar{P}_{\text{виявл}})^n,$$

де $\bar{P}_{\text{виявл}}$ – ймовірність протилежної події, тобто не знайти жодного об'єкта.

4. За відомою (заданою) ймовірністю виявлення об'єкта $P_{\text{виявл}}$ знайти необхідний час знаходження $t_{\text{зн}}$:

$$P_{\text{виявл}} = 1 - e^{-t_{\text{зн}}/T_{\text{сер}}} \Rightarrow t_{\text{зн}} = -T_{\text{сер}} \ln(\bar{P}_{\text{виявл}}).$$

5. За відомою (заданою) ймовірністю виявлення об'єкта $P_{\text{виявл}}$ знайти площу S , переглянута спостерігачем протягом заданого часу $t_{\text{зн}}$:

$$S = \frac{S_1}{\gamma} = \frac{BV_{\text{БПЛА}}}{\gamma} = \frac{BV_{\text{БПЛА}} P_V}{\gamma_{\text{зн}}},$$

оскільки $P_{\text{виявл}} = 1 - e^{-\gamma_{\text{зн}} t_{\text{зн}}} \Rightarrow \gamma_{\text{зн}} = -\frac{\ln(\bar{P}_{\text{виявл}})}{t_{\text{зн}}}$, остаточно маємо

$$S = -\frac{BV_{\text{БПЛА}} P_V t_{\text{зн}}}{\ln(\bar{P}_{\text{виявл}})}.$$

Висновки. Проаналізовано коло цивільних завдань, для яких можна використовувати БПЛА. Сформульовано основні вимоги до критеріїв ефективності БАК. Отримано ймовірнісні частинні критерії ефективності БПЛА цивільного призначення при виконанні завдання пошуку та виявлення нерухомих об'єктів при поодинокому та груповому пошуку. Побудовано алгоритм знаходження частинного критерію виявлення об'єктів при груповому пошуку, за умови різної ймовірності виявлення об'єктів. Подальші дослідження доцільно спрямувати в напрямку створення математичного та алгоритмічного апарату визначення частинних критеріїв ефективності пошуку рухомих об'єктів.

Список використаних джерел

1. Павлушенко М. И. Беспилотные летательные аппараты: История, применение, угроза пространства и перспективы развития / М. И. Павлушенко, Г. М. Евстафьев, И. К. Макаренко // Научные записки ПИР-центра. – 2004. – № 2(26). – 612 с.
2. Концепции развития современной авиационной техники основных назначений : инновац. учеб. для неавиационных специальностей аэрокосм. ун-та / В. А. Богуслаев, А. И. Рыженко, Е. А. Мураховская, Р. Ю. Цуканов. – Запорожье : Просвіта, 2020. – 707 с.
3. Долгих В. С. Основні положення концепції створення безпілотної авіаційної транспортної системи / В. С. Долгих // Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології : зб. наук. праць. – 2021. – Вип. 94. – С. 40-49. – DOI: 10.32620/oikit.2021.94.04.
4. Боевые авиационные комплексы и их эффективность: учебник для слушателей и курсантов инженерных ВУЗов ВВС / И. В. Арбузов, О. В. Болховитинов, О. В. Волочаев [и др.]. – М. : Изд. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008. – 224 с.
5. Кузнецов И. Е. Методика учета влияния метеофакторов на эффективность применения беспилотных летательных аппаратов на основе системного анализа / И. Е. Кузнецов, О. В. Страшко, А. В. Мельников, Е. А. Рогозин // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2018. – Т. 45, № 2. – С. 134-149. – DOI: 10.21822/2073-6185-2018-45-2-125-139.

6. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – М. : Высш. шк., 1998. – 576 с.
7. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология / Е. С. Вентцель. – 2-е изд., стер. – М. : Наука. 1988. – 208 с.
8. Коцюруба А. В. Рекомендації щодо оцінювання розвідувальних можливостей безпілотних літальних апаратів / А. В. Коцюруба, І. Ю. Салій // Повітряна міць держави. – 2021. – № 1 (1). – С. 47-50.
9. Вероятностная модель поиска и обнаружения наземных объектов с использованием беспилотных летательных аппаратов в условиях нерегулярных воздействий внешней среды / И. Е. Кузнецов, А. А. Кузнецов, И. О. Бакланов, О. В. Страшко // VI Международная конференция и молодёжная школа «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ-2020). – Самара, 2020. – С. 152-156.
10. Ростопчин В. В. “Напасть XXI века”: стороны одной “медали” / В. В. Ростопчин // Авиапанорама. – 2019. – № 1. – С. 28-51.
11. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние / В. С. Фетисов, Л. М. Неугодникова, В. В. Адамовский, Р. А. Красноперов ; под ред. В. С. Фетисова. – Уфа: ФОТОН, 2014. – 217 с.
12. Сметанін К. В. Особливості використання безпілотних літальних апаратів в екологічному моніторингу / К. В. Сметанін // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2018. – № 3. – С. 22-25. – doi: 10.26906/SUNZ.2018.3.022.
13. Кобрин В. Н. Беспилотные авиационные комплексы для решения экологических задач / В. Н. Кобрин, Н. В. Нечипорук, Н. В. Кобрин // Екологічна безпека. – 2014. – № 2. – С. 43-50.
14. Харченко В. П. Аналіз застосування безпілотних авіаційних систем у цивільній сфері / В. П. Харченко, Д. Е. Прусов // Вісник Національного авіаційного університету. – 2012. – № 4. – С. 118-130.
15. Ростопчин В. В. Беспилотные авиационные системы: основные понятия / В. В. Ростопчин, И. Е. Бурдун // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2009. – № 4. – С. 82-88.
16. Тенденції розвитку ударної безпілотної авіації імовірного противника. критерій оцінювання ефективності бойового застосування сучасних ударних безпілотних ударних літальних апаратів / А. Г. Салій, С. М. Коротін, Б. А. Білявський // Повітряна міць держави. – 2021. – № 1(1). – С. 62-67.
17. Мураховська О. А. Алгоритм визначення оцінки ефективності літальних апаратів транспортної категорії / О. А. Мураховська, Н. А. Українець // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2022. – № 4 (70). – С. 10-15. – doi: 10.26906/SUNZ.2022.4.010.
18. Корочкін О. А. Оцінка ефективності виконання бойових задач бойовим авіаційним комплексом / О. А. Корочкін, Д. В. Дяченко, Ю. А. Олійник // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2009. – № 1(1). – С. 35-39.
19. Боевые авиационные комплексы и их эффективность / О. В. Болховитинов [и др.] ; под ред. О. В. Болховитинова. – М. : ВВИА им. Н.Е. Жуковского. 1990. – 99 с.

References

1. Pavlushenko, M.I., Evstafev, G.M., & Makarenko, I.K. (2004). *Bespilotnye letatelnye apparaty: Istoriia, primeneniie, ugroza rasprostraneniia i perspektivy razvitiia* [Unmanned aerial vehicles: History, application, proliferation threat and development prospects]. *Nauchnye zapiski PIR-tcentra – Scientific notes of the PIR Center*, (2(26)).
2. Boguslaev V.A., Ryzhenko A.I., Murahovska E.A., & Tsukanov R.Iu. (2020). *Kontseptsii razvitiia sovremennoi aviatcionnoi tekhniki osnovnykh naznachenii* [Concepts for the development of modern aviation technology for the main purposes]. Prosvita.
3. Dolhykh, V.S. (2021). *Osnovni polozhennia kontseptsii stvorennia bezpilotnoi aviatsiinoi transportnoi systemy* [Basic provisions of the concept of creating an unmanned aviation transport system]. *Vidkryti informatsiini ta kompiuterni intehrovani tekhnolohii – Open information and computer integrated technologies*, 94, 40-49. doi: 10.32620/oikit.2021.94.04.
4. Arbuzov, I.V., Bolkhovitinov, O.V., & Volochaev, O.V. (2008). *Boevye aviatsionnye kompleksy i ikh effektivnost: uchebnik dlia slushatelei i kur-santov inzhenernykh VUZov VVS* [Combat aviation systems and their effectiveness: a textbook for students and cadets of engineering universities of the Air Force]. Izd. VVIA im. prof. N. E. Zhukovskogo.

5. Kuznetsov, I.E., Melnikov, A.V., & Rogozin, E.A. (2018). Metodika ucheta vliianiia meteofaktorov na effektivnost primeneniia bespilotnykh letatelnykh apparatov na osnove sistemnogo analiza [Methodology for taking into account the influence of meteorological factors on the effectiveness of the use of unmanned aerial vehicles based on system analysis]. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki – Bulletin Dagestan State Technical University. Technical science*, 45(2), 134-149. doi: 10.21822/2073-6185-2018-45-2-125-139.
6. Venttsel, E.S. (1998). *Teoriia veroiatnostei [Probability Theory]*. Vyssh. shk.
7. Venttsel, E.S. (1988). *Issledovanie operatsii: zadachi, printsipy, metodologiya [Operations Research: Objectives, Principles, Methodology]*. 2nd ed. Nauka.
8. Kotsiuruba, A.V., & Saliy, I.Yu. (2021). Rekomendatsii shchodo otsiniuvannia rozviduvalnykh mozhlyvosti bezpilo-tnykh litalnykh aparativ [Recommendations for evaluating the intelligence capabilities of unmanned aerial vehicles]. *Povitriana mits derzhavy – Air power of the state*, (1(1)), 47-50.
9. Kuznetsov, I.E., Kuznetsov, A.A., Baklanov, I.O., & Strashko, O.V. (2020). Veroiatnostnaia model poiska i obnaruzheniia nazemnykh obektov s ispolzovaniem bespilotnykh letatelnykh apparatov v usloviakh nereguliarnykh vozdeistvii vneshnei sredy [Probabilistic model of search and detection of ground objects using unmanned aerial vehicles in conditions of irregular environmental influences]. *VI Mezhdunarodnaia konferentsiia i molodezhnaia shkola «Informatsionnye tekhnologii i nanotekhnologii» (ITNT-2020) – VI International Conference and youth school "Information technologies and nanotechnologies" (ITNT-2020)* (pp. 152-156).
10. Rostopchin, V.V. (2019). “Napast XXI veka”: storony odnoi “medali” [“The misfortune of the XXI century”: sides of the same “medal”]. *Aviapanorama*, (1), 28-51.
11. Fetisov, V.S. (Ed.), Neugodnikova, L.M., Adamovskii, V.V., & Krasnoperov, R.A. (2014). *Bespilotnaia aviatsiia: terminologiya, klassifikatsiia, sovremennoe sostoianie [Unmanned aircraft: terminology, classification, current state]*. FOTON.
12. Smetanin, K.V. (2018). Osoblyvosti vykorystannia bespilotnykh litalnykh aparativ v ekolohichnomu monitorynhi [Peculiarities of the use of unmanned aerial vehicles in environmental monitoring]. *Sistemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku – Management, navigation and communication systems*, (3), 22-25. doi: 10.26906/SUNZ.2018.3.022.
13. Kobrin, V.N., Nechiporuk, N.V., & Kobrina, N.V. (2014). Bespilotnye aviatcionnye kompleksy dlia resheniia ekologicheskikh zadach [Unmanned aerial systems for solving environmental problems]. *Ekologichna bezpeka – Ecological safety*, (2), 43-50.
14. Kharchenko, V.P., & Prusov, D.E. (2012). Analiz zastosuvannia bespilotnykh aviatsiinykh system u tsyvilnii sferi [Analysis of the application of unmanned aircraft systems in the civil sphere]. *Visnyk Natsionalnoho aviatsiinoho universytetu – Bulletin of the National Aviation University*, (4), 118-130.
15. Rostopchin, V.V., & Burdun, I.E. (2009). Bespilotnye aviatcionnye sistemy: osnovnye poniatii [Unmanned Aircraft Systems: Basic Concepts]. *Elektronika: Nauka, Tekhnologiya, Biznes – Electronics: Science, Technology, Business*, (4), 82-88.
16. Saliy, A.H., Korotin, S.M., & Biliavskiy, B.A. (2021). Tendentsii rozvytku udarnoi bespilotnoi aviatsii imovirnoho protyvnyka. kryterii otsiniuvannia efektyvnosti boiovoho zastosuvannia suchasnykh udarnykh bespilotnykh udarnykh litalnykh aparativ [Trends in the development of unmanned attack aircraft of the alleged enemy. criterion for evaluating the effectiveness of combat use of modern shock unmanned shock aircraft]. *Povitriana mits derzhavy – Air power of the state*, (1(1)), 62-67.
17. Murakhovska, O.A. (2022). Alhorytm vyznachennia otsinky efektyvnosti litalnykh aparativ transportnoi katehorii [Algorithm for determining the efficiency of transport category aircraft]. *Sistemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku – Management, navigation and communication systems*, (4(70)), 10-15. doi: 10.26906/SUNZ.2022.4.010.
18. Korochkin, O.A., Diachenko, D.V., & Oliinyk, Yu.A. (2009). Otsinka efektyvnosti vykonannia boiovykh zadach boiovykh aviatsiinykh kompleksom [Assessment of the effectiveness of combat missions by the combat aviation complex]. *Nauka i tekhnika Povitria-nykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy – Science and technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine*, (1(1)), 35-39.
19. Bolkhovitinov, O.V. (Ed.). (1990). *Boevye aviatcionnye kompleksy i ikh effektivnost [Combat aviation systems and their effectiveness]*. VVIA im. N.E. Zhukovskogo.

Отримано 22.11.2022

Olena Murahovska

Senior Lecturer, Department of Higher Mathematics and System Analysis

National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute» (Kharkiv, Ukraine)

E-mail: o.murahovska@khai.edu. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6170-5173>

ResearcherID: [HIA-0690-2022](https://orcid.org/0000-0002-6170-5173). SCOPUS Author ID: [57223964871](https://orcid.org/0000-0002-6170-5173)

FEATURES OF DETECTION EFFICIENCY ASSESSMENT OF GROUND OBJECTS BY UNMANNED FLIGHT APPARATUS BY CIVIL PURPOSE

The task of constructing partial criteria for the effectiveness of an unmanned aerial vehicle for civilian purposes when performing the tasks of single or group search for unmasked stationary objects by the method of random search with a constant intensity of observation is set and solved. The relevance of the research is related to the analysis of the most appropriate search methods, which ensure the detection of the object in the shortest time and with the least consumption of resources. The purpose of the article is to construct partial criteria for the effectiveness of civil unmanned aerial vehicles when performing the task of searching for and detecting stationary unmasked objects. These criteria should not only allow to evaluate the effectiveness of the task by an unmanned aerial vehicle, but also to plan the task of searching for a single or group object with a given level of probability, to estimate the time spent, the area viewed by the observer during the given time, etc. The range of civil tasks for which unmanned aerial vehicles can be used has been analyzed. The main requirements for the efficiency criteria of unmanned aircraft complexes have been studied and formulated. An analysis of publications was conducted and the shortcomings of existing approaches to the formation of criteria for the effectiveness of unmanned aerial vehicles were revealed. Taking into account that the search for objects is a process without an aftereffect along a random trajectory, a probabilistic model of constructing partial of efficiency criteria is proposed. It will make it possible to estimate the probability of detecting a single object in a given period of time, as well as the average time required for the search until the object is detected, taking into account the technical characteristics of the unmanned aerial vehicle and the optical system, as well as limitations on the time of finding an unmanned aerial vehicle in working area and the distance to the far boundary of the working area. A probabilistic model was proposed and an algorithm was built for finding a partial criterion for detecting the frequency of stationary and unmasked objects from the total number during a group search, under the condition of different object detection probabilities. The scientific novelty of the research is related to the development of a method that allows not only to evaluate the effectiveness of a task performed by an unmanned aerial vehicle, but also to plan the task of searching for a single or group object with a given level of probability.

Keywords: *unmanned aircraft system; performance criterion; probabilistic model; object search; single object; group object.*

Fig.: 2. **References:** 19.