УДК 004.9:629.735

МОДЕЛЮВАННЯ МАРШРУТІВ БПЛА З ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Артьомов А. І.[1]; Артьомов І. В[2]
[1,2] Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»
[1,2] Україна, Харків
[1] a.i.artomov@student.khai.edu; [2] ORCID: 0009-0001-5368-2469

Анотація. *У статті розглянуто підходи до автоматизації планування маршрутів БПЛА з використанням сучасних інформаційних технологій. Розроблений алгоритм і програмне забезпечення забезпечують оптимізацію польотів з урахуванням ключових параметрів та підтверджують ефективність таких рішень.*
Ключові слова: *автоматизація планування маршрутів; оптимізація польотів БПЛА; інформаційні технології; алгоритми маршрутизації; ефективність використання дронів.*

Вступна частина. Сучасні безпілотні літальні апарати активно застосовуються у цивільних та військових сферах завдяки своїй ефективності та безпечності. Одним із ключових завдань при їх використанні є оптимальне планування маршрутів польотів, від якого залежить точність, економічність і безпека місій. Неоптимальні маршрути призводять до перевитрат ресурсів та зниження ефективності операцій. Це зумовлює необхідність використання сучасних інформаційних технологій та алгоритмів оптимізації для підвищення результативності управління польотами БПЛА.

Метою дослідження є розробка методології оцінювання та оптимізації маршрутів польотів БПЛА з використанням інформаційних технологій для підвищення точності, безпеки та ефективності виконання місій.

Основна частина. Оцінка маршрутів польотів безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є ключовим етапом у процесі планування та оптимізації польотних завдань. Вона передбачає врахування комплексу метрик, що визначають ефективність, регулярність, безпеку та успішність виконання місій. У сучасних умовах такий підхід дозволяє не лише підвищити якість управління польотами, а й забезпечити зниження операційних витрат, оптимальне використання ресурсів та підвищення надійності виконання завдань [1].

Для якісної оцінки ефективності маршруту польоту запропоновано враховувати п’ять основних груп параметрів: ефективність планування (A), регулярність та надійність (B), успішність місії (C), безпека (D) та енергоефективність (E). Кожна група включає набір факторів, що мають безпосередній вплив на результативність виконання польотних завдань (рис. 1).

1. Ефективність планування маршрутів (A).

Ця група параметрів орієнтована на мінімізацію витрат часу та ресурсів при одночасному підвищенні продуктивності виконання місій. До основних показників відносять:

- ✓ довжину маршруту (A1) – мінімізація пройденої відстані дозволяє скоротити витрати палива чи енергії;
- ✓ час виконання місії (A2) – чим швидше виконуються завдання, тим вищою є загальна продуктивність системи;
- ✓ вартість місії (A3) – мінімізація витрат матеріальних і технічних ресурсів.

2. Регулярність та надійність (B).

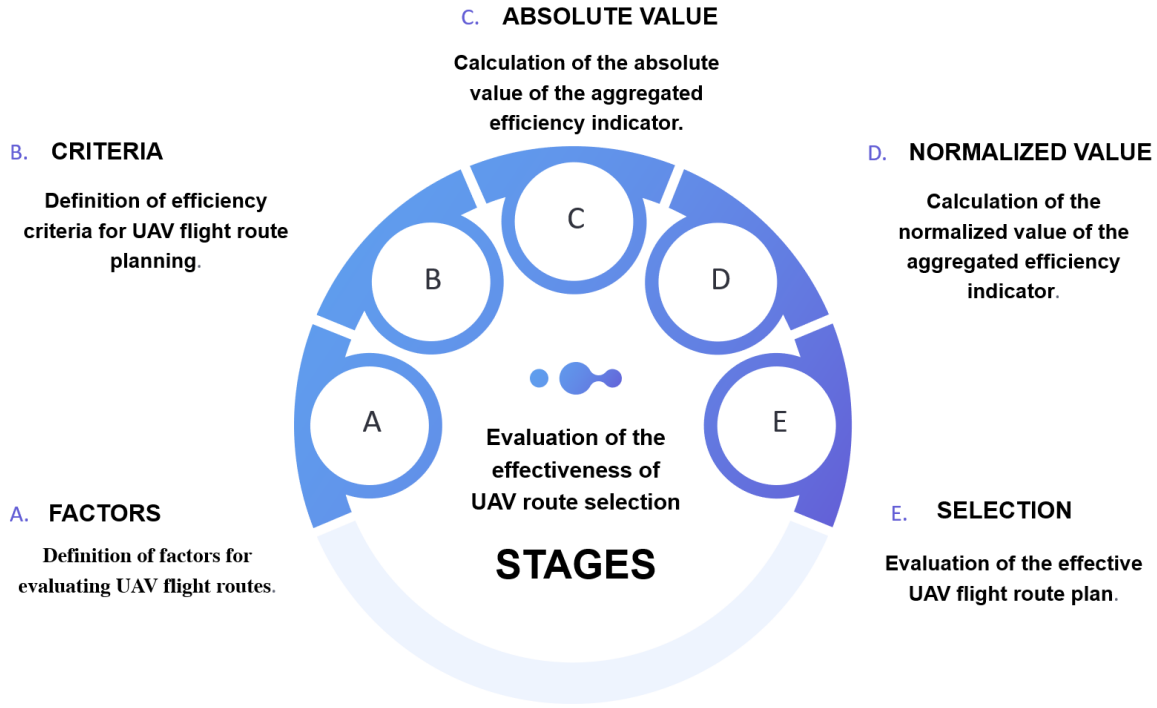

Рис 1. Визначення множини варіантів планів маршруту, які можуть бути виконані в межах заданого завдання

Цей параметр відображає стабільність роботи системи та передбачуваність виконання польотів. Він включає:

- ✓ частоту виконання місій (B1) – максимізація кількості успішно завершених польотів;
- ✓ перерви у виконанні (B2) – мінімізація відмов обладнання чи програмного забезпечення;
- ✓ середній час підготовки (B3) – скорочення тривалості планування та підготовки маршруту.

3. Успішність місії (C).

До цієї групи належать показники, що безпосередньо характеризують якість виконання завдання:

- ✓ точність зібраної інформації (C1) – відповідність фактичного маршруту запланованому;
- ✓ адаптивність до надзвичайних ситуацій (C2) – здатність змінювати маршрут у реальному часі;
- ✓ логістична ефективність (C3) – можливість доставляти матеріали чи виконувати інші операційні завдання.

4. Безпека (D).

Безпекові параметри охоплюють як технічні, так і екологічні аспекти:

- ✓ ризик зіткнення (D1) – мінімізація ймовірності аварійних ситуацій;
- ✓ ризик втрати зв'язку (D2) – забезпечення стабільного управління БПЛА;
- ✓ конфіденційність даних (D3) – захист від несанкціонованого доступу;
- ✓ стійкість до погодних умов (D4) – можливість виконання завдань за несприятливих факторів середовища.

5. Енергоефективність (E).

Оскільки більшість сучасних БПЛА має обмежені ресурси живлення, важливим є врахування:

- ✓ споживання енергії (E1) – мінімізація витрат палива або електроенергії;
- ✓ дальність та тривалість польоту (E2) – максимізація часу роботи без дозаправки чи заміни батарей.

Для інтеграції всіх вищенаведених параметрів використовується агрегований показник ефективності P_{eff}, який розраховується як функція від усіх груп факторів:

$$P_{eff} = F(A_i, B_i, C_i, D_i, E_i),$$

де кожна група факторів може мати власний діапазон значень та вагові коефіцієнти.

Застосування адитивної агрегації дає змогу спростити процедуру оцінки та порівняння різних варіантів маршрутів, проте вимагає коректного вибору вагових коефіцієнтів. У дослідженні для цього використано метод експертних оцінок та багатокритеріальної оптимізації. Такий підхід дозволяє встановити збалансовану систему пріоритетів, враховуючи особливості кожної місії.

Важливим етапом є також нормалізація значень показників, що переводить їх до єдиної шкали від 0 до 1. Це дозволяє зіставляти різні сценарії маршрутів і визначати найбільш оптимальний план за сукупністю критеріїв [2].

Розроблене програмне забезпечення для автоматизованого розрахунку сценаріїв маршрутів БПЛА дало змогу провести комплексний аналіз із урахуванням усіх визначених факторів. За його допомогою було визначено кілька оптимальних варіантів планування, які забезпечують мінімізацію витрат і водночас підвищують безпеку та надійність виконання завдань [3].

Висновки. Отже, запропонована методологія оцінювання маршрутів польотів БПЛА дозволяє здійснювати багатофакторний аналіз та обґрунтований вибір оптимальних планів. Вона поєднує математичне моделювання, алгоритмічні підходи та інформаційні технології, що значно підвищує ефективність управління польотами в умовах змінних обмежень і складних операційних сценаріїв.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Новіченко, А.С., & Артьомова, А.В. (2024). Проблеми та задачі планування маршрутів польотів безпілотних літальних апаратів для підвищення ефективності пошуку об'єктів. *Системи обробки інформації,* 2 (177), 32-40. https://doi.org/10.30748/soi.2024.177.04

[2] Сопов, Є., Крицький, Д., Артьомова, А., & Артьомов, І. (2025). Методика побудови довірчої маршрутизації в ройових мережах БПЛА на основі аналізу трафіку та виявлення аномалій. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості,* 2(32), 111–128. https://doi.org/10.30837/2522-9818.2025.2.111

[3] Artomova, A., & Artomov, I. (2025). Methodology for assessing the efficiency of generated UAV flight route plans for optimal selection. In D. Pavlenko, P. Tryshyn, N. Honchar, & O. Kozlova (Eds.), *Smart innovations in energy and mechanical systems,* (Vol. 1480, Lecture Notes in Networks and Systems, (pp. 1-11)). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-95191-6_22

Artomov A.I., Artomov I.V.

UAV Route Modeling Based on Information Technologies

Abstract. *This paper explores methods for automating the route planning of unmanned aerial vehicles (UAVs) using advanced information technologies. The proposed algorithm and the corresponding software solution enable flight path optimization based on key operational parameters. Experimental results confirm the efficiency and practical applicability of the developed approach.*

Keywords: *Automation of UAV route planning; flight path optimization; unmanned aerial systems; information technology; routing algorithms; efficiency of drone deployment.*