

Розвиток радіоелектроніки, комп'ютерних систем та інфокомунікацій в авіаційно-космічній галузі України.

Андрій Сергійович НОВІЧЕНКО

*аспірант кафедри інформаційних технологій проектування
Національного аерокосмічного університету
ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна
e-mail: a.s.novichenko@khai.edu,
ORCID: 0009-0008-3314-447X*

Ігор Володимирович АРТЬОМОВ

*асистент кафедри інформаційних технологій проектування
Національного аерокосмічного університету
ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна
e-mail: i.artomov@khai.edu,
ORCID: 0009-0001-5368-2469*

Аліна Вадимівна АРТЬОМОВА

*кандидатка технічних наук, доцентка,
доцентка кафедри інформаційних технологій проектування
Національного аерокосмічного університету
ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна
e-mail: a.artymova@khai.edu,
ORCID: 0000-0002-6761-2066*

**ПЕРСПЕКТИВИ МАРШРУТНОГО ПЛАНУВАННЯ БПЛА
ДЛЯ ЗМІЦНЕННЯ АВІАЦІЙНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ**

Анотація: У статті розглядаються сучасні виклики та завдання, що стосуються планування маршрутів польотів безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в Україні. Розвиток технологій БПЛА стає стратегічно важливим для цивільних і військових секторів, зокрема для моніторингу інфраструктури, екологічного контролю та військових операцій. Основні труднощі у плануванні маршрутів полягають в необхідності врахування погодних умов, загроз протиповітряної оборони та інших змінних факторів. Стаття пропонує розгляд сучасних підходів до оптимізації маршрутів БПЛА з використанням математичних моделей і алгоритмів штучного інтелекту, що дозволяють підвищити ефективність та безпеку польотів. Впровадження цих технологій є ключовим для модернізації авіаційної галузі України.

Ключові слова: БПЛА, планування маршрутів, оптимізація, штучний інтелект, безпека, авіаційна галузь України.

**PROSPECTS OF UAV ROUTE PLANNING
FOR STRENGTHENING UKRAINE'S AVIATION SECTOR**

Abstract: The article discusses modern challenges and tasks related to flight route planning for unmanned aerial vehicles (UAVs) in Ukraine. The development of UAV technologies is becoming strategically important for both civilian and military sectors, particularly for infrastructure monitoring, environmental control, and military operations. The main difficulties in route planning lie in the need to account for weather conditions, air defense threats, and other variable factors. The article examines modern approaches to optimizing UAV routes using mathematical models and artificial intelligence algorithms, which improve the efficiency and safety of flights. The implementation of these technologies is key to modernizing Ukraine's aviation industry.

Keywords: UAV, route planning, optimization, artificial intelligence, safety, aviation industry of Ukraine.

Планування маршрутів польотів для безпілотних літальних апаратів (БПЛА) – одна з актуальних та стратегічно важливих задач для розвитку авіаційної галузі в Україні. Зростання попиту на БПЛА для різних сфер, включаючи оборону, сільське господарство, логістику та моніторинг довкілля, вимагає створення ефективних і безпечних методів планування маршрутів. Нижче розглянуто основні проблеми та завдання, пов'язані з плануванням маршрутів БПЛА, а також значущість розвитку цієї сфери для авіаційної галузі України [1] (табл. 1).

Табл. 1. Проблеми планування маршрутів БПЛА

№ п.п.	Проблема	Опис проблеми
1.	Обмеження повітряного простору	У процесі планування маршруту важливо враховувати обмеження повітряного простору, зокрема заборонені зони та маршрути, які перетинаються з цивільною авіацією.
2.	Безпека та уникнення перешкод	Одна з ключових проблем – забезпечення безпеки польотів та уникнення зіткнень з іншими об'єктами. Для цього необхідні точні дані про розташування природних та техногенних перешкод, а також прогнози можливих загроз у реальному часі.
3.	Автономність	В умовах великої кількості одночасних польотів БПЛА необхідна здатність систем до автономного прийняття рішень, що ускладнює планування та створює високі вимоги до надійності алгоритмів.
4.	Енергетичні обмеження	Для безперервного польоту БПЛА критично важливо враховувати обмеження на запас енергії, що впливає на маршрут та максимальну тривалість польоту.
5.	Складні погодні умови	При побудові маршруту слід враховувати чутливість БПЛА до погодних умов, що обмежує їх використання в деяких регіонах.

Важливим аспектом успішного використання БПЛА є ефективне планування маршрутів польотів, яке в Україні стикається з низкою специфічних викликів. Українська авіаційна галузь, що перебуває у процесі активного розвитку, стикається з необхідністю інтеграції новітніх технологій для забезпечення безпеки, точності та економічної ефективності польотів [1, 4]. Складність полягає в тому, що планування маршрутів потребує врахування багатьох змінних факторів, таких як погодні умови, наявність природних і техногенних перешкод, загрози з боку протиповітряної оборони, обмеження на витрати палива та час польоту [5]. Це робить планування складним процесом, який потребує впровадження сучасних інформаційних технологій та автоматизованих систем [6]. Для

авіаційної галузі України цей виклик є особливо актуальним, оскільки розвиток безпілотної авіації може стати одним із ключових факторів для модернізації всієї галузі. Використання БпЛА відкриває нові можливості для вирішення багатьох завдань, які раніше були небезпечними або економічно не вигідними для традиційної авіації [2, 3] (табл. 2).

Табл. 2. Завданнями розвитку планування маршрутів

№ п.п.	Завдання	Опис завдання
1.	Інтеграція БПЛА в єдиний повітряний простір	Для забезпечення безпечного польоту необхідна інтеграція систем управління БпЛА у загальну авіаційну інфраструктуру країни, включаючи спільне використання даних з управління повітряним рухом.
2.	Розробка адаптивних маршрутів	Адаптивність маршрутів дозволить реагувати на зміну умов у реальному часі, враховуючи нові дані про перешкоди та погодні умови. Це завдання вимагає використання штучного інтелекту та машинного навчання для підвищення автономності.
3.	Оптимізація енергетичних ресурсів	Оскільки автономність БПЛА обмежена, потрібно розробляти оптимальні маршрути, які мінімізують споживання енергії та забезпечують виконання завдання на одному заряді батареї.
4.	Розвиток технологій спільного польоту	Розробка технологій "ройового" польоту, де кілька БпЛА працюють у синхронізації, є важливим завданням для підвищення ефективності операцій у різних сферах – від пошуково-рятувальних робіт до сільського господарства.

Планування маршрутів для БпЛА є складним завданням, яке потребує врахування багатьох чинників, таких як погодні умови, технічні характеристики дронів, місцеві обмеження та вимоги місії. В залежності від цілей маршруту, процес планування включає кілька етапів:

1. **Збір вихідних даних:** на початковому етапі збираються всі необхідні дані, такі як картографічні матеріали регіону, інформація про погоду, вимоги місії та обмеження (наприклад, зони заборонених польотів).

2. **Аналіз місії:** визначаються основні цілі місії, такі як збір інформації, спостереження або пошуково-рятувальні операції.

3. **Вибір оптимального маршруту:** спеціалізовані алгоритми використовуються для обчислення потенційних маршрутів, які враховують різні фактори, зокрема відстань, швидкість, обмеження тощо.

4. **Оцінка ризиків і безпеки:** проводиться аналіз можливих загроз безпеці, включаючи можливі колізії з іншими повітряними суднами, об'єктами на землі, погодні умови та інші ризики.

5. **Планування зупинок та обслуговування:** якщо місія передбачає тривалий політ, слід врахувати необхідність зупинок для підзарядки або обслуговування.

6. **Підготовка маршруту до виконання:** після вибору оптимального маршруту та проведення всіх аналізів формується детальний план, який включає точки вильоту та приземлення, кути нахилу, швидкості та іншу важливу інформацію.

7. **Виконання та моніторинг:** після підготовки маршруту БпЛА виконує запланований політ, під час якого здійснюється постійний моніторинг стану апарату та навколишніх умов.

8. **Аналіз результатів:** після завершення місії проводиться оцінка результатів польоту для визначення ефективності вибраного маршруту та виявлення можливих шляхів для вдосконалення процесу планування.

Оцінка маршрутів польотів БпЛА включає врахування різних показників, які визначають ефективність, регулярність, безпеку та успішність місії (рис. 1).

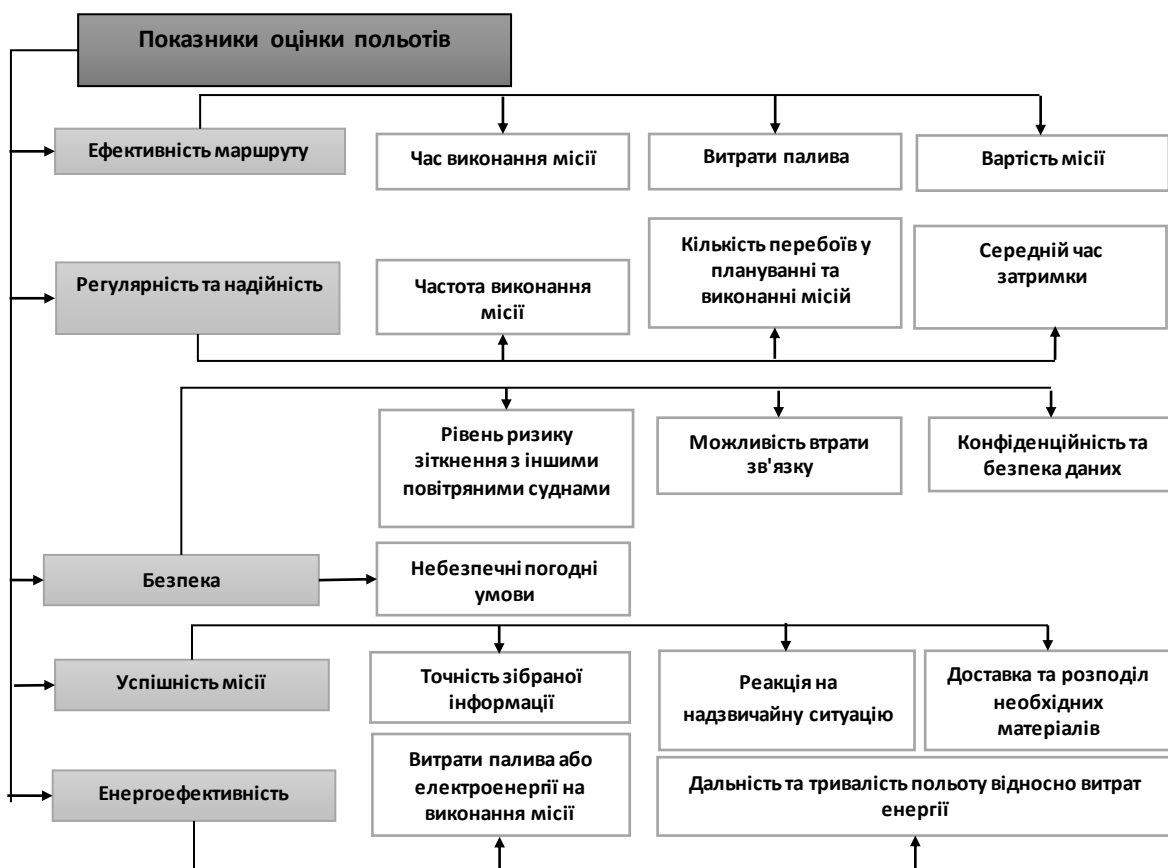


Рис. 1. Фактори оцінювання маршрутів польотів безпілотних літальних апаратів (БпЛА) включає врахування різних показників. Джерело: розроблено авторами.

Ефективність планування маршруту польоту. Оцінка включає у себе час, витрачений на виконання місії, витрати палива, кількість ресурсів, необхідних для завершення завдання, та інші фактори, що впливають на вартість та продуктивність маршруту [17].

Регулярність та надійність. Оцінка частоти та стабільності виконання маршрутів. Важливо щоб БПЛА мали можливість без зайвих затримок або перебоїв у роботі виконувати заплановані місії.

Безпека. Оцінка потенційних загроз безпеці польотів, включаючи ризики зіткнення з іншими повітряними суднами, небезпечні погодні умови, можливість втрати зв'язку тощо. Також враховується безпека даних та конфіденційність інформації, яка збирається та передається БПЛА.

Успішність місії. Оцінка виконання конкретного завдання, яке БПЛА призначено виконувати. Може включати точність зібраної інформації, доставку та розподіл необхідних матеріалів чи допомогу в надзвичайних ситуаціях.

Енергоефективність. Оцінка витрат палива або електроенергії на виконання місії. Особливо важливо для безпілотних апаратів, оскільки обмежений запас енергії може обмежувати дальність та тривалість польоту.

Економічність вартості в авіаційній експлуатації. Під цим розуміється зниження вартості польоту внаслідок використання більш надійних двигунів, зменшення витрат палива, спрощення технологій виробництва БПЛА тощо.

Ці показники можуть бути враховані окремо або у комбінації залежно від конкретного типу місії, умов польоту та вимог замовника. Також можуть існувати інші специфічні показники, що враховуються в залежності від потреб конкретної місії або застосування БПЛА.

У сучасних умовах авіаційній галузі України важливо забезпечити максимальну ефективність і надійність польотів, тому розробка та впровадження новітніх алгоритмів планування маршрутів БПЛА є критично важливою [4]. Використання математичних моделей, таких як методи динамічного програмування, генетичні алгоритми та методи лінійного програмування, дозволяє оптимізувати маршрути з урахуванням численних факторів [5].

Ці підходи дозволяють знайти найбільш ефективні рішення для польотів БПЛА, забезпечуючи мінімальні витрати палива, оптимальний час виконання місії та максимальну безпеку польоту. Важливим є також застосування алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання, які дозволяють аналізувати великі обсяги даних і приймати рішення в реальному часі.

Україна, з огляду на свої стратегічні потреби та виклики, пов'язані з військовими конфліктами та надзвичайними ситуаціями, може значно підвищити свою обороноздатність і ефективність операцій за допомогою інтеграції сучасних технологій БпЛА.

Розвиток планування маршрутів БпЛА є ключовим для авіаційної галузі України, зважаючи на її стратегічну важливість. Це відкриває перспективи для розробки національних інноваційних рішень та зміцнює експортний потенціал країни. В умовах сучасної військово-політичної ситуації використання БпЛА має вирішальне значення для обороноздатності, що робить розвиток планування маршрутів і технологій БпЛА першочерговим завданням.

Таким чином, оптимізація планування маршрутів БпЛА в Україні сприятиме розвитку економіки та технологічного прогресу, забезпечуючи конкурентні переваги та зміцнюючи позиції України на світовій арені в галузі авіаційних технологій.

Безпека польотів БпЛА є ключовим аспектом у контексті розвитку авіаційної галузі України. Планування маршрутів повинно враховувати потенційні загрози, такі як ризики зіткнення з іншими повітряними апаратами, природними перешкодами, а також загрози з боку противника [6]. Для забезпечення безпеки польотів використовуються системи прогнозування ризиків та уникнення зіткнень, що дозволяють підвищити надійність польотів [7].

Адаптивність систем планування є не менш важливою. Алгоритми повинні враховувати можливі зміни погодних умов, технічні обмеження або появу нових загроз під час виконання місії. Це дозволяє забезпечити гнучкість у плануванні маршрутів та підвищити загальну ефективність виконання завдань.

Таким чином можна зробити висновок, що розвиток безпілотних літальних апаратів є важливим фактором модернізації авіаційної галузі України. Впровадження сучасних технологій, таких як штучний інтелект, геоінформаційні системи та автоматизовані системи планування маршрутів, дозволяє значно підвищити ефективність, безпеку та надійність польотів БпЛА. Це відкриває нові можливості для розвитку економіки, зміцнення обороноздатності країни та підвищення конкурентоспроможності авіаційної галузі на міжнародній арені.

Список використаних джерел:

1. Бережний А. О., Крижанівський І. М.. Комплекс задач системи підтримки прийняття рішення на планування маршрутів польотів безпілотних літальних апаратів. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. Полтава, 2020. Вип. 1(59). С. 3–6: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2020.1.003>
2. Галінський Д. О., Куліш Р. В. Метод моніторингу стану стаціонарних елементів об'єктів критичної інфраструктури безпілотними літальними апаратами з використанням

динамічного програмування. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. 1, 71 (Бер 2023), 10-14. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.1.010>.

3. Олексенко О. О., Гарасименко В. В. (2021). Метод визначення варіантів польоту безпілотного лігального апарату на основі макс-мінного мурашиного алгоритму. Монографія: Сучасний стан проведення наукових досліджень у ІТ-технологіях, галузях електроніки, інженерії, нанотехнологіях та транспортній сфері, (розділ 1), С.4-12. <https://doi.org/10.36074/csriteenat.ed-2.01>

4. Олексенко О. О., Ярошенко Я. В. (2021). Розробка методу оптимального маршруту польоту безпілотного лігального апарату на основі мурашиного алгоритму. Монографія: Сучасний стан проведення наукових досліджень у ІТ-технологіях, галузях електроніки, інженерії, нанотехнологіях та транспортній сфері, (розділ 9), С. 147-158. <https://doi.org/10.36074/csriteenat.ed-1.10>

5. Новіченко А. С., Артёмова А. В. Проблеми та задачі планування маршрутів польотів безпілотних лігальних апаратів для підвищення ефективності пошуку об'єктів. *Системи обробки інформації*. 2024. № 2 (177). С. 32-40. <https://doi.org/10.30748/soi.2024.177.04>.

6. Гуляницький, Л. Ф., & Дубіна, А. В. (2021). Розв'язування задачі розміщення прямокутників на напівнескінченній стрічці алгоритмами локального та табуйованого пошуку. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Математика і інформатика»*, 38(1), 123–136. [https://doi.org/10.24144/2616-7700.2021.38\(1\).123-136](https://doi.org/10.24144/2616-7700.2021.38(1).123-136).

7. Горбач В. Я., Бондаренко Ю. Л. Удосконалена методика оцінювання ефективності плану маршруту польоту розвідувального БПЛА І класу. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*, 2020, 2(64). <https://doi.org/10.30748/zhups.2020.64.07>