УДК 004.9:629.7

ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛЬОТУ ПЛАНЕРІВ

Артьомов А.І.[1]; Зеленков А.В.[2]
[1,2] Національний аерокосмічний університет (Харківський авіаційний інститут)
Україна, Харків
[1] ORCID: 0009-0007-3318-4351; [2] ORCID: 0000-0002-2163-4497

Анотація. *У роботі розглянуто застосування інформаційних технологій для дослідження польоту безпілотних планерів в атмосферних потоках. Проаналізовано методи обробки польотних і метеорологічних даних, моделювання вітрових полів та оптимізації траєкторії польоту.*
Ключові слова: *автоматизація планування маршрутів; оптимізація польотів БПЛА; інформаційні системи; атмосферні потоки; моделювання.*

Вступна частина. Розвиток безпілотних авіаційних систем значною мірою пов'язаний із необхідністю підвищення тривалості та дальності польоту за одночасного зменшення залежності літального апарату від традиційних бортових джерел енергії. Одним із перспективних напрямів розв'язання цієї задачі є використання природної енергії атмосфери. Для ефективної реалізації такого підходу необхідним є створення та застосування сучасних інформаційних систем, здатних у реальному часі отримувати, накопичувати, обробляти й аналізувати дані про параметри польоту та стан атмосферного середовища.

Поведінка планерів в атмосферних потоках сформувалася як окремий міждисциплінарний напрям досліджень, що поєднує аеродинаміку, механіку польоту, теорію оптимального керування, метеорологію, математичне моделювання та інформаційні технології. Історично дослідження у цій сфері були спрямовані передусім на пояснення фізичних механізмів польоту птахів і планерів, проте з розвитком обчислювальної техніки та безпілотної авіації вони поступово трансформувалися у дослідження автономних систем, здатних цілеспрямовано використовувати енергію атмосферних потоків.

Важливою складовою таких досліджень є інформаційне забезпечення польоту. Автономний планер повинен не тільки вимірювати власні параметри руху, а й оцінювати просторово-часову структуру атмосферного середовища. До основних даних, що використовуються інформаційною системою, належать координати, висота, повітряна та шляхова швидкість, кутове положення, прискорення, температура, атмосферний тиск, густина повітря, напрямок і швидкість вітру. Інтеграція цих даних забезпечує формування цифрової моделі поточного стану системи «літальний апарат – атмосфера».

Сучасні дослідження охоплюють кілька основних способів отримання енергії з атмосфери: термічне ширяння, схилове ширяння, польоти в гірських хвилях і динамічне ширяння. Кожний із зазначених режимів характеризується власною структурою вхідних даних, алгоритмами виявлення атмосферного явища та методами оптимізації траєкторії. Саме тому їх дослідження доцільно розглядати з позицій розвитку інформаційних систем і технологій обробки даних.

Мета дослідження полягає в аналізі сучасних інформаційних систем і технологій, призначених для дослідження, моделювання та автономного використання атмосферної енергії безпілотними планерами, а також у визначенні перспективних напрямів застосування інтелектуальних методів для оцінювання вітрових полів і оптимізації траєкторій польоту.

Основна частина. Одним із найбільш досліджених видів безмоторного польоту є термічне ширяння, засноване на використанні висхідних конвективних потоків, що виникають унаслідок нерівномірного нагрівання земної поверхні. Для автономного безпілотного планера важливими інформаційними задачами є своєчасне виявлення термічних потоків, визначення їх просторового положення та оцінювання інтенсивності вертикальної складової швидкості повітря. Схему циклу динамічного ширяння планера у двошаровому вітровому полі з вертикальним зсувом швидкості наведено на рисунку 1.



Рис. 1. Цикл динамічного ширяння у двошаровому вітровому полі

Інформаційна система автономного термічного ширяння використовує дані інерціальної навігаційної системи, GNSS-приймача, датчиків повітряної швидкості та барометричного висотоміра. Аналіз параметрів польоту дає змогу виявляти висхідні потоки, оцінювати їхні характеристики та визначати оптимальну траєкторію планера. Застосування адаптивних алгоритмів і методів машинного навчання забезпечує уточнення моделі атмосфери та прогнозування змін її параметрів у процесі польоту.

Перспективним напрямом є динамічне ширяння (рисунок 2), засноване на отриманні енергії під час багаторазового перетинання шарів атмосфери з різними швидкостями та напрямками вітру. Ефективність такого польоту визначається характеристиками неоднорідного вітрового поля та точністю оцінювання його параметрів.

Для динамічного ширяння визначальним є оцінювання просторового розподілу та градієнта швидкості вітру. Інформаційна модель вітрового поля може формуватися на основі бортових вимірювань, метеорологічних даних і методів дистанційного зондування. Для непрямого оцінювання параметрів вітру використовуються дані про повітряну та шляхову швидкості, а також методи фільтрації та оцінювання стану.

Обробка вимірювальної інформації може здійснюватися із застосуванням фільтра Калмана, байєсівських методів, нейронних мереж і алгоритмів прогнозування. Це забезпечує оцінювання параметрів атмосферного середовища за умов шумів і неповноти вимірювань.



Рис. 2. Схема стратосферного динамічного ширяння висотного БПЛА

Інформаційна система забезпечує отримання та обробку даних, оцінювання стану, прогнозування атмосферних умов, оптимізацію траєкторії та формування керуючих впливів. Перспективним напрямом є застосування методів машинного навчання та штучного інтелекту для прогнозування вітрових умов і адаптивного керування польотом.

Інтелектуальні системи дають змогу безпілотному планеру в реальному часі виявляти атмосферні потоки, оцінювати їх енергетичний потенціал та обирати ефективну траєкторію. Перспективним є також комплексне використання різних джерел атмосферної енергії та формування спільних карт вітрового поля групою безпілотних літальних апаратів.

Таким чином, сучасні дослідження переходять від аналізу окремих атмосферних явищ до створення комплексних інформаційно-керуючих систем, що поєднують сенсорні технології, математичне моделювання, оптимальне керування та методи штучного інтелекту.

Висновки. Проведений аналіз показує, що інформаційні системи та технології є ключовою складовою розвитку автономних безпілотних планерів, здатних ефективно використовувати природну енергію атмосфери. Термічне, схилове та хвильове ширяння, а також динамічне ширяння потребують створення спеціалізованих методів збору, обробки та інтерпретації даних про стан літального апарату й параметри атмосферного середовища.

Встановлено, що особливе значення для автономного використання атмосферної енергії мають технології оцінювання вітрових полів, математичного моделювання, фільтрації вимірювань і прогнозування параметрів атмосфери. Для динамічного ширяння визначальною

є точна оцінка просторової структури та градієнтів швидкості вітру, оскільки ефективність отримання енергії залежить від своєчасного виконання маневрів у зонах вітрового зсуву.

Подальший розвиток цього напряму доцільно пов'язувати зі створенням інтелектуальних інформаційно-керуючих систем, що інтегрують дані бортових сенсорів, метеорологічні моделі, методи оптимального керування та алгоритми штучного інтелекту. Застосування машинного навчання й навчання з підкріпленням створює можливість переходу до адаптивних автономних систем, здатних у реальному часі аналізувати атмосферні умови, прогнозувати їх зміну та обирати енергетично оптимальну траєкторію. Це визначає перспективність подальших досліджень на стику інформаційних систем, технологій штучного інтелекту, математичного моделювання та безпілотної авіації.

Використання інструментів ШІ. Рисунки та графічні матеріали розроблено авторами та оформлено за допомогою системи штучного інтелекту ChatGPT (модель GPT-5.6).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Novichenko, A. S., & Artomova, A. V. (2024). Problems and Challenges of Flight Route Planning for Unmanned Aerial Vehicles to Improve Object Search Efficiency. *Information Processing Systems, 2024, No. 2 (*177*), pp. 32–40.* https://doi.org/10.30748/soi.2024.177.04

[2] Sopov, I., Krytskyi, D., Artomova, A., & Artomov, I. (2025). Trust-based routing methodology in uav swarm networks based on traffic analysis and anomaly detection. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, 2(32), 111–128. https://doi.org/10.30837/2522-9818.2025.2.111

[3] Artomov, I. V., Krytskyi, D. M., & Artomova, A. V. (2025). Development of a Method for Optimal Selection of Unmanned Aerial Vehicle Flight Routes. *Information Systems and Networks, 2025, Vol. 18(*1*), pp. 76–88.* https://doi.org/10.23939/sisn2025.18.1.076

[4] Артьомов А. І., & Артьомов І. В. (2025). Моделювання маршрутів з використанням інформаційних технологій. Інформаційні технології: моделі, алгоритми, системи (ITMAS – 2025): *Матеріали VI Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (16–17 листопада 2025 р.). – Миколаїв: НУК імені адмірала Макарова, 2025. – С. 276–279.* https://itconf.nuos.edu.ua/2025/proceedings/

[5] Артьомов І. В., & Артьомова А. В. (2024) Інноваційні рішення використання стратосферних планерів для спостереження і розвідки. *Інформаційні технології: моделі, алгоритми, системи (ITMAS – 2024): Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції (30–31 жовтня 2024 р.). – Миколаїв: НУК імені адмірала Макарова, 2024. – С. 199–203.* https://itconf.nuos.edu.ua/2024/proceedings/

[6] Artomov, I. V., Krytskyi, D. M., & Artomova, A. V. (2025). Problems and Approaches to Modeling the Trajectories of Stratospheric Gliders in Territorial Monitoring Tasks. *Science and Technology of the Air Force of Ukraine, 2025, No. 2 (*59*), pp. 116–124.* https://doi.org/10.30748/nitps.2025.59.14

[7] Artomov, I. V., Krytskyi, D. M., Artomova, A. V., & Chekhovskoi, A. (2026). Flight Planning of Swarm-based Systems With Integrated Camouflaged Object Detection. *Information Systems and Networks, 2026, Vol. 19, pp. 111–125.* https://doi.org/10.23939/sisn2026.19.111

[8] Krytskyi, D., Artomova, A. V., & Kaidan, E. (2026). Enhancing Object Detection in UAV Videos under Complex Environments. *International Journal of Transportation Research and Technology, 2026, Vol. 3 (*1*), pp. 45–57.* https://doi.org/10.71108/transporttech.vm03is01.04

Artomov A. I., Zelenkov A.V.

Information systems for glider flight research

Abstract. *The paper examines how information systems and technologies can be applied to study unmanned glider flight in atmospheric flows. It analyzes methods for processing flight and meteorological data, modeling wind fields, automating route planning, and optimizing flight trajectories.*

Keywords: *automated route planning; UAV flight optimization; information systems; atmospheric flows; modeling.*