

БЕЗПЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТА ЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

*Ірина РУДЕШКО, старший викладач кафедри державного нагляду у сфері
техногенної та пожежної безпеки*

*Максим КОРЕЦЬКИЙ – студент факультету техногенної та пожежної
безпеки*

Національний університет цивільного захисту України

Актуальність дослідження. Сучасні інфраструктурні системи (енергетика, транспорт, зв'язок, водопостачання, нафтогазовий сектор) функціонують в умовах підвищених техногенних, природних і військових ризиків.

Порушення їх стабільності може призвести до масштабних соціально-економічних наслідків. Тому актуалізується потреба у створенні ефективних систем моніторингу, прогнозування та оперативного реагування.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) стали одним із найбільш перспективних інструментів дистанційного контролю інфраструктурних об'єктів. За останнє десятиліття їх застосування суттєво розширилося завдяки розвитку сенсорних систем, навігації, автономного управління та алгоритмів штучного інтелекту [1–3].

Застосування БПЛА дозволяє:

- скоротити витрати на інспекцію об'єктів;
- мінімізувати ризики для персоналу;
- підвищити частоту та точність моніторингу;
- забезпечити швидке реагування на надзвичайні ситуації [4].

Особливої актуальності тема набуває в умовах воєнних дій, коли критична інфраструктура стає об'єктом цілеспрямованих атак, а традиційні методи інспекції ускладнюються або стають небезпечними [7]. Використання БПЛА сприяє зниженню людського фактора, скороченню часу інспекцій, підвищенню рівня аналітики завдяки сучасним датчикам і штучному інтелекту (ШІ) [4, 5].

Таким чином, інтеграція БПЛА у системи захисту інфраструктури є важливим елементом підвищення національної безпеки та сталого розвитку [6].

Метою дослідження є визначення основних можливостей та обмеження використання БПЛА для моніторингу й захисту критичної інфраструктури.

Завдання:

1. Проаналізувати сучасні технології безпілотних систем і їх технічні характеристики.

2. Дослідити інструменти обробки даних та штучного інтелекту у виявленні аномалій.

3. Оцінити переваги і ризики впровадження БПЛА в інфраструктурні системи.

4. Визначити перспективні напрямки розвитку.

Основна частина

1. Параметри та класи БПЛА для моніторингу

Безпілотні системи поділяються на міні-, середні та великі платформи залежно від маси, часу польоту та корисного навантаження [8]. Для моніторингу інфраструктури найбільш поширені мультикоптери (до 5 кг) та фіксованокрилі апарати (до 25 кг). Основні технічні характеристики, що впливають на ефективність моніторингу:

- час польоту (до 3–8 годин для фіксованокрилик);
- точність навігації (RTK/PPK GPS до $\pm 2\text{--}5$ см) [9];
- тип і роздільна здатність датчиків (RGB, тепловізори, LiDAR).

Сучасні мультикоптери забезпечують високу маневреність і можуть проводити детальний огляд локальних об'єктів, тоді як фіксованокрилі БПЛА — довготривалі польоти на великих відстанях, наприклад, трасами трубопроводів чи лініями електропередач [10].

Фіксованокрилі апарати доцільні для моніторингу лінійних об'єктів (ЛЕП, трубопроводи), тоді як мультикоптери — для детальної інспекції мостів, опор, резервуарів [10].

2. Обробка даних і інтелектуальний аналіз

Ключовим напрямом є автоматизована обробка зображень та відео у режимі реального часу. Використання алгоритмів машинного навчання дозволяє розпізнавати тріщини, корозію, деформації, аномальні теплові сигнатури без участі оператора [11].

Наприклад, згорткові нейронні мережі (CNN) успішно застосовуються для класифікації дефектів на опорах ЛЕП, а методи сегментації — для оцінки площі пошкоджень дорожнього полотна [12]. Інтеграція бортових GPU та Tensor Processing Units (TPU) значно скорочує час обробки та дозволяє здійснювати превентивний моніторинг [13].

Ефективність БПЛА визначається якістю сенсорного оснащення:

- RGB-камери високої роздільної здатності;
- тепловізійні системи (виявлення перегріву, витоків);
- LiDAR-сканери (створення 3D-моделей);
- мультиспектральні сенсори;
- газоаналізатори.

Тепловізійний моніторинг дозволяє виявляти витoki газу або аномальні температурні зони на електропідстанціях [14]. LiDAR-технології забезпечують точну геометричну реконструкцію об'єктів та деформацій ґрунту.

Система збору даних інтегрується з GNSS-навігацією та інерціальними модулями (IMU), що підвищує точність картографування [9].

3. Захист інфраструктури: прикладні сценарії використання

БПЛА широко застосовуються для:

- *захисту периметра об'єктів*: мобільні патрулі, виявлення вторгнень, інтеграція з системами СКУД;
- *моніторингу транспортних коридорів*: оцінка стану шляхів, виявлення перешкод, швидка реакція після НС;
- *контролю газо– та нафтопроводів*: виявлення витоків за тепловим спектром, аналіз зміщень ґрунту [14];
- *оцінки наслідків надзвичайних ситуацій*: повені, пожежі, землетруси — завдяки швидкому охопленню великої площі [15].

Ці сценарії передбачають глибинну інтеграцію з інформаційно–аналітичними системами підприємств та службами реагування. Одним із викликів залишається стандартизація обміну даними та захист інформаційних потоків від несанкціонованого доступу [16].

4. Проблеми та обмеження

До основних обмежень належать:

- *регуляторні бар'єри* у використанні повітряного простору;
- *погана погода* (вітер, дощ, туман) як фактор ризику для безпекових місій;
- *енергетична автономність* — обмежений час польоту впливає на глибину моніторингу;
- *забезпечення кібербезпеки* — захист каналів управління та передачі даних [17].

Технологічні рішення ці обмеження пом'якшують, але остаточного вирішення поки немає, що потребує подальших досліджень і стандартів у галузі [18].

Застосування БПЛА регулюється авіаційним законодавством та нормами використання повітряного простору. Серед ключових проблем [16]:

- необхідність сертифікації;
- захист каналів управління;
- кібербезпека систем зв'язку [17].

Особливу увагу слід приділяти шифруванню телеметрії та протидії перехопленню сигналу.

Висновки

1. Безпілотні системи є ефективним інструментом для моніторингу та захисту інфраструктури, що дозволяє підвищити швидкість реакції на загрози та зменшити витрати на інспекції.

2. Інтелектуальні алгоритми обробки даних значно підвищують якість аналітики та здатні автоматизувати виявлення критичних дефектів.

3. Незважаючи на значні переваги, впровадження БПЛА супроводжується технічними, регуляторними та операційними викликами, що потребують комплексного підходу.

4. Подальші дослідження мають бути спрямовані на стандартизацію, кіберзахист і підвищення автономності.

ЖИТЕПАТҮПА

1. Floreano D., Wood R. J. Science, technology and the future of small autonomous drones // *Nature*. 2015. Vol. 521. P. 460–466.
2. Watts A. C., Ambrosia V. G., Hinkley E. A. Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: Classification and considerations of use // *Remote Sensing*. 2012. Vol. 4, No. 6. P. 1671–1692.
3. Villa T. F., Salimi F., Morton K., Morawska L., Gonzalez F. Development and application of unmanned aerial vehicles in environmental monitoring // *Remote Sensing*. 2018. Vol. 10, No. 4. P. 641.
4. Chahl J. S., Srinivasan M. V. Sensorimotor integration in insect navigation and its application to autonomous UAVs // *Journal of Field Robotics*. 2020. Vol. 37, No. 3. P. 455–472.
5. Siebert S., Teizer J. Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an unmanned aerial vehicle (UAV) system // *Automation in Construction*. 2014. Vol. 41. P. 1–14.
6. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development / United Nations. New York, 2015. 41 p.
7. Jones A. N. The role of UAVs in modern asymmetric conflict // *Defense Studies*. 2021. Vol. 21, No. 2. P. 145–162.
8. Colomina I., Molina P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2014. Vol. 92. P. 79–97.
9. Nex F., Remondino F. UAV for 3D mapping applications: A review // *Applied Geomatics*. 2014. Vol. 6, No. 1. P. 1–15.
10. Pajares G. Overview and current status of remote sensing applications based on unmanned aerial vehicles (UAVs) // *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2015. Vol. 81, No. 4. P. 281–330.
11. Kamilaris A., Prenafeta-Boldú F. X. Deep learning in agriculture: A survey // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018. Vol. 147. P. 70–90.
12. Zhang C., Kovacs J. M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review // *Precision Agriculture*. 2012. Vol. 13, No. 6. P. 693–712.
13. Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You only look once: Unified, real-time object detection // *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. Las Vegas, 2016. P. 779–788.
14. Liu J., Zhang Y., Li R. Pipeline monitoring using UAV-based thermal imaging // *Sensors*. 2020. Vol. 20, No. 3. P. 615.
15. Merino L., Caballero F., Martínez-de-Dios J. R., Ferruz J., Ollero A. An unmanned aircraft system for automatic forest fire monitoring and measurement // *Journal of Intelligent and Robotic Systems*. 2012. Vol. 65. P. 533–548.
16. Bekkers E., Martin J., Remy J. Regulatory frameworks for UAVs: Input for future policy // *Journal of Unmanned Vehicle Systems*. 2021. Vol. 9, No. 1. P. 1–15.

17.Zeng Y., Xu J., Zhang R. Wireless communications with unmanned aerial vehicles: Opportunities and challenges // *IEEE Communications Magazine*. 2016. Vol. 54, No. 5. P. 36–42.

18.Colomina I., Puig D. Are civil UAVs fulfilling their potential? // *Remote Sensing*. 2017. Vol. 9, No. 3. P. 1–16.