УДК 624.05:004.94

А. С. Мазур
О. О. Горюн

ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТА КОНТРОЛЮ БУДІВЕЛЬНИХ МАЙДАНЧИКІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто особливості використання безпілотних літальних апаратів на будівельних майданчиках. Проаналізовано основні напрями застосування БПЛА під час виконання інженерних вишукувань, моніторингу будівництва, контролю безпеки та технічного обстеження об'єктів. Наведено порівняльний аналіз переваг і недоліків використання дронів у будівельній галузі, а також розглянуто технічні характеристики сучасних моделей БПЛА. Обґрунтовано доцільність застосування безпілотних технологій для підвищення ефективності контролю будівельних процесів, зменшення ризиків для персоналу та покращення якості управління будівельними проєктами.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, БПЛА, дрон, будівельний майданчик, моніторинг будівництва, фотограмметрія, LiDAR, цифровізація будівництва.

Abstract

The paper examines the features of using unmanned aerial vehicles (UAVs) on construction sites. The main areas of UAV application for engineering surveys, construction monitoring, safety control and technical inspection of facilities are analyzed. A comparative analysis of the advantages and disadvantages of drone technologies in the construction industry is presented, and the technical characteristics of modern UAV models are considered. The feasibility of using unmanned technologies to improve construction process monitoring, reduce risks for personnel and enhance the quality of construction project management is substantiated.

Keywords: unmanned aerial vehicle, UAV, drone, construction site, construction monitoring, photogrammetry, LiDAR, construction digitalization.

Вступ

Сучасне будівництво характеризується високим рівнем складності технологічних процесів та потребує застосування ефективних засобів контролю виконання робіт. Одним із перспективних напрямків цифровізації галузі є використання безпілотних літальних апаратів. Впровадження інноваційних технологій контролю, таких як BIM-моделювання, аерофотознімання дронами та інтелектуальні системи вбудованих датчиків, мінімізує вплив людського фактора та забезпечує високу точність моніторингу на кожному етапі зведення об'єктів.

Контролювання великих будівельних майданчиків супроводжується низкою серйозних труднощів, серед яких: масштабна логістика, обмежений доступ до небезпечних висотних ділянок, а також неможливість ефективно координувати десятки процесів одночасно за допомогою лише традиційного людського нагляду. Ця "сліпа зона" в управлінні часто призводить до зриву графіків, перевитрат бюджету та порушень техніки безпеки. Замінюючи повільні та суб'єктивні наземні перевірки, дрони забезпечують швидкий і безпечний збір точних даних з повітря. Тому сьогодні використання БПЛА - це не просто технологічний тренд, а необхідний базовий інструмент для оптимізації всього будівельного процесу.

Результати дослідження

БПЛА – це літальні апарати, якими можна керувати дистанційно без участі людини-пілота на борту, і які можуть бути оснащені різними датчиками та камерами для отримання зображень та відео високої роздільної здатності з різних ракурсів, що надає цінну інформацію про будівельні майданчики [1]. Сучасні безпілотні літальні апарати можна розділити на кілька основних типів в залежності від способу польоту та будови. Серед найпоширеніших варіантів - квадрокоптери та інші дрони з кількома роторами, авіаційні БПЛА, гібридні системи, маленькі дрони та спеціалізовані

прилади, призначені для певних задач [2]. У будівельній галузі ефективність таких спеціалізованих БпЛА безпосередньо залежить від встановленого на них корисного навантаження. Основним обладнанням є оптичні RGB-камери високої роздільної здатності, які застосовуються для візуального моніторингу прогресу, фотограмметрії та створення точних 3D-моделей і ортофотопланів будівельного майданчика. Використання БПЛА дозволяє скоротити час топографічної зйомки на 50–70 % порівняно з традиційними методами[1]. Для складніших інженерних та геодезичних завдань дрони оснащують лазерними сканерами (LiDAR). Вони створюють надточні цифрові моделі рельєфу, що критично важливо для проєктування та підрахунку об'ємів земляних робіт (їхня точність у польоті забезпечується інерційними навігаційними системами) [3] Похибка визначення об’ємів земляних мас за допомогою фотограмметрії з дронів становить близько2-5%[8]. Також на безпілотні платформи монтують тепловізори (інфрачервоні камери) для проведення комплексного енергоаудиту споруд і виявлення містків холоду чи дефектів ізоляції. За потреби, для специфічних досліджень, комплекс обладнання може доповнюватися георадарами для виявлення підземних комунікацій та мультиспектральними камерами для аналізу стану ґрунтів.

Завдяки такому розмаїттю обладнання, функціонал дронів не обмежується лише одним етапом. Їхня інтеграція дозволяє оптимізувати роботу на кожній стадії зведення об'єкта. Узагальнену структуру основних напрямків використання БпЛА в будівництві [4] наведено на рис. 1

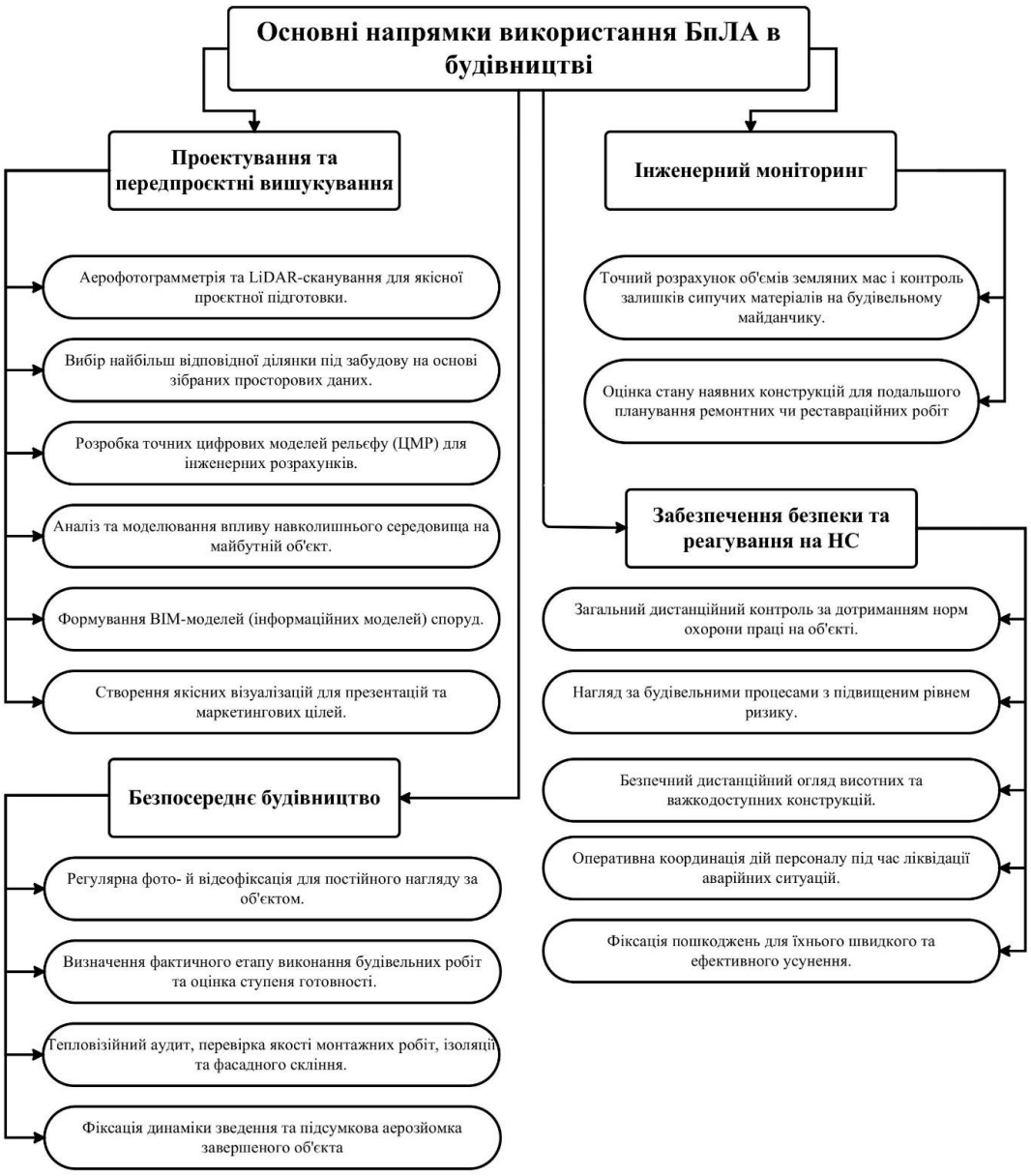


Рисунок 1 – Основні напрямки використання БпЛА в будівництві.

Як демонструє наведена схема, впровадження безпілотних технологій дозволяє створити єдину екосистему контролю, де дані, зібрані на етапі передпроєктних вишукувань, використовуються для подальшого моніторингу та забезпечення безпеки під час активної фази будівництва.

Впровадження безпілотних літальних апаратів (БпЛА) є одним із ключових трендів цифровізації сучасної будівельної галузі. Використання дронів докорінно змінює підходи до планування, моніторингу та інспекції об'єктів, забезпечуючи високу точність даних та суттєву оптимізацію робочих процесів. Проте, поряд із вагомими перевагами, інтеграція цієї технології на будівельних майданчиках супроводжується низкою технічних, фінансових та організаційних викликів. Комплексне порівняння переваг та недоліків використання БпЛА у будівництві наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Переваги та недоліки БпЛА

№	Переваги використання БпЛА	Недоліки використання БпЛА
1	Покращене планування та аналіз ризиків: виявлення проєктних помилок ще до початку робіт за допомогою 3D-моделювання та аерозйомки [4].	Обмежений час польоту: більшість акумуляторів забезпечують лише 30–40 хвилин роботи, що вимагає частої посадки дрона для заміни батарей на великих об'єктах.
2	Віддалений контроль за ходом будівництва: зручне відстеження прогресу та його порівняння з плановим графіком через відео з висоти [4].	Висока вартість обладнання: якісні промислові дрони (з тепловізорами, лідарами, RTK-модулями) та спеціалізоване програмне забезпечення потребують значних фінансових вкладень.
3	Мінімізація травматизму на майданчику: дистанційний огляд небезпечних або висотних зон з повітря, що позбавляє працівників потреби ризикувати [4].	Нормативні правила: експлуатація дронів може суттєво обмежуватися законодавчими вимогами щодо використання повітряного простору [5].
4	Швидка інспекція важкодоступних об'єктів: оперативне технічне обстеження мостів, дахів та риштувань без залучення великих інженерних команд [4].	Вплив погодних умов: несприятлива погода (сильний вітер, опади) здатна обмежувати або унеможливлювати експлуатацію безпілотників [5].
5	Автоматизація збору та аналітики інформації: проведення регулярних стандартизованих польотів для швидкого накопичення даних та їх інтеграції в роботу[4].	Термін служби батареї: інтенсивна експлуатація призводить до зношення акумуляторів, що додатково обмежує роботу дронів [5].
6	Точні дистанційні вимірювання: зручний розрахунок площ, об’ємів насипів та оцінка необхідної кількості матеріалів безпосередньо з повітря [4].	Навчання та ліцензування: для легальної роботи потрібні професійні пілоти дронів, які пройшли спеціальне навчання та мають ліцензію [5].
7	Нові можливості для маркетингу: отримання ефектних кадрів та знімків об'єкта для рекламних матеріалів, привернення уваги інвесторів та клієнтів[4].	Ризик аварій та пошкодження майна: технічні збої або помилки пілотування можуть призвести до падіння дрона на техніку, матеріали або людей.

Отже, незважаючи на високі початкові інвестиції та певні експлуатаційні обмеження (як-от залежність від погоди чи заряд акумулятора), переваги використання дронів у будівництві значно перевершують недоліки. Завдяки підвищенню безпеки, швидкості збору даних та точності планування, БпЛА стають не просто інноваційною опцією, а необхідним інструментом для оптимізації робочих процесів. З подальшим розвитком технологій та вдосконаленням акумуляторних систем їхня роль на сучасних будівельних майданчиках лише зростатиме.

Для більшої наочності доцільно порівняти традиційні методи моніторингу будівництва з сучасними технологіями, що базуються на використанні БПЛА. Таке зіставлення дозволяє чітко

побачити переваги дронів у швидкості, безпеці та економічній ефективності. Узагальнені результати наведено у табл. 2

Таблиця 2 – Порівняння традиційного моніторингу та моніторингу із застосуванням БПЛА

Критерій	Традиційний метод	БПЛА
Швидкість обстеження	Низька	Висока
Безпека	Середня	Висока
Доступ до важкодоступних зон	Обмежений	Високий
Вартість великих об'єктів	Висока	Нижча

Порівняння показує, що традиційні методи моніторингу поступаються БПЛА за ключовими критеріями - швидкістю, безпекою та доступом до важкодоступних зон. Хоча початкові інвестиції у дрони можуть бути значними, їх застосування на великих об’єктах забезпечує економію часу й коштів, роблячи технологію більш ефективною та доцільною для сучасної будівельної галузі.

За даними Ciampa та ін., використання БПЛА під час інспекції мостових споруд дозволяє знизити ризик для персоналу на 30–40 % [9].

Дослідження Bolaji та ін. показують, що використання БПЛА дає змогу скоротити витрати на контроль якості на 20–25 % [10].

Для забезпечення максимальної ефективності використання БПЛА в будівництві критично важливо враховувати технічні характеристики різних моделей. Оскільки універсального рішення не існує, вибір апаратної платформи має базуватися на специфіці конкретного проєкту. З цією метою було проведено порівняльний аналіз провідних промислових дронів, результати якого систематизовано у табл. 3.

Таблиця 3 – Порівняльна характеристика БПЛА для будівельної галузі

Модель БПЛА	Час польоту	Камера та сенсори	Ключові особливості для будівництва
DJI Mavic 3 Enterprise[5,7].	До 45 хв	20 Мп ширококутна камера з механічним затвором	Компактний розмір; ідеальний для базового картографування; підтримка RTK-модуля для сантиметрової точності.
DJI Matrice 350 RTK[5,6].	До 55 хв	Змінні корисні навантаження (LiDAR, зум, тепловізори серії Zenmuse)	Промисловий важковаговик; захист від вологи та пилу IP55; 6-направлена система уникнення перешкод; здатність нести важке обладнання.
Skydio X10[5].	До 40 хв	50 Мп камера, телеоб'єктив, тепловізор FLIR Boson+	Передовий штучний інтелект; автономний політ із побудовою 360° карти оточення; здатність літати у щільній забудові без GPS.
Autel EVO Max 4T[6].	До 42 хв	50 Мп ширококутна, 48 Мп зум, теплова камера	Радар міліметрового діапазону для виявлення перешкод; функція "гарячої" заміни батарей; захист IP43.
WingtraOne Gen II *(*VTOL*)* [7]	До 59 хв	Змінні камери (до 42 Мп) для високоточної фотограмметрії	Гібрид (злітає як коптер, летить як літак); розроблений для покриття величезних площ; точність геоданих 1–3 см (PPK).

На основі наведеного порівняння можна зробити такі висновки щодо доцільності використання різних типів БПЛА залежно від потреб проєкту:

1. Для невеликих та середніх будівельних майданчиків, а також для щоденного швидкого моніторингу прогресу робіт доцільно використовувати компактні рішення на кшталт DJI Mavic 3 Enterprise. Механічний затвор камери мінімізує спотворення під час руху, що робить його ідеальним для точної базової фотограмметрії та підрахунку об'ємів земляних мас з мінімальними витратами часу на розгортання.
2. Тоді як для спеціалізованого моніторингу великих об'єктів та складних інженерних споруд краще підходять платформи промислового класу, такі як DJI Matrice 350 RTK. Завдяки можливості

змінювати корисне навантаження (наприклад, вішати лазерний сканер LiDAR), цей дрон дозволяє проводити зйомку крізь рослинність або виконувати тепловий аудит фасадів багатоповерхівок, стабільно працюючи навіть у складних погодних умовах.

3. Для інспекції важкодоступних і небезпечних зон (наприклад, внутрішніх приміщень, конструкцій мостів або ділянок із великим скупченням будівельних кранів та техніки) незамінними стають дрони зі штучним інтелектом - Skydio X10 або Autel EVO Max 4T. Їхні автономні радари здатні самостійно уникати зіткнень із металоконструкціями та працювати у "сліпих" зонах без стабільного GPS-сигналу.

4. Для масштабних інфраструктурних проєктів (будівництво автомагістралей, трубопроводів або планування величезних житлових масивів) найефективнішими є гібридні дрони (VTOL), як-от WingtraOne Gen II. Завдяки аеродинаміці літака вони здатні знімати сотні гектарів території за один виліт, що забезпечує неперевершену швидкість та рентабельність топографічних досліджень перед початком будівництва.

Висновки

1. Використання БПЛА дозволяє підвищити ефективність моніторингу будівельних майданчиків за рахунок оперативного отримання актуальних просторових даних та автоматизації контролю виконання робіт.

2. Застосування сучасних засобів аерофотозйомки, фотограмметрії та LiDAR-сканування забезпечує високу точність вимірювань і сприяє прийняттю обґрунтованих інженерних рішень.

3. Дистанційний характер роботи безпілотних систем підвищує рівень безпеки персоналу під час обстеження висотних та важкодоступних об'єктів.

4. Незважаючи на наявність певних технічних та економічних обмежень, використання БПЛА є перспективним напрямом цифровізації будівельної галузі та сприяє підвищенню якості управління будівельними процесами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Liang H., Lee S.-C., Bae W., Kim J., Seo S. Towards UAVs in Construction: Advancements, Challenges, and Future Directions for Monitoring and Inspection. Drones. 2023. Vol. 7, No 3. Art. 202. DOI: https://doi.org/10.3390/drones7030202.
2. Типи безпілотників: основні види та сфери застосування. Blue Bird: офіційний сайт компанії. URL: https://www.blue-bird.tech/news/tipi-bezpilotnikiv-osnovni-vidi-ta-sferi-zastosuvannya/.
3. Інерційні рішення для зйомки за допомогою LiDAR та фотограмметрії з безпілотних літальних апаратів. SBG Systems: офіційний сайт компанії. URL: https://www.sbg-systems.com/uk/geospatial/uav-lidar-photogrammetry/.
4. Використання БпЛА у будівництві: 7 переваг, які змінюють галузь на краще. Culver Aviation: офіційний сайт компанії. 2023. URL: https://culver.aero/uk/news/vikoristannya-bpla-u-budivnictvi-7-perevag-yaki-zminyuyut-galuz-na-krashe.
5. Dukowitz Z. Drones in Construction: An In-Depth Guide [New for 2026]. UAV Coach: official website. 2026. URL: https://uavcoach.com/drones-in-construction/#7.
6. Karanja P. Best Drones for Construction 2025–26: Mapping and Inspection. Jinghong Drone: official website. 2025. URL: https://jinghongdrone.com/best-drones-for-construction-2025-26-mapping-and-inspection#postcontent.
7. The Flying Lizard. The Best Drones for Construction and Surveying in 2025: Top Picks for Accuracy, Efficiency, and ROI. The Flying Lizard: official website. 2025. URL: https://www.theflyinglizard.com/post/the-best-drones-for-construction-and-surveying-in-2025-top-picks-for-accuracy-efficiency-and-roi.
8. Jacob-Loyola N., Muñoz-La Rivera F., Herrera R. F., Atencio E. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Physical Progress Monitoring of Construction. Sensors. 2021. Vol. 21, No 12. Art. 4227. DOI: https://doi.org/10.3390/s21124227.
9. Ciampa E., De Vito L., Pecce M. Practical issues on the use of drones for construction inspections. Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1249, No 1. Art. 012016. 11 p. DOI: https://doi.org/10.1088/1742-6596/1249/1/012016.
10. Bolaji W. A., Olatunde O. T., Valentine N. N., Fatai O. B. Investigation of the Use of Drones by Construction Professionals in Addressing Built Environment Tasks. Green Building & Construction Economics. 2024. Vol. 5, No 1. 11 p. DOI: https://doi.org/10.37256/gbce.5120243819.

Артем Сергійович Мазур — здобувач групи СМ-24б факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, satoneiro1211@gmail.com.

Олег Олегович Горюн – доктор філософії, старший викладач кафедри інженерних систем у будівництві, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Україна, м. Вінниця, ORCID: 0000-0001-5678-835X, e-mail: oleggoriun@vntu.edu.ua.

Artem Mazur — student of the SM-24b group of the Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: satoneiro1211@gmail.com.

Oleh Horiun **—** PhD, senior lecturer of the department of engineering systems in construction, faculty of construction, civil and environmental engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, ORCID: 0000-0001-5678-835X, e-mail : oleggoriun@vntu.edu.ua.