

**Сергій Валерійович Левщанов**

Інженер, Freelance consulting (Київ, Україна)

E-mail: [devops8me@proton.me](mailto:devops8me@proton.me)

## ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ У БУДІВЕЛЬНІЙ ІНДУСТРІЇ

Нові технології, такі як безпілотні літальні апарати (БПЛА), відіграють ключову роль в автоматизації процесів моніторингу та інших операцій у будівельній індустрії. Ця стаття показує огляд за основними напрямками використання БПЛА разом з іншими технологіями в будівництві та експлуатації за останні 5 років.

У результаті цієї роботи було вивчено потенціал використання БПЛА в будівельній галузі, і знайдено відповіді на такі запитання: Які переваги використання БПЛА - дронів у будівельній індустрії порівняно з традиційними методами? З якими проблемами та недоліками стикається технологія дронів на шляху її впровадження в будівельну індустрію?

Стаття є оглядово-інформаційною.

**Ключові слова:** дрон; безпілотний літальний апарат; БПЛА; машинне навчання; інформаційне моделювання будівель і споруд; машинний зір; штучний інтелект; моніторинг будівельних процесів та інфраструктури.

Рис.: 3. Табл.: 1. Бібл.: 11.

**Актуальність теми дослідження.** Будівельна галузь є однією з основних опор економіки, яка потребує автоматизації процесів для економії ресурсів і часу. Одними з основних проблем галузі у 2024 році є: проблеми охорони праці та техніки безпеки на будівельних майданчиках; відставання у впровадженні сучасних технологій, оскільки будівельна галузь повільно адаптує нові технології [1].

**Постановка проблеми.** Будівельна ділянка - це середовище, у якому у зв'язку з високою інтенсивністю робіт і задіяння великої кількості машин і механізмів, виникають високі ризики для безпеки здоров'я будівельників. Унаслідок цього виникає необхідність у постійному моніторингу умов праці працівників у режимі реального часу [2]. Будівництво є складним процесом, що вимагає ретельного обстеження майданчика перед початком робіт, моніторингу будівельних робіт, перевірок стану експлуатованих будівель і споруд. Це так само вимагає ефективного і постійного моніторингу [4]. Візуальний огляд стану багатопверхових будівель здійснюється за допомогою промислових альпіністів, які можуть виконати візуальну перевірку, однак вартість такого методу і кількість витраченого часу значно вища порівняно з використанням БПЛА для вирішення цього завдання [9]. Виявлення потенційних проблем на ранній стадії в будівництві або експлуатації дозволяють значно зменшити вартість ремонту [8]. Істотним фактором, що стримує широке впровадження БПЛА в будівельну індустрію, є низька обізнаність про технологію БПЛА серед фахівців індустрії [3; 10].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У даній статті використані дослідницькі роботи в період з 2019 по 2023 роки, щодо практики застосування дронів у будівництві та експлуатації. У цих дослідженнях описано типи застосовуваних БПЛА в будівельній галузі. Методика і приклади практичного застосування дронів, зокрема спільно з іншими новими технологіями, зокрема ВІМ-інформаційне моделювання будівель і споруд, штучний інтелект, машинне навчання і машинний зір. У цих роботах також описано проблеми, з якими зіткнулися дослідники та практикуючі фахівці при впровадженні БПЛА в будівельній сфері [2-11].

**Виділення не досліджених частин загальної проблеми.** Процес впровадження використання БПЛА в будівельній галузі триває, оскільки це нова технологія. І вона досі не вивчена повністю. У процесі впровадження відбувається вдосконалення практики використання. З'являються нові напрямки використання і технології з якими збільшуються ефективність і можливості використання. З огляду на вищевикладене, виникла потреба в аналізі наукових публікацій з цієї тематики за минулі 5 років. Для детального висвітлення таких

тем: 1) огляд типів дронів, що застосовуються; 2) напрями застосування дронів для будівництва та експлуатації; 3) переваги використання цієї технології порівняно з традиційними методами; 4) поточні проблеми й обмеження використання БПЛА в галузі.

**Метою дослідження** є визначення поточних тенденцій щодо застосування цієї технології, технічних вимог і проблем на шляху її впровадження, що підвищить обізнаність про застосування цієї технології серед фахівців галузі та прискорить її впровадження. Результати цієї роботи також дозволять дослідникам краще визначити сучасні потреби галузі.

**Виклад основного матеріалу.** У будівельній індустрії широкого застосування набули три типи БПЛА, це: дрони роторного типу (з гвинтами) (рис. 1); літакового з нерухомим крилом (рис. 2); гібридного (з гвинтами та крилами) (рис. 3).



*Рис. 1. Дрони роторного типу, зліва на право квадрокоптер із 4 гвинтами, гексакоптер із 6 гвинтами, октокоптер із 8 гвинтами.*  
Джерело: [10].



*Рис. 2. Дрон літакового типу з нерухомим крилом*  
Джерело: [10].



*Рис. 3. Дрон гібридного типу (з гвинтами і крилами)*  
Джерело: [10].

Велика кількість гвинтів у роторних дронів збільшує їхню маневреність, що робить їх ідеальними для застосування в обмеженому просторі або всередині будівлі чи споруди за рахунок їхньої можливості зависання над об'єктом моніторингу. Водночас велика кількість гвинтів не дає їм високу швидкість порівняно з типом БПЛА з нерухомим крилом. Який за рахунок своєї конструкції ідеально підходить для швидкого польоту на великі відстані. Що робить цей тип дрона ідеальним для інспекції віддалених об'єктів, автомагістралей, залізниць або будь-яких інших лінійних споруд.

Гібридні дрони мають нерухоме крило, що забезпечує їм можливість далеких польотів на високій швидкості, а гвинти дають змогу зависати над досліджуваним об'єктом. Що робить їх універсальними, але й складнішими в експлуатації та дорожчими, ніж вище перераховані типи дронів [2-3] [7-8] [10]. Напрями застосування БПЛА в будівництві та експлуатації показані в табл. 1.

Таблиця 1 – Застосування БПЛА для будівництва та експлуатації

Процеси будівництва та експлуатації	Застосування БПЛА	Посилання на джерела
Збір даних для проектування	Картографія	[3] [8]
	Топографічне знімання	[3]
	Збір візуальної інформації з недоступних місць	[3] [5]
	Створення 3D-моделі	[5-6] [7] [9]
	Розрахунок земляних робіт	[3] [8]
	Аерофотозйомка	[6] [10]
	Геодезичні роботи	[10]
Будівництво	Моніторинг процесу будівництва в режимі реального часу	[3-6]
	Такелажні та монтажні роботи	[3-4]
	Виявлення візуальних дефектів, тріщини, корозії тощо.	[4] [6-8]
	Виявлення пустот у бетоні.	[3-4]
	Порівняння наявного об'єкта з його BIM-моделлю за допомогою збору хмари точок наявної конструкції.	[4] [10]
Охорона праці та техніка безпеки	Моніторинг безпеки праці та дотримання техніки безпеки на будівельних ділянках.	[2-3] [5-6] [8]
Експлуатація будівель і споруд	Візуальний огляд стану будівель і споруд з подальшим опрацюванням даних на предмет пошкоджень.	[4-5] [8] [11]
	Моніторинг енергоефективності будівель, оцінка цілісності теплоізоляції, перевірка на протікання, витік газу.	[3-5]
	Оцінка стану будівель і споруд після природної або техногенної катастрофи	[3] [5]

Джерело: розроблено автором.

**Переваги використання БПЛА в будівельній галузі.** Як видно з табл. 1, дрони широко застосовуються в різних процесах будівництва та експлуатації.

Сучасні БПЛА мають можливості працювати разом із технологіями штучного інтелекту, машинного навчання та технічного зору. Це дає змогу здійснювати збір та аналіз даних, у режимі реального часу допомагаючи більш ефективно контролювати виконання персоналом правил охорони праці та техніки безпеки на будівельних майданчиках. Що дуже важливо для забезпечення безпеки персоналу і зниження ризиків травм під час виконання робіт [2-3; 5-6; 8].

Істотно скорочують час і витрати при виконанні вишукувальних, будівельних, і експлуатаційних завдань у порівнянні з традиційними методами [2; 6-9; 11]. Дають змогу отримати доступ і збір даних із важкодоступних місць у споруджуваних та існуючих будівлях і спорудах [3-4; 11]. Можна використовувати незалежно від місця розташування та відсутності інфраструктури [3].

БПЛА можуть бути інтегровані з різноманітним сучасним програмним забезпеченням і апаратними компонентами, такими як BIM, LIDAR, георадар, тепловізор, і різними датчиками для збору даних, які можна використовувати для оцінки якості та стану об'єкта. Наприклад, прикріпивши до дронів датчики, що вловлюють метан, можна знайти витіки газу на газопроводах з можливістю точного визначення місць і навіть виміряти обсяг витоків [3; 6].

На етапі збору даних для проектування БПЛА ефективний для збору необхідної інформації для проектування і створення точних 3D-моделей [4; 8-9]. А також моніторингу в режимі реального часу всіх етапів будівництва [4-5; 8]. Вантажопідйомність дає змогу

дронам виконувати деякі такелажні та монтажні роботи [4; 6]. Дрони дуже ефективні для проведення перевірок і технічного обслуговування будівельних об'єктів. З їхньою допомогою проводять планові перевірки споруд, будівель та інфраструктури [6-8; 11].

**Проблеми та обмеження використання БПЛА в будівельній галузі.** Погодні умови, такі як туман, снігопад, дощ і висока швидкість вітру впливають на якість одержуваних зображень і даних та безпеку польоту. А використання БПЛА в обмеженому просторі поблизу інших перешкод (будівель, кранів, дерев, металевих конструкцій), може спричинити навігаційні та експлуатаційні труднощі, як-от збій у роботі GPS або магнітні перешкоди, тоді дрон може втратити керування. Це може спричинити небезпечні ситуації для людей [3-4; 6; 8-10].

Оператори дронів повинні мати необхідні знання та навички, щоб вирішувати технічні проблеми, які можуть виникнути під час експлуатації, такі як втрата сигналу, перешкоди, відмова вбудованих датчиків та передчасна розрядка акумулятора. Працівники на ділянках повинні мати правильне розуміння проблем безпеки, пов'язаних із польотами БПЛА на будівельних майданчиках. Наприклад, робота БПЛА на будівельних майданчиках може відвертати водія, що може стати причиною аварії [3-6].

Оператори або їхні асистенти повинні вміти витягувати й обробляти дані, які збирають БПЛА [3; 10].

У різних країнах світу впровадження БПЛА в галузь ускладнюється питаннями юридичного характеру, такими як вторгнення в приватне життя. Наприклад, незважаючи на отримання дозволу від різних учасників будівельного проекту. При управлінні БПЛА на будівельних майданчиках, можуть виникнути проблеми конфіденційності через прилеглі об'єкти, або пішоходів, які можуть заявити про зазіхання на їхні громадянські права і свободи. Оскільки БПЛА здатні отримувати зображення і відео в місцях, де люди очікують деякої конфіденційності. Ці питання, поки залишаються невирішеними [3-5].

У деяких країнах світу є обмеження на використання БПЛА в нічний час. Що робить неможливим їх використання для цілодобового моніторингу будівництва. Так само, наприклад, у США правила комерційного використання дронів не дозволяють вилітати з поля зору оператора, що є обмеженням для деяких випадків використання. Наприклад, обстеження лінійних споруд або віддалених об'єктів [3-5].

Істотним фактором, що стримує широке впровадження БПЛА в будівельну індустрію, є низька обізнаність про технологію серед фахівців індустрії. Незважаючи на великі дослідження, що вивчають застосування БПЛА в будівництві за останнє десятиліття, їх практичне впровадження ще не повністю досягнуто [3; 10].

Більшість комерційних БПЛА мають невелику ємність акумуляторної батареї, що обмежує час їх застосування. У зв'язку з цим деякі завдання не можливо виконати за один політ [4] [6-9].

Вантажопідйомність дронів не дуже велика, у зв'язку з цим для виконання такелажних або монтажних робіт іноді потрібно задіяти кілька дронів [4; 6].

У зв'язку з високою вартістю БПЛА з високою роздільною здатністю камер, програмного забезпечення для обробки даних і необхідністю навчання персоналу використанню БПЛА для збору та обробки даних, отримання для них ліцензій і сертифікатів. Роблять витрати, пов'язані з впровадженням БПЛА в будівельні компанії, величезними, і у зв'язку з цим деякі власники не хочуть робити ці інвестиції [10]. А використання дешевого обладнання для дронів призводить до втрат у точності даних і якості зйомки [7; 9].

**Висновки.** З розглянутих матеріалів було складено детальний огляд і аналіз закордонного досвіду застосування БПЛА в галузі за останні 5 років. Ці матеріали допоможуть вітчизняним фахівцям швидше впровадити цю технологію. Так само було отримано відповіді на поставлені вище запитання. Технології БПЛА сприяють підвищенню продуктивності, економії часу і ресурсів, підвищують безпеку персоналу, а також мінімізують людські помилки порівняно з традиційними методами. Під час вибору БПЛА важливим

є розуміння для яких конкретно цілей його буде використано. Оскільки конструктивні особливості кожного типу БПЛА суттєво впливають на можливість та ефективність застосування. Водночас дрони становлять загрозу безпеці, оскільки вони можуть впасти під час польоту і великою проблемою залишається порушення конфіденційності людей.

#### Список використаних джерел

1. Biggest Challenges Facing the Construction Industry / Abdullah Alsharif, Anto Ovid, S. M. Jamil Uddin, Alex Albert // *Construction Research Congress*, 2024. – Pp. 652-660. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784485286.065>.

2. Unmanned Aerial Systems and Deep Learning for Safety and Health Activity Monitoring on Construction Sites / Aliu Akinsemoyin, Ibukun Awolusi, Debaditya Chakraborty, Ahmed Jalil Al-Bayati, Abiola Akanmu // *Sensors*. – 2023. – № 23(15). DOI: <https://doi.org/10.3390/s23156690>.

3. Albeaino, G. Trends, benefits, and barriers of unmanned aerial systems in the construction industry: a survey study in the United States / G. Albeaino, M. Gheisari // *ITcon*. – 2021. – Vol. 26. – Pp. 84-111. DOI: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.006>.

4. Jin Fan. Applications of Drones in Infrastructures: Challenges and Opportunities [Electronic resource] / Jin Fan, Mohamad Saadeghvaziri // *ICARD 2019 : International Conference on Aerial Robotics and DroneAt: LA, USA*. – Access mode: [https://www.researchgate.net/publication/336262417\\_Applications\\_of\\_Drones\\_in\\_Infrastructures\\_Challenges\\_and\\_Opportunities](https://www.researchgate.net/publication/336262417_Applications_of_Drones_in_Infrastructures_Challenges_and_Opportunities).

5. Serkan Yıldız. Using drone technologies for construction project management: A narrative review / Serkan Yıldız, Serkan Kıvrak, Gökhan Arslan // *Journal of Construction Engineering, Management & Innovation*. – 2021. – Vol. 4 (4). – P. 232-240. DOI: <https://doi.org/10.31462/jcemi.2021.04229244>.

6. Ihab M. Katar. Drone Technology In Contemporary Construction Engineering Management [Electronic resource] / Ihab M. Katar // *Journal of Namibian Studies History Politics Culture*. – 2023. – Vol. 35(S1). – Pp. 1322-1331. – Access mode: [https://www.researchgate.net/publication/378481062\\_Drone\\_Technology\\_In\\_Contemporary\\_Construction\\_Engineering\\_Management](https://www.researchgate.net/publication/378481062_Drone_Technology_In_Contemporary_Construction_Engineering_Management).

7. Ballesteros Ruiz, R. D. Inspection of facades with Unmanned Aerial Vehicles (UAV): an exploratory study / R. D. Ballesteros Ruiz, A. C. Lordsleem JÃnior, J. H. Aquino Rocha // *Revista ALCONPAT*. – 2021. – Vol. 11(1). – Pp. 88-104. DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i1.517>.

8. An Overview of Drone Applications in the Construction Industry / Hee-Wook Choi, Hyung-Jin Kim, Sung-Keun Kim, Wongi S. Na // *Drones*. – 2023. – Vol. 7. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones7080515>.

9. Riyanto, F. Realtime monitoring study for highway construction using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technology / F Riyanto, Juliastuti, O Setyandito, A Pramudya // *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. – 2021. – Vol. 729(1). DOI: [10.1088/1755-1315/729/1/012040](https://doi.org/10.1088/1755-1315/729/1/012040).

10. Spoorthy Venkatesh Prakash. Unmanned Aerial Systems in the U.S. Construction Industry: Exploratory Study on Current State of Practice / Spoorthy Venkatesh Prakash, Caroline Clevenger, Manideep Tummalapudi // *EPiC Series in Built Environment*. – 2022. – Vol. 3. – Pp. 482-486. DOI: <https://doi.org/10.29007/hws2>.

11. New trends in visual inspection of buildings and structures: Study for the use of drones / Jorge Furtado Falorca, João P. N. D. Miraldes, João Carlos Gonçalves Lanzinha // *Open Engineering*. – 2021. – Vol. 11 (1). – Pp. 734-743. DOI: <https://doi.org/10.1515/eng-2021-0071>.

#### Список використаних джерел

1. Alsharif, A., Ovid, A., Uddin, S. M. J., Albert, A. (2024). Biggest Challenges Facing the Construction Industry. *Construction Research Congress 2024*, (pp. 654-659). <https://doi.org/10.1061/9780784485286.065>.

2. Akinsemoyin, A., Awolusi, I., Chakraborty, D., Al-Bayati, A. J., Akanmu, A. (2023). Unmanned Aerial Systems and Deep Learning for Safety and Health Activity Monitoring on Construction Sites. *Sensors*, 23(15), 1-20. <https://doi.org/10.3390/s23156690>.

3. Albeaino, G., Ghaisari, M. (2021). Trends, benefits and barriers to the use of unmanned aircraft systems in the construction industry: a US study. *ITcon*, 26, 84-111. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.006>.

4. Fan, J., Saadeghvaziri, M. (2019). Applications of Drones in Infrastructures: Challenges and Opportunities. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3566281>.

5. Yıldız, S., Kivrak S., Gökhan, A. (2021). Using Drones for Construction Project Management: A Narrative Review. *Journal of Construction Engineering, Management & Innovation*, 4(4), 232-240. <https://doi.org/10.31462/jcemi.2021.04229244>.
6. Katar, I.M. (2023). Drone Technology in Contemporary Construction Engineering Management. *Journal of Namibian Studies History Politics Culture*, 35(S1), 1321-1334. [https://www.researchgate.net/publication/378481062\\_Drone\\_Technology\\_In\\_Contemporary\\_Construction\\_Engineering\\_Management](https://www.researchgate.net/publication/378481062_Drone_Technology_In_Contemporary_Construction_Engineering_Management).
7. Ruiz, R. D. B., Júnior, A. C. L., Rocha, J. H. A. (2021). Inspection of facades with Unmanned Aerial Vehicles (UAV): an exploratory study. *Revista ALCONPAT*, 11(1), 88-104. <https://doi.org/10.21041/ra.v11i1.517>.
8. Choi, H.-W., Kim, H.-J., Kim, S.-K., Na, W. S. (2023). An Overview of Drone Applications in the Construction Industry. *Drones*, 7(8), 515. <https://doi.org/10.3390/drones7080515>.
9. Riyanto, F, Juliastuti, J., Setyandito, O., Pramudya, A. (2021). A study on real-time highway construction monitoring using unmanned aerial vehicle (UAV) technology. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 729, 2-10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/729/1/012040>.
10. Prakash, S. V., Clevenger, C., Tummalapudi, M. (2022). Unmanned aircraft systems in the US construction industry: An exploratory study of the current state of practice. *58th Annual Associated Schools of Construction International Conference*, 3, 479-487. <https://doi.org/10.29007/hws2>.
11. Falorca, J., Miraldes, J. P. N. D., Lanzinha, J. C. G. (2021). New trends in visual inspection of buildings and structures: Research on the use of drones. *Open Engineering*, 11(1), 734-743. <https://doi.org/10.1515/eng-2021-0071>.

Отримано 20.06.2024

UDC 624.05

**Serhii Levshchanov**

Engineer. Freelance consulting (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [devops8me@proton.me](mailto:devops8me@proton.me)

## APPLICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

*The construction industry is one of the main pillars of the economy, which requires automation of processes to save resources and time. Some of the major challenges for the industry in 2024 are: Health and safety issues on construction sites and lagging behind in the adoption of modern technologies as the construction industry is slow to adapt new technologies*

*A construction site is an environment in which there are high health and safety risks for construction workers due to the high intensity of work and the large number of machines and mechanisms involved. As a result, there is a need for continuous real-time monitoring of the working conditions of workers. Construction is a complex process that requires thorough inspection of the site before starting work, monitoring of construction works, and inspections of the condition of the buildings and structures in operation, which also requires effective and continuous monitoring. Visual inspections of multi-storey buildings are carried out using industrial climbers who can perform visual inspections, but the cost of this method and the amount of time spent is considerably higher compared to using UAVs for this task. Identifying potential problems early in construction or operation can significantly reduce the cost of repairs. A significant factor inhibiting the widespread adoption of UAVs in the construction industry is the low awareness of UAV technology among industry professionals.*

*The aim of the study is to identify the current trends in the application of this technology, technical requirements and challenges to its adoption, which will increase the awareness of the application of this technology among industry professionals and accelerate its adoption. The results of this work will also enable researchers to better identify the current needs of the industry.*

*This study was conducted by review and analysis method, that includes: Overview of types of drones used in the construction industry; Construction and operation processes where UAVs are used; Advantages of using UAVs in the construction industry; Problems and limitations of using UAVs in the construction industry. From the reviewed materials, a detailed review and analysis of foreign experience of using UAVs in the industry over the past 5 years was compiled. These materials will help domestic specialists to implement this technology faster. Also, the answers to the above questions were received. UAV technologies help to increase productivity, save time and resources, improve personnel safety, and minimise human error compared to traditional methods. When selecting a UAV, it is important to understand the specific purposes for which it will be used. Since the design features of each type of UAV have a significant impact on the feasibility and effectiveness of the application. At the same time, drones pose a safety risk as they can crash during flight and a big problem remains the violation of people's privacy.*

**Keywords:** drone; unmanned aerial vehicle; UAV; machine learning; information modeling of buildings and structures; machine vision; Artificial Intelligence; monitoring of construction processes and infrastructure.

Fig.: 3. Table: 1. References: 11.