

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-61-49>

УДК 658.7

ПРІОРИТЕТИ ВИКОРИСТАННЯ БПЛА В ЛОГІСТИЧНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ БУДІВНИЦТВА

PRIORITIES OF UAV USE IN LOGISTICS CONSTRUCTION'S SUPPORT

Леонова Софія Володимирівна

кандидат економічних наук, доцент,
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9231-5987>

Басараб Назарій Романович

аспірант,
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1783-5883>

Рудник Любомир Володимирович

аспірант,
Національний університет "Львівська політехніка"
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3708-6436>

Leonova Sofiia, Basarab Nazarii, Rudnyk Liubomyr
Lviv Polytechnic National University

Індустрія логістики будівництва зіткнулася із високими витратами на транспорт, викликами до власної здатності задовольняти потреби клієнтів та проблемами, пов'язаними із екологією. Однак впровадження технологій безпілотних транспортних засобів може допомогти подолати ці труднощі, зменшуючи витрати, підвищуючи швидкість і надійність доставки, а також підвищуючи загальну ефективність. Використання безпілотників може призвести до значних покращень як підвищення продуктивності, економія коштів, збільшення рівня безпеки, поліпшення доступності та надання можливості відстеження у реальному часі. Незважаючи на переваги, існують певні перешкоди, такі як регуляторні вимоги, технічні складнощі та фінансові обмеження, які необхідно подолати перед широкомасштабним впровадженням цих технологій. Використання дронів у логістиці будівництва зростає, і такі компанії як Hensel Phelps та STRABAG вже тестують ці технології. Проте існують виклики та обмеження щодо безпеки, регулювання, погодних умов, суспільного схвалення, які необхідно вирішити перед широким застосуванням цих інновацій.

Ключові слова: логістика будівництва, БПЛА, ефективність логістичних процесів у будівництві.

The construction logistics industry has faced high transportation costs, challenges to its ability to meet customer needs, and environmental concerns. However, the adoption of driverless vehicle technologies can help overcome these challenges by reducing costs, increasing delivery speed and reliability, and increasing overall efficiency. The use of drones can lead to significant improvements such as increased productivity, cost savings, increased safety, improved accessibility and real-time tracking. Despite the advantages, there are certain hurdles such as regulatory requirements, technical difficulties and financial constraints that need to be overcome before large-scale adoption of the latest technologies. The use of drones in construction logistics is growing, and companies such as Hensel Phelps and STRABAG are already testing these technologies. However, there are challenges and limitations in terms of safety, regulation, weather conditions, and public acceptance that must be addressed before these innovations can be widely adopted. The most significant challenges summarized and analyzed in the article are safety issues and regulatory requirements, weather and environmental conditions, battery life and range, navigation and mapping, data security and privacy, cost, control and maintenance. One of the biggest challenges is the lack of clear rules and guidelines for the use of drones and self-driving vehicles in logistics and delivery. Governments around the world are in the process of establishing regulations and guidelines for the safe operation of UAVs. In addition, technical obstacles such as the development and maintenance of sensors, batteries and navigation systems can be expensive and difficult to overcome. The practical value of the publication is the study of the impact of the use of drones on logistics operations and the efficiency of logistics processes in construction. The generalization

of the results of the cabinet study shows a number of advantages of using UAVs in the field of logistics. It must be taken into account that unmanned logistics in the construction sector is still a relatively new technology, and its widespread adoption will take time and overcome a number of challenges, such as regulatory issues and ensuring safety. However, with the development of technology and the solution of problematic issues, the use of drones in the logistics of construction processes can become more widespread and lead to further improvements.

Keywords: construction logistics, UAV, efficiency of logistics processes in construction.

Постановка проблеми. Логістика та доставка виступають критично важливими компонентами ланцюга поставок. Методи, що використовуються для оптимізації логістичних систем, впливають на ефективність, вартість та безпеку цих операцій. Зазвичай традиційні методи логістики використовують засоби наземного транспорту.

Проблеми сучасної світової економіки, що поглибилися через російське вторгнення в Україну, збої в ланцюгах постачання є складними для багатьох галузей, і будівництво не є винятком. Проблемні питання, що вийшли на перший план, вимагають інноваційних рішень, які потребують застосування нових технологій. З появою нових технологій, таких як дрони і безпілотні літальні апарати (БПЛА), логістика отримує нові можливості з численними потенційними перевагами [3, с. 33].

Традиційні методи логістики, що використовують засоби наземного транспорту, мають свої обмеження, зокрема обмежений доступ до важкодоступних або віддалених об'єктів, затори та залежність від дорожнього руху. Ці фактори можуть призводити до затримок, підвищення вартості та неефективності в операціях доставки. Також існує ризик аварій через вплив людського чинника.

З іншого боку, безпілотна логістика та доставка з використанням дронів може стати інструментом для подолання цих обмежень. Дрони мають властивість пристосовуватися до важкодоступних місць, забезпечуючи кращу доступність та скорочення часу доставки.

Не минуло використання інноваційних логістичних технологій і будівельну галузь. Дрони можуть досліджувати будівельний майданчик, надаючи точні топографічні дані, які включаються в початкову, спроектовану 3D-модель на платформі BIM (Building Information Modeling – цифрова технологія планування). Bazуючись на такому рівні точності, підрядники зможуть виконувати роботи за графіком. Навіть на пересіченій місцевості дрони забезпечують безпечний та ефективний спосіб сканування всього майданчика. Моніторинг з використанням дронів може

періодично інформувати всі зацікавлені сторони про поточний стан робіт. Створення оновлених 3D-моделей для накладання на початкові плани – це специфічна роль дронів у BIM. БПЛА також можуть надавати аерофотознімки, що показують, де розташовані об'єкти, допомагаючи керівникам координувати роботу. Дрони можуть здійснювати безпечні й ефективні інспекції та управляти об'єктами, всесторонньо аналізуючи структуру об'єкта і гарантуючи, що кожна частина будівлі є міцною та відповідає вимогам [4; 6; 7; 9].

БПЛА також можуть працювати в автономному режимі, що зменшує ризик людських помилок. Також використання дронів може бути екологічно сприятливішим, знижуючи викиди вуглецю та витрати енергії [8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про зростання інтересу до використання дронів та безпілотних автомобілів для різноманітних завдань, серед яких не лише доставка посилок, управління запасами, доставка "останньої милі", а й динамічно виникаючі завдання у суміжних сферах. Активно ведеться робота над розробкою правил і протоколів безпеки для впровадження інноваційних технологій та дослідження нових способів їх використання в галузі логістики будівельних процесів [3]. Очікується, що дрони та безпілотні автомобілі стануть ще більш популярними в майбутньому завдяки швидкому технологічному прогресу. Крім того, більш широке використання дронів і безпілотних автомобілів допоможе галузі логістики будівництва підвищити ефективність і знизити витрати, збільшити швидкість і точність поставок, а також підвищити безпеку співробітників і клієнтів. Використання дронів є оптимальним варіантом щоразу, коли фірма-підрядник потребує збору інформації, оскільки виступає джерелом потенційної доданої вартості на будівельному майданчику. Використання БПЛА у будівництві є безпечнішим, ніж відправляти на об'єкт геодезичні бригади, і точнішим, ніж інші методи збору даних [8].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Необхідно враховувати, що безпілотна логістика у будівельній

сфері все ще є відносно новою технологією, і її широке впровадження потребує часу та подолання ряду викликів, таких як регуляторні питання та гарантування безпеки. Втім, з розвитком технологій та вирішенням цих питань, використання дронів у логістиці будівельних процесів може отримати масовіше розповсюдження і призвести до подальших покращень.

Формулювання цілей статті. Мета статті – дослідити використання БПЛА у логістиці будівельних процесів та оцінити потенційний вплив на галузь. Основне пошукове питання цього дослідження можна виглядає наступним чином: як дрони впливають на логістичні операції та ефективність логістичних процесів у будівництві? Гіпотеза полягає в тому, що інтеграція інноваційних технологій в будівельну галузь може підвищити ефективність логістичних процесів і знизити витрати. Методологія дослідження включає аналіз конкретних прикладів компаній, які наразі використовують дрони у своїх логістичних операціях, кабінетне дослідження та огляд відповідної наукової літератури на цю тему.

Виклад основного матеріалу дослідження. Логістичне забезпечення включає складні та витратні процеси, яким властиві численні проблемні сторони та обмеження. Деякі з основних проблем, з якими стикаються традиційні методи:

1. Високі транспортні витрати через ціни на паливо та витрати на робочу силу.
2. Складність у задоволенні зростаючих потреб клієнтів у швидкій та надійній доставці.
3. Неefективність та затримки, спричинені заторами на дорогах та станом дорожньої інфраструктури.
4. Екологічні проблеми, пов'язані з викидами від транспортних засобів.

Однак нещодавні досягнення в галузі безпілотних і самокерованих технологій мають потенціал для вирішення цих проблем. Дрони і безпілотні автомобілі забезпечують:

1. Зменшення транспортних витрат за рахунок усунення потреби в людській праці та оптимізації маршрутів.
2. Підвищення швидкості та надійності доставки за рахунок об'їзду транспортних потоків та доступу до важкодоступних районів.
3. Підвищення ефективності і скорочення затримок внаслідок взаємодії з іншими дронами та транспортними засобами для оптимізації маршрутів і транспортних потоків.
4. Пом'якшення екологічних проблем шляхом зменшення викидів та споживання палива [1; 4].

Таким чином, багато компаній та організацій почали вивчати можливості використання БПЛА у сфері логістики та доставки. Однак до широкого впровадження безпілотників існує ще багато регуляторних, технічних і фінансових перешкод, які необхідно подолати.

Крім того, використання БПЛА у логістиці може також принести інші переваги, такі як:

1. Відстеження та моніторинг переміщень вантажів у режимі реального часу, що покращує процес транспортування та спрощує звітування.
2. Підвищення доступності та гнучкості доставки, оскільки БПЛА можуть працювати з об'єктами, важкодоступними для традиційних транспортних засобів.
3. Підвищення безпеки та зменшення ризику нещасних випадків: БПЛА можуть працювати в небезпечних або шкідливих умовах, не загрожуючи життю людей.

Однак слід зазначити, що інтеграція дронів і безпілотних транспортних засобів у логістичні процеси все ще перебуває на початковому етапі, і необхідно провести багато досліджень і розробок, перш ніж ці технології можна буде використовувати в широких масштабах [8; 11].

Крім того, інтеграція цих технологій в існуючу логістичну інфраструктуру та інфраструктуру доставки також пов'язана з такими проблемами, як розробка нових нормативних актів, потреба в новому програмному забезпеченні для управління логістикою та інтеграції цих технологій в існуючі мережі доставки. Загалом, використання дронів (БПЛА) у логістиці будівництва – це нова сфера, що швидко розвивається і має потенціал для значного підвищення ефективності, безпеки та сталості логістичних операцій.

Безпілотні літальні апарати та автономні транспортні системи відкривають нові можливості для сфери логістики будівництва, пропонуючи ряд переваг, які можуть радикально змінити цю індустрію. Вони забезпечують збільшення продуктивності, зниження операційних витрат, підвищення рівня безпеки, поліпшення доступності та гнучкості у відповідності до змінних умов ринку, а також можливість відстеження вантажів у реальному часі. Ці технології відрізняються можливістю швидкої адаптації для виконання різноманітних завдань, що робить їх ідеальними для динамічної будівельної галузі.

Будівельні фірми, оснащені системами проектування на базі дронів, можуть отримати наступні переваги:

Коригування планів будівництва на льоту. Постійно оновлювана BIM-модель для накладання на плани негайно показує підрядникам, якщо вони відхилилися від своїх початкових намірів. Це дає змогу їм вносити корективи на ходу, змінити курс більш ефективно, ніж вносити радикальні зміни на пізніших етапах будівельного процесу.

Робота з максимально точними даними. БПЛА не просто надають своєчасні дані. За використання сучасних сенсорних модулів (підвісів з корисним навантаженням) інформація, що надходить з цих БПЛА, є дуже точною. Кінематика в реальному часі (RTK) – це система, яка використовує дрон, базову станцію і супутник для триангуляції точних даних про місцезнаходження з точністю до сантиметра. Робота з високодеталізованими даними допомагає підрядникам у плануванні на кожному етапі від початкової візуалізації до фінальної перевірки.

Управління будівельним майданчиком із висоти. Здатність дронів до надання точних і детальних результатів вимірювань, робить їх цінною і економічно ефективною частиною загального обладнання будь-якого підрядника. Дрон, що переміщається над будівельним майданчиком, може інформувати підрядників про те, де знаходяться об'єкти та матеріали, а також здійснювати поточні перевірки. Всі ці дані можуть бути завантажені в BIM для доступу всіх зацікавлених сторін, які можуть негайно включити отриману інформацію в свої робочі процеси.

Щоб повною мірою реалізувати потенціал цих технологій, необхідно подолати ряд викликів, включаючи розробку надійних систем управління трафіком для БПЛА, гарантування безпеки та конфіденційності даних, а також створення правових та регуляторних рамок для їх комерційного використання. З огляду на ці виклики, постійні інновації та дослідження є ключовими для інтеграції дронів та автономних транспортних засобів у глобальні логістичні системи [2; 6].

Використання дронів і безпілотних транспортних засобів в галузі логістики та доставки характеризується багатьма важливими перевагами (табл. 1).

Ці технології мають потенціал для революції в галузі логістики, роблячи її більш ефективною, економічно вигідною та безпечною як для працівників, так і для клієнтів.

Традиційні методи логістики та доставки зазвичай використовують наземні транспортні засоби, такі як вантажівки та фургони, якими

керують люди-водії. Ці транспортні засоби використовуються для перевезення товарів зі складів або розподільчих центрів до клієнтів. Основними недоліками традиційних методів є:

1. Обмежена доступність: традиційні наземні транспортні засоби можуть дістатися лише до певних районів, наприклад, з добре утримуваними дорогами та інфраструктурою.

1. Обмежена швидкість: традиційні наземні транспортні засоби обмежені трафіком і дорожніми умовами, і можуть стикатися із затримками через затори, аварії або інші фактори. Це може призвести до збільшення часу доставки та зростання витрат.

2. Підвищений ризик нещасних випадків: традиційні наземні транспортні засоби керуються людьми-водіями, які схильні до людських помилок і можуть спричинити аварії. Це становить ризик як для водія, так і для широкої громадськості [5, с. 17–25].

Зростання кількості комерційних доставок дронами має потенціал революціонізувати ланцюги поставок, зокрема, для задоволення потреб споживачів "останньої милі" та потреб B2B-сегменту. Хоча кількість комерційних доставок дронами все ще відносно невелика, вона стрімко зростає: на початку 2022 року в усьому світі щодня здійснювалося понад 2 000 доставок. Дрони також є екологічно чистими: їхні викиди CO₂ нижчі, ніж у електромобілів і мікроавтобусів, і значно нижчі, ніж у автомобілів з бензиновим двигуном. Однак витрати на робочу силу, пов'язані з доставкою дронами, наразі становлять до 95% від загальної вартості, що поки що не є конкурентоспроможним порівняно з електромобілями та мікроавтобусами. Для того, щоб дрони стали дійсно конкурентоспроможними за ціною, логістичним операторам потрібно буде змістити акцент зі спостереження за повітряним простором на управління дронами, а кількість дронів на одного оператора повинна значно збільшитися. Як тільки ці нововведення будуть впроваджені, регуляторні норми повинні будуть розвиватися, що дозволить використовувати більшу кількість безпілотників на одного оператора, а потенційна економічна перевага доставки за допомогою безпілотників почне зростати. З огляду на потенційні переваги доставки дронами з точки зору вартості та сталого розвитку, компаніям варто розробити чітку стратегію їхнього використання, враховуючи такі фактори, як те, які продукти можна доставляти за допомогою дронів, які регіони матимуть найбільший попит і як дрони можуть сприяти досягненню

Таблиця 1

Переваги використання БПЛА у сфері логістики

| | |
|--|--|
| Підвищення ефективності | Скорочення часу доставки, оскільки БПЛА не залежать від дорожнього руху та можуть прямо переміщатися до місця призначення. Це дозволяє здійснювати більше доставок за менший час. |
| Економія витрат | Зменшення витрат на паливо, обслуговування транспортних засобів та робочу силу, оскільки дрони вимагають менше обслуговування та можуть працювати автономно. |
| Покращення безпеки | Автономність дронів зменшує ризик людських помилок, які можуть призвести до аварійних ситуацій. Використання БПЛА для доставки в небезпечні або важкодоступні зони без ризику для людського життя. |
| Підвищення доступності | БПЛА можуть досягати віддалених та важкодоступних місць. Це робить доставку можливою в місцях з обмеженою інфраструктурою. |
| Підвищення гнучкості | Дрони можуть швидко адаптуватися до змін у технологіях будівництва, що дозволяє логістичним компаніям бути більш реактивними та ефективними. |
| Відстеження в режимі реального часу | Сучасні дрони можуть бути оснащені технологіями GPS та іншими сенсорами, які дозволяють відстежувати їх місцезнаходження та статус вантажів в реальному часі, забезпечуючи більшу прозорість для компаній та клієнтів. |
| Зменшення впливу на довкілля | Дрони можуть зменшити кількість викидів вуглекислого газу, оскільки багато з них працюють на електричній енергії. Це може допомогти компаніям зменшити їхній вуглецевий слід і сприяти сталому розвитку. |
| Оптимізація ланцюга поставок | Завдяки швидкості та гнучкості дронів, компанії можуть оптимізувати свої ланцюги поставок, зменшуючи потребу в складських запасах і забезпечуючи більш швидку реакцію на зміни попиту. |
| Підвищення задоволеності клієнтів | Швидка та точна доставка може значно підвищити рівень задоволеності клієнтів, особливо в епоху електронної комерції, де швидкість будівництва є ключовим фактором. |
| Інтеграція з іншими технологіями | Дрони можуть бути інтегровані з іншими технологіями, такими як Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (AI) та блокчейн, для підвищення ефективності та прозорості логістичних операцій. |
| Розвиток інфраструктури | Для масштабного використання дронів у логістиці може знадобитися розвиток спеціалізованої інфраструктури, такої як зони для злету та посадки, станції зарядки та системи управління повітряним рухом. |
| Законодавча підтримка | Ефективне використання дронів у логістиці вимагає чіткого регулювання, що включає правила повітряного простору, стандарти безпеки та захисту даних. |
| Етичні та соціальні виклики | Важливо враховувати етичні та соціальні аспекти, такі як приватність, безпека та вплив на робочі місця, при впровадженні безпілотних технологій. |

Джерело: власна розробка на основі [4; 7; 11]

цілей компанії в галузі сталого розвитку. Повне використання можливостей доставки за допомогою БПЛА вітчизняними та світовими компаніями сприятиме зростанню переваг у стратегіях доставки, які використовують ці компанії [11].

Загалом, логістика та доставка за допомогою дронів може запропонувати багато переваг порівняно з традиційними методами, зокрема: покращену доступність, швидкість, безпеку та економію коштів. Однак важливо

вказати, що безпілотна логістика все ще є відносно новою технологією у будівельній галузі, і має пройти певний час, перш ніж вона буде широко впроваджена і повністю в неї інтегрована [8].

Дрони та безпілотні автомобілі набувають все більшої популярності в галузі логістики, у тому числі інноваційного застосування в процесах логістичного забезпечення будівництва.

Багато вітчизняних будівельних компаній почали широко використовувати інфор-

Таблиця 2

**Порівняльна характеристика доставки вантажів наземним транспортом
і безпілотним літальним апаратом**

| Основні параметри | Вантажна машина | Вантажний дрон |
|--|------------------------|----------------------------|
| Вантажопідйомність, кг | 4 000 | 5 |
| Відстань на одному заряді/заправці, км | 200 | 10 |
| Час готовності, хв | 60 | 7 |
| Погода | Будь-яка | Вітер до 10 м/с, t до -5 С |
| Залежність від доріг і трафіку | так | ні |

Джерело: власна розробка на основі [3; 5; 11]

маційне моделювання будівель (Building Information Modeling, BIM) – одну з нових хвиль цифрових технологій планування. Будучи сучасним аналогом традиційних креслень, впровадження BIM дає змогу точно бачити хід виконання робіт, оскільки члени проектної команди роблять свій внесок. Щоб переконатися, що система відповідає своєму потенціалу, зміцнюючи робочі процеси на будівельному майданчику, компаніям потрібен спосіб постійного збору точних даних – саме тут на допомогу приходять дрони.

Аналізуючи способи використання дронів у логістичному забезпеченні будівельних організацій, можна оцінити все значнішу роль безпілотної технології в робочих процесах BIM-будівництва [6]:

Будівництво ліній електропередачі. Такі об'єкти складно планувати, оскільки вони повинні покривати велику площу. Якщо підрядники не мають точних даних про місцезнаходження у своєму програмному забезпеченні BIM, вони можуть зіткнутися з проблемами під час роботи. Дрони забезпечують ефективний спосіб створення точних карт місцевості та їх оновлення в міру виконання робіт.

– Встановлення збірних бетонних заглиблень. Щоб правильно встановити збірні заглиблення в бетон, підрядники повинні знати точні дані про їхнє місцезнаходження. Моніторингування за допомогою дрона дає змогу зібрати необхідну інформацію та отримати доступ через BIM-платформу.

– BIM-планування в складній географії. Існує багато факторів, які можуть ускладнити навігацію на місцевості – ділянка може бути віддаленою, мати значні перепади висот або розташовуватися на території, яка суттєво змінюється під час будівництва. БПЛА можуть збирати оновлену інформацію дешевше, ніж це можна було би зробити за допомогою літака, і точніше, ніж за допомогою супутникових знімків.

Дрони стали причиною значних успіхів у логістиці будівництва, коли технологія стала більш поширеною й доступною. Підрядники знайшли для дронів численні функції на будівельному майданчику і використовують зібрані їхніми все більш досконалими сенсорними модулями дані. БПЛА можуть виявитися особливо корисними для вирішення ситуацій, які були б логістично складними для наземних бригад.

Логістика будівельних процесів отримує значні переваги від використання БПЛА, які полягають в наступному:

– Коригування планів будівництва на льоту. Постійно оновлювана BIM-модель для накладання на плани негайно показує підрядникам, якщо вони відхилилися від своїх початкових намірів. Це дає змогу їм вносити корективи на ходу, змінити курс більш ефективно, ніж вносити радикальні зміни на пізніших етапах будівельного процесу.

– Робота з максимально точними даними. Дрони не просто надають своєчасні дані. За використання сучасних сенсорних модулів (підвісів з корисним навантаженням) інформація, що надходить з цих БПЛА, є дуже точною. Кінематика в реальному часі (RTK) – це система, яка використовує дрон, базову станцію і супутник для триангуляції точних даних про місцезнаходження з точністю до сантиметра. Робота з високодеталізованими даними допомагає підрядникам у плануванні на кожному етапі від початкової візуалізації до фінальної перевірки.

– Управління будівельним майданчиком із висоти. Здатність дронів вимірювати більше, ніж просто споруджувану конструкцію, робить їх цінною і економічно ефективною частиною загального обладнання будь-якого підрядника. Дрон, що літає над будівельним майданчиком, може інформувати підрядників про те, де знаходяться об'єкти та матеріали, а також здійснювати поточні перевірки.

Всі ці дані можуть бути завантажені в BIM для доступу всіх зацікавлених сторін, які можуть негайно включити отриману інформацію в свої робочі процеси.

Дрони та самокеровані транспортні засоби мають потенціал для значного покращення логістики завдяки зниженню витрат, підвищенню ефективності та наданню швидших і гнучкіших варіантів доставки. Однак існують певні виклики та обмеження, які необхідно подолати, перш ніж ця технологія набуде широкого поширення [1; 8]. Деякі з головних викликів полягають у наступному:

- **Безпека та правила:** БПЛА повинні володіти здатністю безпечно працювати в багатолюдних міських районах і відповідати нормативним вимогам.

- **Погода та умови навколишнього середовища:** БПЛА повинні працювати в різних погодних умовах і середовищах.

- **Час автономної роботи та запас ходу:** БПЛА повинні мати достатній час автономної роботи і запас ходу для виконання поставок.

- **Навігація та картографія:** БПЛА повинні мати можливість навігації та картографування складних середовищ в режимі реального часу.

- **Безпека даних і конфіденційність:** БПЛА повинні бути здатні захищати конфіденційні дані і зберігати конфіденційність.

- **Вартість:** вартість безпілотників повинна бути знижена, щоб зробити технологію більш доступною і прийнятною для бізнесу.

- **Контроль і обслуговування:** для забезпечення надійності, безпеки та відповідності вимогам безпілотники і транспортні засоби повинні контролюватися і обслуговуватися належним чином.

Однією з найбільших проблем для таких сучасних підприємств є відсутність чітких правил та інструкцій щодо використання дронів та самокерованих транспортних засобів у логістиці. Уряди по всьому світу працюють над створенням правил і керівних принципів для безпечної експлуатації цих транспортних засобів, і ця відсутність ясності може ускладнити компаніям отримання максимальної вигоди від цієї технології. Федеральне управління цивільної авіації США (FAA) наразі працює над регулюванням використання дронів у повітряному просторі США. FAA запропонувала низку правил і рекомендацій щодо експлуатації дронів, включаючи обмеження на висоту, швидкість і вагу, а також вимоги до реєстрації та відстеження дронів [12]. Європейський Союз (ЄС) також запропонував

низку правил для використання дронів, включаючи обмеження висоти, швидкості і ваги дронів, а також вимоги до реєстрації та відстеження дронів. Крім того, ЄС запропонував різні заходи з безпеки [11].

Вимоги до дронів, наприклад, використання технології геозонування для запобігання польотам у заборонених зонах. Однак ці правила все ще перебувають на стадії прийняття, і урядам різних країн світу може знадобитися час, щоб встановити чіткі правила і рекомендації щодо використання дронів і (БПЛА) у логістиці. Відсутність ясності може завадити організаціям повною мірою скористатися перевагами цієї технології. Організації можуть не знати, як дотримуватися чинного законодавства або що дозволено відповідно до нього [14].

Використання дронів і безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у логістиці обіцяє революційні зміни в логістичному забезпеченні будівництва. Ці технології пропонують значне зниження витрат, підвищення ефективності та надання швидших і більш гнучких варіантів доставки та моніторингу.

Однак, разом з потенціалом приходять і виклики та обмеження, які потребують уваги:

- **Регуляторні виклики:** відсутність чітких правил і рекомендацій ускладнює використання дронів для компаній. Уряди працюють над створенням відповідних рамок для безпечної експлуатації цих технологій.

- **Технічні обмеження:** середній час польоту комерційних дронів та радіус дії обмежені, але нові розробки в акумуляторних технологіях, такі як літій-сірчані батареї, можуть збільшити ці параметри.

- **Соціальне сприйняття:** питання безпеки, конфіденційності та впливу на ринок праці можуть викликати опір громадськості, що ускладнює впровадження дронів і БПЛА.

- **Погодні та екологічні умови:** дрони можуть бути чутливими до погодних умов, що обмежує їх використання в деяких регіонах.

- **Навігація і картографія:** точна навігація та картографія є критично важливими для безпечної та ефективної роботи дронів.

- **Безпека і конфіденційність даних:** захист даних, які збирають дрони, є важливим для забезпечення приватності та безпеки.

- **Контроль і технічне обслуговування:** потрібні системи для контролю та обслуговування дронів, щоб забезпечити їх надійність та довговічність.

Однією з найбільших проблем для таких компаній, як Hensel Phelps та STRABAG,

є відсутність чітких правил і рекомендацій щодо використання дронів і безпілотних транспортних засобів у логістиці. Уряди в усьому світі працюють над створенням правил і рекомендацій для безпечної експлуатації цих транспортних засобів, і ця відсутність ясності може ускладнити компаніям отримання максимальної вигоди від цієї технології. Комерційні дрони мають середній час польоту близько 25–30 хвилин і радіус дії близько 3–6 км. Однак технології безпілотників швидко розвиваються, а нові розробки в галузі акумуляторних технологій – використання літєво-сірчаних батарей – мають потенціал для збільшення часу автономної роботи і дальності польоту [11, с. 12]. Сприйняття громадськості також є серйозною перешкодою для компаній, які хочуть використовувати дрони і безпілотні транспортні засоби для логістики і доставки. Громадськість може бути стурбована питаннями безпеки, конфіденційності та безробіття, що може негативно вплинути на впровадження цієї технології. Потенційні переваги безпілотників і самокерованих транспортних засобів у логістиці будівництва є значними, хоча існують значні проблеми та обмеження, які необхідно подолати, щоб ця технологія набула широкого розповсюдження.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Використання інноваційних технологій відіграє вирішальну роль у логістичному забезпеченні будівництва, і використання БПЛА має прямий вплив на загальну ефективність, вартість та безпеку процесу. Традиційні методи, часто стикаються з проблемами обмеженого доступу, затримок та ризиком нещасних випадків через людський фактор. На противагу безпілотна логістика, яка використовує автономні дрони, пропонує можливість покращення доступності, змен-

шення часу доставки, підвищення безпеки та зниження витрат на персонал та паливо. Проте, незважаючи на потенційні переваги, логістика за допомогою дронів все ще перебуває на ранніх етапах розвитку і стикається з викликами, такими як регуляторні обмеження, питання безпеки, надійності та обмеження щодо вантажопідйомності.

Очікується, що з розвитком технологій та удосконаленням законодавчої бази, використання дронів у логістиці будівництва буде зростати. Будівельна індустрія, яка традиційно стикається з високими транспортними витратами, вимогами клієнтів та екологічними проблемами, може значно виграти від впровадження безпілотних технологій, знижуючи витрати та підвищуючи швидкість та надійність доставок. Однак, для масштабного впровадження цих технологій необхідно подолати ряд регуляторних, технічних та фінансових бар'єрів, а також забезпечити необхідні дослідження та розробки для інтеграції нових систем у існуючу логістичну інфраструктуру.

Загалом, використання дронів та безпілотних транспортних засобів у будівництві відкриває захоплюючі перспективи для галузі, обіцяючи значне підвищення ефективності, безпеки та сталості. Ці технології можуть революціонізувати індустрію, роблячи її більш ефективною, економічною та безпечною для всіх учасників ланцюга постачання. Вони пропонують переваги, такі як підвищена доступність, швидкість доставки, безпека, зниження витрат на персонал та паливо, а також можливість відстеження в реальному часі. З розвитком технологій та подальшим удосконаленням, дрони та безпілотні транспортні засоби можуть зіграти все більш важливу роль у майбутньому логістичного забезпечення процесів будівництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Unmanned Aircraft Systems for Logistics Applications / By John E. and other. Santa Monica: RAND Corporation. 2011. 129 p. URL: <https://www.rand.org/pubs/monographs/MG978.html> (дата звернення: 05.04.2024).
2. Про затвердження Правил виконання польотів безпілотними авіаційними комплексами державної авіації України: Наказ Міністерства Оборони України від 08 груд. 2016 р. № 661. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0031-17#Text> (дата звернення: 03.04.2024).
3. Морозова Ю. А. Безпілотні технології в логістиці: досвід застосування, проблеми та перспективи. *Логістика та управління ланцюгами поставок*. 2019. № 4 (93). С. 33–39.
4. Дрони як новітній засіб отримання інформації та перевезення вантажів. URL: <https://patriot-nrg.com/uk/rovitriana-logistyka> (дата звернення: 04.04.2024).
5. Поповиченко І. В. Підвищення ефективності діяльності будівельного підприємства на основі вдосконалення логістичного менеджменту: Монографія. Дніпропетровськ: ПДАБА, 2012. 302 с.
6. Інформаційне моделювання будівель (BIM). URL: <https://bit.ly/3GNKfVP> (дата звернення: 17.03.2024)

7. Шемена В.В. Логістична складова BIM технологій для будівельної сфери. Проблеми підготовки професійних кадрів з логістики в умовах глобального конкурентного середовища – 2020: матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 23–24 жовтня 2020 року). Київ: НАУ, 2020. С. 419–421.
8. Drones in Construction: Current and Future Uses. URL: <https://www.levelset.com/news/drones-in-construction-current-andfuture-uses/> (дата звернення: 25.03.2024)
9. What is BIM (Building Information Modeling) URL: <https://constructible.trimble.com/construction-industry/what-is-bimbuilding-information-modeling> (дата звернення: 19.03.2021)
10. Will VR revolutionise the construction industry? URL: <https://www.procore.com/jobsite/will-vr-revolutionisethe-construction-industry/> (дата звернення: 20.03.2024)
11. Бондар Д. В., Гурник А. В., Литовченко А. О., Хижняк В. В., Шевченко В. Л., Ядченко Д. М. Застосування безпілотних авіаційних систем у сфері цивільного захисту: Монографія. Київ : ГО «Європейська наукова платформа», 2022. 312 с.
12. EASA опублікувала правила ЄС щодо дронів. URL: <https://cedem.org.ua/news/pravyla-yes-shhodo-droniv>

REFERENCES:

1. Unmanned Aircraft Systems for Logistics Applications / By John E. and other. Santa Monica: RAND Corporation. 2011. 129 p. Available at: <https://www.rand.org/pubs/monographs/MG978.html> (accessed April 05, 2024)
2. Pro zatverdzhennia Pravyl vykonannia polotiv bezpilotnyimi aviatsiynymi kompleksamy derzhavnoi aviatsii Ukrainy: Nakaz Ministerstva Oborony Ukrainy vid 08 hrudnia 2016 roku. № 661 [On the approval of the Rules for the execution of flights by unmanned aircraft complexes of the state aviation of Ukraine: Order of the Ministry of Defense of Ukraine dated December 8, 2016. No. 661.] Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0031-17#Text> (accessed April 03, 2024). (in Ukrainian)
3. Morozova Yu. A. (2019) Bezpilotni tekhnolohii v lohistytsi: dosvid zastosuvannia, problemy ta perspektyvy [Unmanned technologies in logistics: application experience, problems and prospects]. *Lohistyka ta upravlinnia lantsiuhamy postavok*, vol. 4 (93), pp. 33–39. (in Ukrainian)
4. Drony yak novitnii zasib otrymannia informatsii ta perevezennia vantazhiv [Drones as the newest means of obtaining information and transporting goods]. Available at: <https://patriot-nrg.com/uk/povitriana-logistyka> (accessed April 04, 2024). (in Ukrainian)
5. Popovychenko I. V. (2012) Pidvyshchennia efektyvnosti diialnosti budivelnoho pidpriemstva na osnovi vdoskonalennia lohistychnoho menedzhmentu [Increasing the efficiency of the construction enterprise based on the improvement of logistics management]: Dnipropetrovsk: PDABA, 302 p. (in Ukrainian)
6. Informatsiine modeliuvannia budivel (BIM) [Information modeling of buildings (BIM)]. Available at: <https://bit.ly/3GNKfVP> (accessed March 17, 2024). (in Ukrainian)
7. Shemena V. V. (2020) Lohistychna skladova VIM tekhnolohii dlia budivelnoi sfery [Logistics component of VIM technologies for the construction sector] *Problemy pidhotovky profesiinykh kadrov z lohistyky v umovakh hlobalnoho konkurentnoho seredovyscha*. Kyiv: National Academy of Sciences, pp. 419–421. (in Ukrainian)
8. Drones in Construction: Current and Future Uses. Available at: <https://www.levelset.com/news/drones-in-construction-current-andfuture-uses/> (accessed March 25, 2024).
9. What is BIM (Building Information Modeling) Available at: <https://constructible.trimble.com/construction-industry/what-is-bimbuilding-information-modeling>. (accessed March 19, 2024).
10. Will VR revolutionise the construction industry? Available at: <https://www.procore.com/jobsite/will-vr-revolutionisethe-construction-industry/> (accessed March 20, 2024).
11. Bondar D. V., Hurnyk A. V., Lytovchenko A. O., Khyzhniak V. V., Shevchenko V. L., Yadchenko D. M. (2022) Zastosuvannia bezpilotnykh aviatsiinykh system u sferi tsyvilnoho zakhystu [Application of unmanned aerial systems in the field of civil protection]. Kyiv: Non-governmental organization "European Scientific Platform", 312 p.
12. EASA opublikovala pravyla YeS shhodo droniv [EASA has published EU regulations on drones]. Available at: <https://cedem.org.ua/news/pravyla-yes-shhodo-droniv/> (accessed April 10, 2024). (in Ukrainian)