

УДК 624:629.7

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.300824.54.1074

## БЕЗПЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОБСТЕЖЕННЯ МОСТОВИХ СПОРУД

ЖИВЦОВА Л. І., канд. техн. наук., доц.

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 756-33-19, e-mail: [zhyvtsova.liudmyla@pdaba.edu.ua](mailto:zhyvtsova.liudmyla@pdaba.edu.ua), ORCID ID:0000-0002-6176-1781

**Анотація. Постановка проблеми.** У сучасному світі технології швидко впроваджуються в різні сфери нашого життя, надаючи нові можливості і підвищуючи ефективність різних процесів. Однією з таких технологій стали безпілотні літальні апарати, які здобувають все більшу популярність у сфері інженерії та будівництва. Безпілотні літальні апарати виявляються надзвичайно корисними в обстеженні мостових споруд, де безпека та ефективність є критичними чинниками. **Мета статті** полягає у розгляді переваг використання безпілотних літальних апаратів у процесі обстеження мостових споруд та їх впливу на підвищення безпеки та продуктивності цього процесу; наведено фотоматеріали стану деяких мостових споруд на території України. **Висновки.** В сучасному світі одним з актуальних способів отримання інформації стали безпілотні літальні апарати. Їх використання з технологіями штучного інтелекту – це один з ефективних інструментів для обстеження мостових споруд. Разом вони можуть значно швидше обстежити об'єкт та точно визначити можливі габарити пошкоджень за побудованою тривимірною моделлю. Отримані дані з об'єкта обстеження дозволяють керувати ресурсами та раціонально планувати технічне обслуговування і ремонт мостових споруд. Підвищуються якість та темпи обстеження як підводної, так і наземної частини мостових опор. Безпілотні літальні апарати – дуже ефективний інструмент для обстеження мостових споруд, але важливо бути свідомими їх обмежень і вирішувати відповідні проблеми з урахуванням конкретних умов і вимог проекту. Аналіз та оцінювання пошкоджених споруд простіше вести, якщо є реальна картина обстеження, знята з висоти кількох метрів.

**Ключові слова:** безпілотні літальні апарати, дрони; мостові споруди; гібридні літальні апарати; штучний інтелект; обстеження; конструкції; пошкодження

## UNMANNED AERIAL VEHICLES AS AN EFFECTIVE TOOL IN THE INSPECTION OF BRIDGE STRUCTURES

ZHYVTSOVA L.I., *Cand. Sc. (Tech.), Sen. Lect.*

Automation and Computer-Integrated Technology Department, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 756-33-19, e-mail: [zhyvtsova.liudmyla@pdaba.edu.ua](mailto:zhyvtsova.liudmyla@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-6176-1781

**Abstract. Statement of the problem.** In today's world, technologies are rapidly being introduced into various spheres of our lives, providing new opportunities and increasing the efficiency of various processes. One such technology is unmanned aerial vehicles, which are gaining more and more popularity in the field of engineering and construction. Drones prove to be extremely useful in surveying bridge structures, where safety and efficiency are critical factors. **The purpose of the article** is to consider the advantages of using unmanned aerial vehicles in the process of inspecting bridge structures and their impact on improving the safety and productivity of this process, photo materials of the state of some bridge structures on the territory of Ukraine are given. **Conclusions.** In the modern world, one of the most relevant ways to obtain information is unmanned aerial vehicles. Their use, with artificial intelligence technologies, is one of the most effective tools in the inspection of bridge structures. Together, they can quickly inspect the object and accurately determine the possible dimensions of damage according to the built three-dimensional model. The data obtained from the object of inspection allow you to manage resources and rationally plan the maintenance and repair of bridge structures. The quality and pace of inspection of both underwater and ground parts of bridge supports are improving. The UAV is capable of inspecting more than 70 km of the flight route in an hour. Drones are a very effective tool for surveying bridge structures, but it is important to be aware of their limitations and solve related problems based on the specific conditions and requirements of the project. It is easier to analyze and evaluate damaged structures as there is a real picture of the survey, taken from a height of some meters.

**Keywords:** unmanned aerial vehicles; drones; bridge structures; hybrid aircraft; artificial intelligence; inspection; structures; damage

**Постановка проблеми.** У сучасному світі нові технології швидко впроваджуються в різні сфери нашого життя, надаючи нові можливості і підвищуючи ефективність різних процесів. Однією з таких технологій стали безпілотні літальні апарати (БПЛА), які здобувають все більшу популярність у сфері інженерії та будівництва. Безпілотні літальні апарати виявляються надзвичайно корисними для обстеження мостових споруд, де безпека та ефективність є критичними чинниками.

**Аналіз публікацій.** Питаннями розроблення та використання безпілотних літальних апаратів займаються як вітчизняні, так і зарубіжні дослідники [1–8].

Так, квадрокоптер Elios, у Міннесоті, США, задіяний для перевірки потенційних проблем у важкодоступних просторах між балками в обмежених коробчастих балках мостів [1], зекономив компанії час, ресурси, кошти та сприяв безпечному обстеженню споруд. Зібрані фото- та відеоматеріали дозволили спеціалістам оцінити реальний стан мостових споруд [1].

Дрон-трансформер DRAGON, розроблений японськими інженерами, має конструкцію, що складається з декількох сегментів. Він може змінювати форму у польоті, здійснювати захват предмета та повертати вентиля [4].

Дрон Dahua здійснює огляд усього периметра моста, фіксує дані для аналізу руйнувань, наявності вимивання тощо. Здатен працювати за швидкості вітру 7.0 [5].

Інтелектуальний БПЛА – Leica Aibot – простий у використанні, робить якісні фото, відеозйомку, там де не зможе побачити та дістатися людина. Leica Aibot здатний передавати дані аеровізуального спостереження одразу до офісу [6].

Використання гібридних літальних апаратів, що ефективно функціонують як на землі, так і в повітрі, дозволяє розширити область спостереження споруд.

За допомогою октокоптера Naviator спеціалісти оглянули стан Меморіального моста, що з'єднує штати Делавер та Нью-

Джерсі, включаючи підводну частину його опор. Його розробниками стали Ратгерський університет спільно зі стартапом SubUAS [4].

В інституті Джорджії (США) розроблено дрон – GTO-Cormorant, що здатен літати, сідати на воду, занурюватися на задану глибину, а потім спливати і злітати [4; 7].

В Україні відомі розробки Придніпровської державної академії будівництва та архітектури [8].

**Мета статті** полягає у розгляді переваг використання безпілотних літальних апаратів у процесі обстеження мостових споруд та їх впливу на підвищення безпеки та продуктивності цього процесу. Наведені фотоматеріали стану деяких мостових споруд на території України.

**Основний матеріал.** На території України є понад ніж 24 тис. мостових споруд [9], більшість із яких збудовані давно, тож не перебувають в задовільному технічному стані.

На рисунку 1 наведено загальний вигляд одного з мостів на території України.



*Рис. 1. Загальний вигляд моста*

Подальша їх експлуатація потребує обстеження, виявлення дефектів та пошкоджень, що знижують їх довговічність та вантажопідйомність. Неналежна експлуатація мостових споруд може спричинити небезпечні ситуації.

Найбільш уразливі мости обстежуються щороку, але більшість мостових споруд перевіряються кожні два роки. Обстеження виконують організації, випробувальні лабораторії, які мають ліцензію на

виконання цих видів робіт [10]. Мета – виявлення тріщин у бетоні, проблеми з підшипниками або рух мосту, що свідчить про необхідність детального обстеження.

Технічний стан мостових споруд визначається візуальним і візуально-інструментальними методами [11–13]. На рисунку 2, 3 наведено деякі дефекти та пошкодження мостових споруд.



Рис. 2. Виявлені дефекти опор мостових споруд



Рис. 3. Виявлені дефекти мостових споруд

Залучаються спеціально навчені працівники, обладнання та спецтехніка. А саме, спеціальний оглядовий візок, що здатен підніматися на 3 м від поверхні та долати ухили 45°, або ж спеціальний автомобіль з маніпулятором. Вартість такого обладнання понад 600 000 доларів, а оренда на день складає більше 2 500 доларів [1]. При цьому необхідно витратити багато часу та дотримуватися техніки безпеки.

Наявність спеціального обладнання та техніки не гарантує обстеження всього важкодоступного обмеженого простору під мостом, його несних конструкцій та опор.

Крім того, застосування трапів і риштовань для візуального контролю залізобетонних плит проїжджої частини мосту, які спираються на коробчасті балки, небезпечно в цих умовах роботи.



Рис. 4. БПЛА – гексакоптер Leica Aibot (фото [6])

Отже, використання БПЛА різного роду та конструкції більш ефективно та актуальне порівняно з традиційними методами обстеження мостових споруд. Вчасне обстеження та наступний ремонт збільшить термін служби мостів та відновить їх вантажопідйомність [7; 14]. Один з таких БПЛА [6] показано на рисунку 4.

БПЛА полегшують та поліпшують процес визначення стану і безпеки мостових споруд а саме:

- усувають необхідність для працівників обстежувати мостові споруди на висоті або в ускладнених умовах, що знижує ризик нещасних випадків і травм, забезпечуючи можливість виконання робіт із землі;

- безпілотні літальні апарати швидко проникають у важкодоступні місця і здійснюють детальну зйомку з різних кутів огляду, здатні зависати над об'єктами, віддалятися, наближатися до об'єкта, рухаючись будь-якою траєкторією;

- безпілотні літальні апарати оснащені високоякісними камерами та сенсорами, які забезпечують високороздільні зображення та відео, що дозволяє отримувати детальну інформацію про будь-які дефекти, пошкодження або зношення мостової конструкції для подальшого аналізу та планування ремонтних робіт;

- використання безпілотних літальних апаратів може знизити витрати на персонал та обладнання;

- автоматизовані дрон-програми дозволяють планувати маршрути обстеження мостових споруд, що значно спрощує процес і забезпечує більш системний підхід до оцінювання стану інфраструктури.

Під час обстеження споруд безпілотні літальні апарати збирають величезні обсяги

даних. Їх переглядають та аналізують фахівці. Але через велике навантаження вони можуть упустити важливі деталі обстеження мостових споруд. З цієї причини розглядаються деякі можливості створення системи штучного інтелекту, яка могла б автоматично аналізувати зібрану інформацію.

Саме тому створено технологію дистанційної діагностики пошкоджених об'єктів за допомогою БПЛА та фотограмметрії. Її розробниками стали вчені Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона Національної академії наук України [15; 16].

Створено спеціальну комп'ютерну програму аналізу фотозйомки, за допомогою якої можна визначити можливі пошкодження та що потрібно зробити, щоб їх виправити. Тривимірна модель моста дає можливість вимірювати розміри можливих пошкоджень. Також планується створення нейронної мережі для розпізнавання пошкоджень об'єкта [15; 16].

Використання безпілотних літальних апаратів має безліч переваг в обстеженні мостових споруд. Та є і недоліки в їх використанні:

– дрони мають обмежений час польоту, через обмежену ємність акумулятора, що вимагає перерви для підзарядки за час тривалого обстеження;

– для безпілотних літальних апаратів небезпеку становлять погодні умови, такі як сильний вітер, дощ або туман, що можуть обмежити їх ефективність або спричинити втрату зв'язку з оператором;

– обмежена видимість безпілотних літальних апаратів може ускладнити навігацію та збір даних;

– робота з дроном вимагає наявності кваліфікованих операторів, які володіють не

лише навичками польоту, а й знаннями з технічного обслуговування та аналізу отриманих даних;

– деякі безпілотні літальні апарати передають дані через бездротові мережі, тож існує ризик злому або перехоплення цих даних, що може порушити конфіденційність інформації про обстежувану інфраструктуру.

## Висновок

У сучасному світі одним з актуальних способів отримання інформації, стали безпілотні літальні апарати. Їх використання разом із технологіями штучного інтелекту – це один з ефективних інструментів для обстеження мостових споруд.

Разом вони можуть значно швидше та точніше визначити можливі габарити пошкоджень за побудованою тривимірною моделлю.

Отримані дані з об'єкта обстеження дозволяють керувати ресурсами та раціонально планувати технічне обслуговування і ремонт мостових споруд.

Підвищується якість та темпи обстеження як підводної, так і наземної частини мостових опор. БПЛА здатен за годину обстежити понад 70 км льотного маршруту [8].

Зменшуються витрати на використання людських ресурсів, їх безпеку під час роботи у важкодоступних просторах між балками.

Безпілотні літальні апарати – дуже ефективний інструмент для обстеження мостових споруд, але важливо бути свідомими їх обмежень і вирішувати відповідні проблеми з урахуванням конкретних умов і вимог проекту.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Обследование промышленным противодарным квадрокоптером Elios мостов и путепроводов. URL: <http://surl.li/skmgc>
2. Дрон DJI Matrice 210. URL: <http://surl.li/skmhm>
3. Поддержка с воздуха. URL: <http://surl.li/skmib>
4. Сычов В. Дрона впервые использовали для осмотра моста. И под водой тоже. URL: <http://surl.li/skmg0>
5. Дрон Dahua X820 гарантирует общественную безопасность. URL: <http://surl.li/skmhd>
6. БПЛА – гексакоптер Leica Aibot. URL: <http://surl.li/skmht>

7. Судас М. И. Обследование моста с помощью дрона. URL: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/52852/OBSLEDOVANIE\\_MOSTA\\_S\\_POMOSHCHYU\\_DRONA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/52852/OBSLEDOVANIE_MOSTA_S_POMOSHCHYU_DRONA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
8. Bulat A. F., Bunko T. V., Shatov S. V., Kokoulin I. Ye., Yashchenko I. O., Papirnyk R. B. Using the uav for inspecting accident sites and threatened areas in case of emergency situations occurred in coal mines and on build objects. *Геотехнічна механіка*. 2018. № 14. С. 27–40. URL: <https://doi.org/10.15407/geotm2018.141.027>
9. Комісія з перевірки стану мостів: представлено попередні висновки. *Урядовий портал.gov.ua*. URL: <http://surl.li/skmfo>
10. Мосты и трубы. обследование и испытание. ДБН В.2.3-6-2002. Государственный комитет Украины по строительству и архитектуре. Киев : Госстрой Украины, 2002
11. Гураль О., Ясний В. П. Використання безпілотних літальних апаратів для обстеження будівель і споруд. Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання : матер. V Міжнар. студ. наук.-техн. конф. 28–29 квітня 2022 р. С. 139–140.
12. Якименко О. В., Кіктьова К. О. Технічна експлуатація будівель та споруд. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 247 с.
13. Iasnii V., Havryshko S. Unmanned aerial vehicles as an effective tool for determining damages to buildings and structures. *Воєнні конфлікти та техногенні катастрофи: історичні та психологічні наслідки* : III Міжнар. наук. конф. С. 165–166.
14. Макаров А. В., Крошнева Е. В., Файзалиев А. Ф., Павлова М. А., Лепехина Д. М. Обследование мостовых сооружений с помощью современного оборудования. *Инженерный вестник Дона : электр. науч. журнал*. № 7. 2021. URL: <http://surl.li/skl1f>
15. Галата С. Критична інфраструктура: діагностувати пошкодження за допомогою БПЛА та штучного інтелекту. Національний фонд досліджень України. 27 жовтня 2023. URL: <http://surl.li/tqpsl>
16. В Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона розробляють технології діагностики інфраструктурних об'єктів за допомогою БПЛА та фотограмметрії. НАН України. 05.09.2023. URL: <http://surl.li/tqpsb>

## REFERENCES

1. *Obsledovanye promyshlennym protyvoudarnym kvadrokopterom Elios mostov y puteprovodov* [Elios industrial shockproof quadcopter survey of bridges and overpasses]. URL : <http://surl.li/skmgc> (in Russian).
2. *Dron DJI Matrice 210* [Dron DJI Matrice 210]. URL : <http://surl.li/skmhm> (in Russian).
3. *Podderzhka s vozdukh*. [Air support]. URL : <http://surl.li/skmib> (in Russian).
4. Sychev V. *Drona v pervye yspolzovaly dlia osmotra mosta. Y pod vodoi tozhe* [This is the first time a drone has been used to inspect a bridge. And underwater, too]. URL : <http://surl.li/skmg0> (in Russian).
5. *Dron Dahua X820 harantyrue obshchestvennuu bezopasnost* [Dahua X820 drone ensures public safety]. URL: <http://surl.li/skmhd> (in Russian).
6. *BPLA – heksakopter Leica Aibot*. [UAV – hexacopter Leica Aibot]. URL : <http://surl.li/skmht> (in Russian).
7. Sudas M.I. *Obsledovanye mosta s pomoshchiu drona* [A drone survey of the bridge]. URL: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/52852/OBSLEDOVANIE\\_MOSTA\\_S\\_POMOSHCHYU\\_DRONA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/52852/OBSLEDOVANIE_MOSTA_S_POMOSHCHYU_DRONA.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (in Russian).
8. Bulat A.F., Bunko T.V., Shatov S.V., Kokoulin I.Ye., Yashchenko I.O. and Papirnyk R.B. *Vykorystannia bezpilotnykh litalnykh aparativ dlia obstezhennia avariinykh ta zahrozlyvykh dilnyts pry vynykenni avariinykh sytuatsii u vuhilnykh shakhtakh i na budivelnykh ob'iektakh* [Using the uav for inspecting accident sites and threatened areas in case of emergency situations occurred in coal mines and on build objects]. *Heotekhnichna mekhanika* [Geotechnical Mechanics]. 2018, no. 14, pp. 27–40. URL: <https://doi.org/10.15407/geotm2018.141.027> (in Ukrainian).
9. *Komisiia z perevirky stanu mostiv: predstavleno poperedni vysnovky*. [Bridge inspection commission: preliminary findings presented]. *Uriadovi portal gov.ua*. [Government portal.gov.ua]. URL : <http://surl.li/skmfo> (in Ukrainian).
10. *Mosty i truby. obstezhennia ta vyprobuvannia. DBN V.2.3-6-2002. Derzhavnyi komitet Ukrainy z budivnytstva ta arkhitektury*. [Bridges and pipes. Inspection and testing. DBN V.2.3-6-2002. State Committee of Ukraine for Construction and Architecture]. Kyiv : Gosstroy of Ukraine, 2002. (in Ukrainian).
11. Hural O. and Iasnii V. *Vykorystannia bezpilotnykh litalnykh aparativ dlia obstezhennia budivel i sporud* [Using unmanned aerial vehicle for inspection of buildings and structures]. *Pryrodnychi ta humanitarni nauky. Aktual'ni pytannya : mater. V Mizhnar. stud. nauk.-tekh. konf.* [Natural Sciences and Humanities. Current Issues : proceedings of the V International student scientific and technical conference]. 28–29 April 2022, pp. 139–140 (in Ukrainian).
12. Yakymenko O.V. and Kiktova K.O. *Tekhnichna ekspluatatsiia budivel ta sporud* [Maintenance of buildings and structures]. Kharkiv : KhNUMH A.M. Beketov, 2019, 247 p. (in Ukrainian).
13. Iasnii V. and Havryshko S. *Bezpilotni litalni aparaty yak efektyvnyi instrument dlia otsiniuvannia poskodzhen ob'iektiv* [Unmanned aerial vehicles as an effective tool for determining damages to buildings and structures]. *Voyenni konflikty ta tekhnohenni katastrofy: istorychni ta psykholohichni naslidky : III Mizhnar. nauk. konf.* [Military conflicts and man-made disasters: historical and psychological consequences : III International scientific conference]. Pp. 165–166. (in Ukrainian).

14. Makarov A.V., Kroshneva E.V., Faizaliev A.F., Pavlova M.A. and Lepekhina D.M. *Obsledovanye mostovykh sooruzheniy s pomoshchyu sovremennoho oborudovaniya* [Inspection of bridge structures using modern equipment]. *Inzhenernyy vestnik Dona : elektr. nauch. Zhurnal* [Engineering Vestnik Don : electronic scientific journal]. No. 7, 2021. URL: <http://surl.li/skl1f> (in Ukrainian).

15. Halata S. *Krytychna infrastruktura : diahnostuvaty poskodzhennia za dopomohou BPLA ta shtuchoho intelektu* [Critical infrastructure : diagnose damage using UAVs and artificial intelligence. National research foundation of Ukraine]. 27 October 2023. URL: <http://surl.li/tqpsl> (in Ukrainian).

16. *V Instytuti elektrozvariuvannia im. Ye. O. Patona rozrobliaiut tekhnologii diahnostyky infrastrukturykh ob'ektiv za dopomohou BPLA ta fotohrammetrii* [E.O. Paton Institute of Electric Welding is developing technologies for diagnosing infrastructure facilities using UAVs and photogrammetry]. National Academy of Sciences of Ukraine, 05.09.2023. URL: <http://surl.li/tqpsb> (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 13.04.2024.