

DOI: 10.32347/2786-7269.2026.16.377-388

УДК 528.8

к.т.н., доцент **Бачишин Б.Д.**,  
b.d.bachyshyn@nuwm.edu.ua, ORCID: 0009-0009-1961-7776,  
Національний університет водного господарства  
та природокористування м. Рівне,  
**Лопушанський В.М.**,  
vl@uadamage.com, ORCID: 0009-0003-4472-940X,  
**Левчук А.В.**,  
al@uadamage.com, ORCID: 0009-0007-1239-4333,  
ТОВ «ЮАДЕМЕДЖ», м. Київ,  
**Філімонова В.С.**,  
filimonova\_az21@nuwm.edu.ua, ORCID: 0009-0008-5755-1678,  
Національний університет водного господарства  
та природокористування м. Рівне.

## **ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНКИ ПОШКОДЖЕНЬ СПОРУД ЗА ДАНИМИ ЗНІМАННЯ БПЛА НА ПРИКЛАДІ СЕЛА ПОСАД-ПОКРОВСЬКЕ ХЕРСОНСЬКОГО РАЙОНУ**

*Війна московитів проти України та української ідентичності призвела до руйнування величезної кількості будівель, споруд, інфраструктурних об'єктів, знищення цілих населених пунктів, зміни природних та агроландшафтів. За даними [1] прямі збитки інфраструктури від руйнувань станом на листопад 2024 року становили близько 170 000 000 000 \$. Звичайно, що на відміну від людських втрат, економічні втрати можна відновити. Першочерговим етапом відновлення є оцінка рівнів та обсягів руйнувань і пошкоджень та розрахунок вартості відновлюваних робіт. Найбільш затребуваними є і будуть технології, які базуються на використанні безпілотних літальних апаратів (БПЛА), адже вони забезпечують точність, оперативність, безпечність та меншу вартість робіт.*

*Мета цієї роботи – розробка і дослідження технології оцінки пошкоджень споруд за даними знімання БПЛА як нагальної, важливої наукової та архіважливої практичної задачі.*

*Запропонований технологічний ланцюжок включає знімання БПЛА літакового типу з монокрилом Скіф, побудову ортофотоплану в середовищі Pix4Dmapper, векторизацію будівель в Qantum GIS, візуальну оцінку рівня пошкоджень споруд, автоматичну оцінку пошкоджень на платформі UADAMAGE та донавчання штучних нейронних мереж на основі даних*

візуальної оцінки. Розроблена технологія апробована на спорудах села Посад-Покровське Херсонського району.

*Ключові слова:* оцінка руйнувань; знімання; БПЛА; ортофотоплан; геоінформаційне програмне забезпечення, штучні нейронні мережі.

**Постановка проблеми.** Війна московитів проти України та української ідентичності призвела до руйнування величезної кількості будівель, споруд, інфраструктурних об'єктів, знищення цілих населених пунктів, зміни природних та агроландшафтів. За даними [1] прямі збитки інфраструктури від руйнувань станом на листопад 2024 року становили близько 170 000 000 000 \$. На момент написання статті ця злочинна агресія не припиняється, тому обсяги руйнувань ще зростають. Звичайно, що на відміну від людських втрат, економічні втрати можна відновити. Першочерговим етапом відновлення є оцінка рівнів та обсягів руйнувань та пошкоджень та розрахунок вартості відновлюваних робіт. Найбільш затребуваними є і будуть технології, які забезпечують точність, оперативність, безпечність робіт та меншу ціну моніторингу руйнувань. На перший план виступають методики, які базуються на використанні безпілотних літальних апаратів (БПЛА) [2], тому що вони повністю відповідають вищезгаданим критеріям.

Тому розробка і дослідження методики оцінки пошкоджень споруд за даними знімання БПЛА є нагальною, важливою науковою та архіважливою практичною задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Правове забезпечення та узагальнені технічні вимоги виконання робіт з оцінки руйнувань будівель та споруд висвітлені в нормативних документах Кабінету Міністрів України [3, 4].

На основі супутникових знімків Sentinel-2 виявлено загальні суттєві трансформації природного та антропогенного середовища за час війни в Донецькій області [5], зокрема деградацію рослинного покриву внаслідок вибухів та пожеж, збільшення площ урбанізованих територій, що зазнали руйнувань. За відкритими даними супутникових знімків Sentinel-1A Sentinel-2A/B та Landsat-8/9 автори [6] дослідили, що близько 79,2% будівель у місті Маріуполь були сильно пошкоджені або повністю зруйновані. Дані супутникового радара із синтезованою апертурою Sentinel-1 SAR в поєднанні з методом радарної інтерферометрії (InSAR) дозволили авторам [7] створити, за їх словами, надійну та швидку систему моніторингу для виявлення повоєнних пошкоджень міста Мосул в Іраку. За період воєнних дій 2014–2017рр було пошкоджено 40% усієї території міста. Комбінація радарних даних супутника Sentinel-1 та оптичних зображень Sentinel-2 використана в джерелі [8] для оцінки пошкоджень під час війни будівель у Києві, Ірпені, Бучі і Гостомелі.

Слід зауважити, що результати досліджень [5–8] дають узагальнені дані про руйнування міської території, адже роздільна здатність цих супутникових знімків 10 м і більше не дозволяє оцінити руйнування конкретного малого приватного будинка. Очевидними є й переваги цих досліджень, як дистанційних методів, які дозволяють проводити оцінку руйнувань навіть під час воєнних дій.

Високоточні результати та можливість оцінки рівня руйнувань окремих елементів споруди забезпечує технологія, описана в [9], яка базується на використанні ВІМ моделі споруди. Проте вона вимагає наявності в ВІМ координатної просторової інформації про елементи споруди до періоду руйнування та передбачає виконання знімків наземними методами, що значно здорожчує цю технологію і робить її ефективною для нетипових складних за конструкцією споруд.

На фоні цих методів використання знімків БПЛА видається найбільш ефективною технологією для масових оцінок руйнувань конкретних будинків.

**Актуальність цього дослідження** полягає в тому, що швидка, якісна, безпечна та дешева відносно інших методів, оцінка пошкоджень будівель за матеріалами знімання БПЛА є архіважливою та нагальною задачею для визначення обсягів руйнувань та планування заходів відбудови країни у післявоєнний період.

**Метою** цієї роботи є розроблення технології оцінки руйнувань будівель та споруд за даними знімання БПЛА на прикладі села Посад-Покровське Херсонського району.

**Виклад основного матеріалу.** Об'єктом дослідження є територія села Посад-Покровське Чорнобаївської територіальної громади, яке розташоване в Херсонському районі Херсонської області. Загальна площа населеного пункту становить близько 4,6 кв.км., чисельність населення – 800 осіб (до окупації 2200 осіб). Крім приватних житлових та господарських будівель, на території села розміщені: сільський будинок культури, церква, загальноосвітня школа I–II ступенів, спортивний комплекс, фельдшерсько-акушерський пункт, аптека, відділення зв'язку, продуктові магазини, АЗС, станція технічного обслуговування автомобілів, фермерські господарства, сільськогосподарські підприємства та склади. Під час війни були пошкоджені житлові споруди, господарські приміщення та об'єкти соціальної інфраструктури.

Для моніторингу пошкоджень будівель та споруд запропоновано таку технологічну схему (рис.1). Для отримання актуальної топографічної інформації було виконано знімання території безпілотним літальним апаратом літакового типу з монокрилом "Скіф". З його технічними характеристиками можна ознайомитися тут [10]. Польоти виконувалися на висоті 500 м, що

дозволило отримати знімки масштабу 1:14300. Знімання проводили у надирному напрямку з поперечним та поздовжнім перекриттям знімків 70%.

Для створення ортофотоплану аерофотознімки були імпортовані до програмного забезпечення Pix4Dmapper [11]. Цей модуль автоматично виявляє зв'язні точки на знімках, здійснює їх зіставлення між кадрами, калібрує внутрішні параметри камери та орієнтує знімки у просторі, використовуючи GPS-дані. Є можливість імпорту опорних точок місцевості та їх маркування.

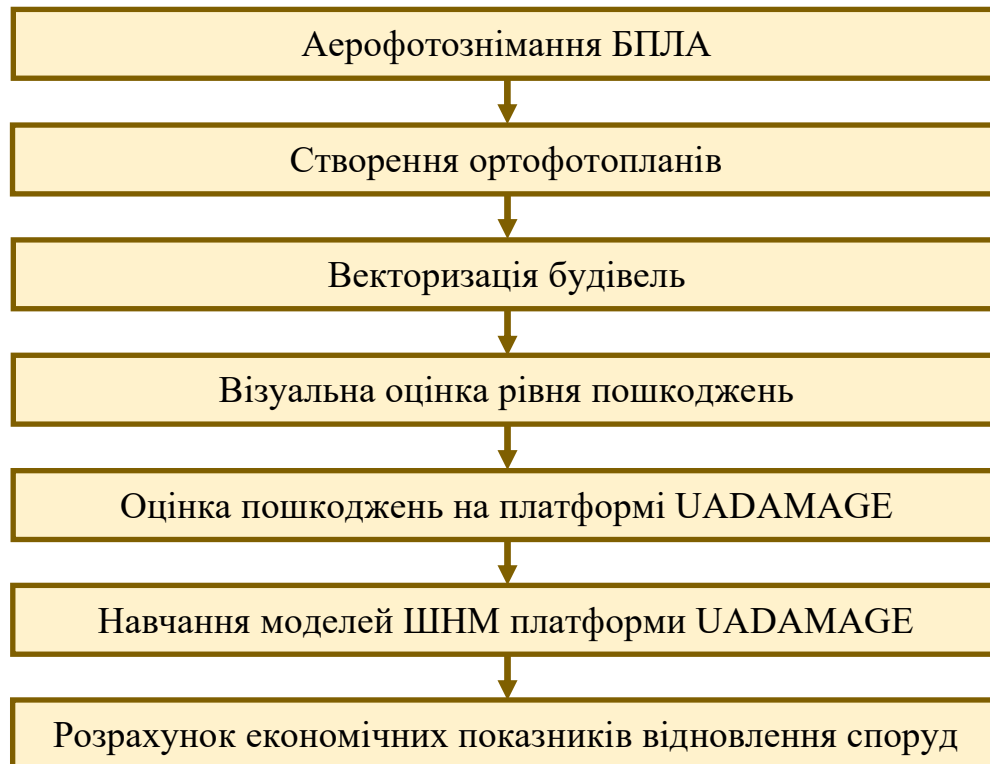


Рис.1. Технологічна схема моніторингу пошкоджень будівель

За матеріалами знімання було створено щільну хмару 3D точок, яка відтворює тривимірну модель місцевості, що дає змогу візуалізувати зруйновані об'єкти, проводити вимірювання та класифікацію об'єктів. Фінальним етапом обробки є створення ортофотоплану (рис.2).

Ортофотоплан села Посад-Покровське імпортовано в програмний комплекс Qantum GIS (QGIS) [12], де було здійснено векторизацію усіх будівель. Їх загальне число 3927. До таблиці атрибутів векторного шару будівель додано такі поля: GlobalID – ідентифікатор, площа, код класифікації руйнування, класифікація руйнування, функціональне призначення, тип будівлі.

Оцінка пошкоджень будівель базується на аналізі текстур, геометрії, тіней та уламків. Коли оцінка руйнувань здійснюється візуально людиною, то

можливе використання 5 рівнів пошкоджень, відповідно до яких код класифікації руйнування може набувати одного з 5 значень: 1, 2, 3, 4, 5 [13]:

**1 Немає видимих пошкоджень** – будівля виглядає цілком неушкодженою: дах цілий, стіни стоять, відсутні зовнішні ознаки руйнування, як-от уламки чи вирви поблизу (рис.3 (1)). Проте це не виключає можливих внутрішніх пошкоджень, які не можна ідентифікувати з висоти;



Рис.2. Ортофотоплан села Посад-Покровське.

**2 Ймовірне руйнування** – наявні ознаки можуть свідчити про руйнування (рис.3 (2)), але їх інтерпретація ускладнена через низьку якість знімків (наприклад, тіні, низька роздільна здатність, незручний ракурс) або через непрямі вказівки, як-от щербинь чи сміття поряд;

**3 Помірні (незначні) пошкодження** – виявлено часткові руйнування даху, обвалення димарів, присутність уламків навколо, однак основна структура (стіни) збереглася (рис.3 (3)).;

**4 Значні пошкоджені** – значне порушення конструкції: обвалення частини даху чи стін, але будівля ще не повністю зруйнована (рис.3 (4)).;

**5 Повністю зруйновано** – більше ніж половина будівлі зруйнована або вона обвалилася до фундаменту. Відновлення конструкції неможливе (рис.3 (5)).

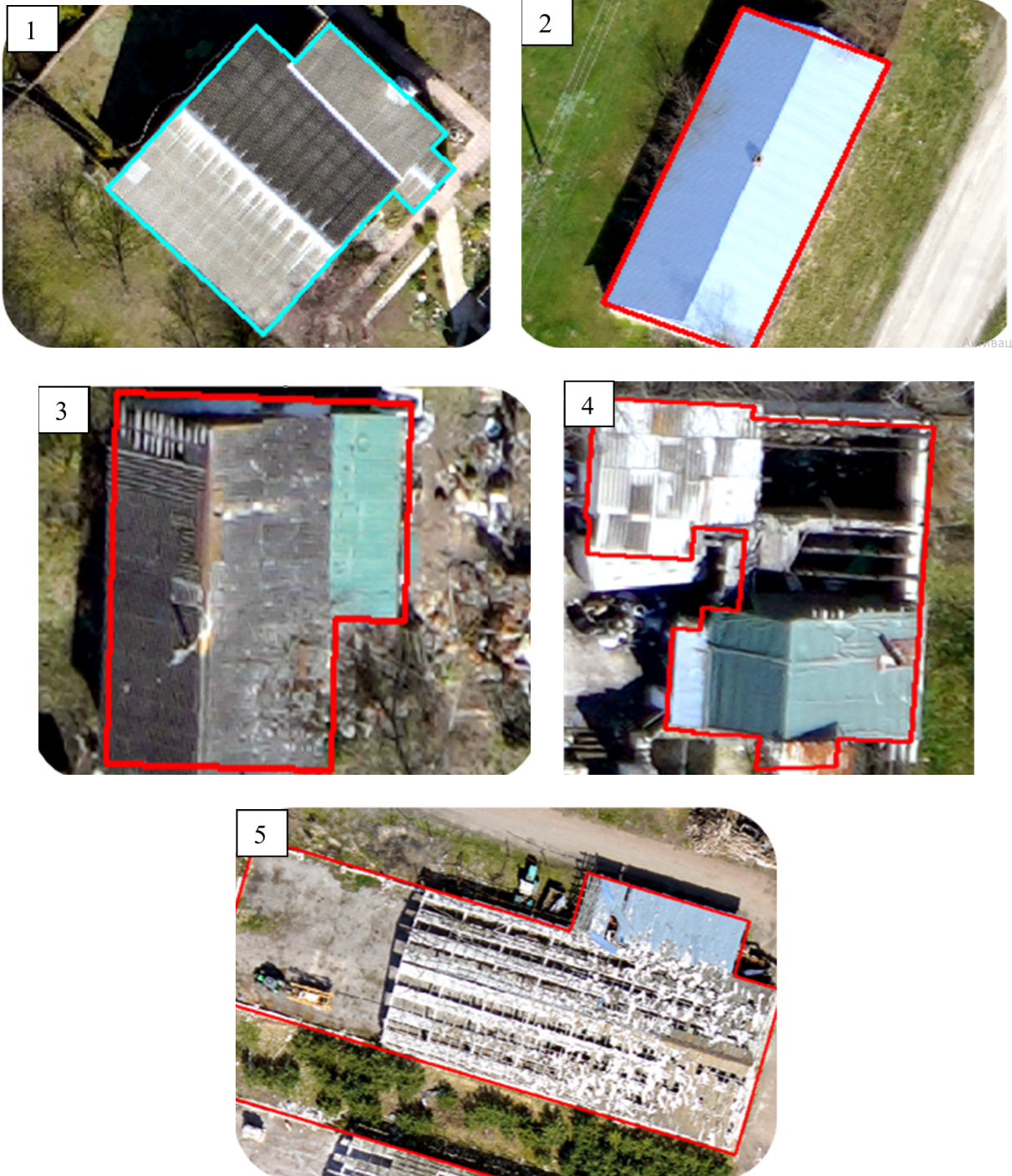


Рис.3. Приклади будівель за рівнем пошкоджень:  
 1 – немає видимих пошкоджень, 2 – ймовірне руйнування, 3 – помірні пошкодження, 4 – сильно пошкоджено, 5 – повністю зруйновано.

Автоматична оцінка пошкоджень споруд методами штучних нейронних мереж на даний момент забезпечує якісний результат у випадку застосування 4 рівнів руйнувань. Штучний інтелект не гарантує чіткого розпізнавання будинків між групами «ймовірне руйнування» та «помірні пошкодження», тому для автоматичної оцінки ці дві групи об'єднані в одну – «незначні пошкодження».

Першочергово пошкодження будівель села Посад-Покровське були оцінені візуально, а потім ця оцінка використовувалась як еталон для навчання ШНМ. Для цього ортофотоплан та векторні контури будинків (у форматі GeoJSON) були імпортовані до платформи UADAMAGE [14]. Кількісні показники такої оцінки будівель і споруд села Посад-Покровське, отримані методом штучних нейронних мереж на платформі UADAMAGE, приведені в таблиці 1 та проілюстровані рисунком 4. Найбільших руйнувань у відсотках зазнали житлові будинки – пошкоджено 81,7%, другі – господарські будівлі — 65,3% (табл.1). Більше половини соціально-культурних та адміністративних об'єктів зазнали пошкоджень – 5 споруд повністю знищені. Також повністю зруйновані 3 промислові об'єкти. Як бачимо, 68.8% усіх будівель та споруд села Посад-Покровське мають той чи інший рівень пошкоджень. Повністю зруйновано 801 будівля, сильних руйнувань зазнали 999 будинків, помірних – 902, до групи немає видимих пошкоджень віднесено – 1225 споруд (див. Табл.1).

Таблиця 1

## Результати оцінки пошкоджень будівель і споруд села Посад-Покровське

Рівень пошкодження	Всі		Споруди за категоріями							
			житлові		господарчі		соціальні		промислові	
	споруд	%	споруд	%	споруд	%	споруд	%	споруд	%
1	1225	31,2	165	18,3	1035	34,7	10	45,5	15	78,9
2-3	902	23,0	132	14,7	767	25,7	2	9,1	1	5,3
4	999	25,4	408	45,3	586	19,6	5	22,7	0	0,0
5	801	20,4	195	21,7	598	20,0	5	22,7	3	15,8
Разом	3927	100	900	100	2986	100	22	100	19	100

Результати оцінки руйнувань використовуються для розрахунку економічних показників вартості відновлення пошкоджених будівель. Для цього з платформи UADAMAGE потрібно експортувати три параметри кожного об'єкта: об'єм, мінімальна та максимальна висоти, які генеруються окремими штучними нейронними мережами. Методика розрахунку економічної складової відновлення передбачає повторне використання будівельного сміття для переробки в сировину при спорудженні зруйнованих будівель. Такий підхід

дозволяє отримати певну економічну вигоду та екологічний ефект від повторного використання матеріалів.

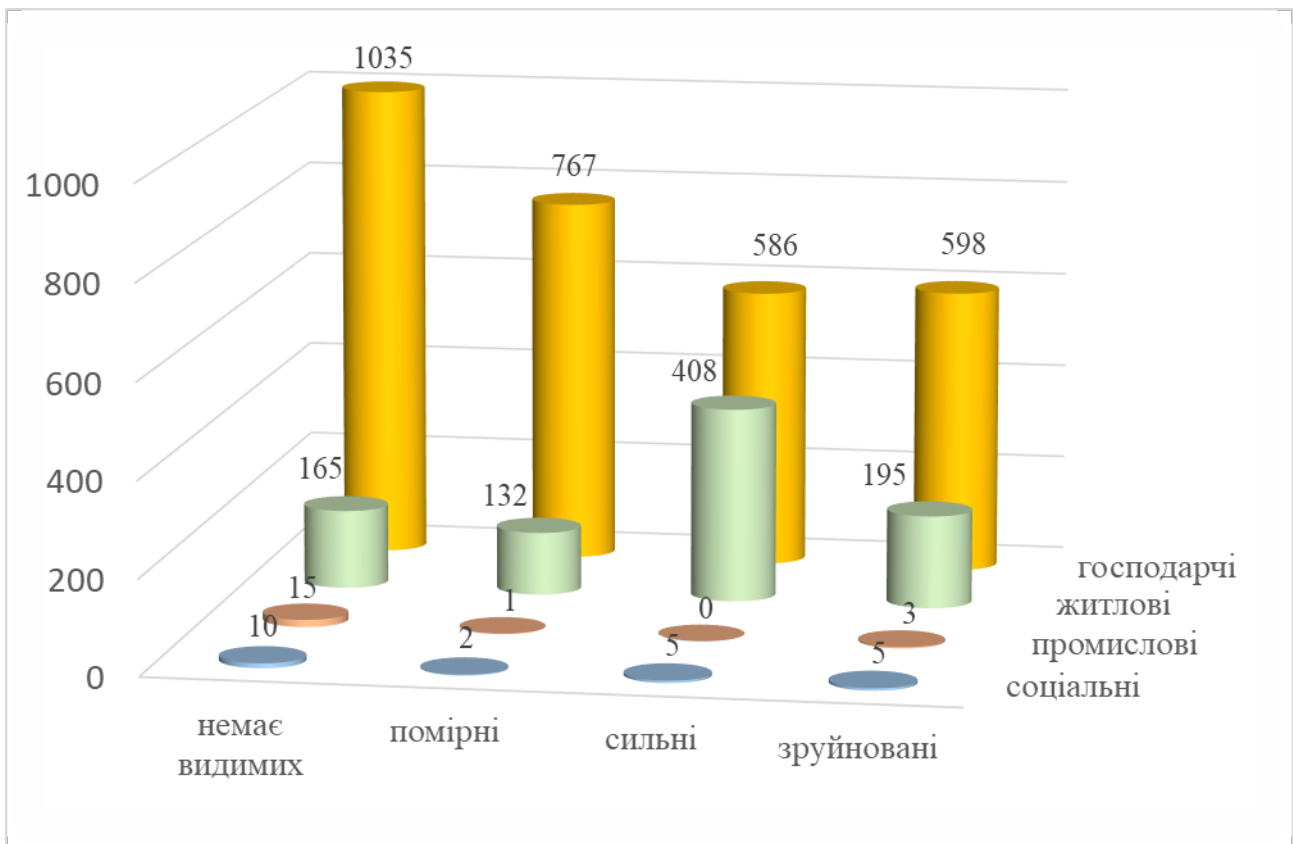


Рис.4. Результати оцінки пошкоджень житлових та господарчих будівель

**Висновки.** Представлено технологію оцінки руйнувань споруд за даними знімання безпілотним літальним апаратом Скіф. Застосовано геоінформаційне забезпечення Pix4Dmapper, Qantum GIS та платформи UADAMAGE. Методику апробовано на будівлях села Посад-Покровське Херсонського району. Виконана оцінку руйнувань показала, що з 3927 будівель найбільших пошкоджень зазнали житлові та господарські будинки. 68.8% усіх будівель та споруд села Посад-Покровське мають той чи інший рівень пошкоджень. Повністю зруйновано 801 будівля, сильних руйнувань зазнали 999 будинків, помірних – 902.

Підтверджено ефективність аерознімання БПЛА та геоінформаційного опрацювання просторових даних для оперативного моніторингу руйнувань і планування відновлювальних заходів.

Наукова та практична цінність досліджень полягає в тому, що їх результати можуть бути використані для:

- просторового моніторингу наслідків збройних конфліктів;
- планування управлінських рішень із реконструкції територій;

- наповнення баз даних державних установ (органів місцевого самоврядування, ДСНС, Держгеокадастру);
- наповнення будівельних інформаційних систем (ВІМ);
- навчання моделей штучних нейронних мереж для якісного автоматичного розпізнавання пошкоджень за даними аерофотознімання.

Подальших досліджень потребує навчання ШНМ для розпізнавання, як окремого, рівня руйнування «ймовірно пошкодження».

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андрієнко Д., Горюнов Д., Грудова В., Маркуц Ю., Маршалок Т. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії росії проти України станом на листопад 2024 року. *KSE\_Damages\_Report-November-2024-UA.pdf* (дата звернення: 17.12.2025)
2. Глотов В.М., Гуніна А.В. Аналіз можливостей застосування безпілотних літальних апаратів для аерознімальних процесів. // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. – 2014.– Вип.28. – С. 65–70
3. Порядок виконання невідкладних робіт щодо ліквідації наслідків збройної агресії Російської Федерації, пов'язаних із пошкодженням будівель та споруд: Постанова КМУ від 19 квітня 2022 р. № 473.
4. Методика обстеження будівель та споруд, пошкоджених внаслідок надзвичайних ситуацій, бойових дій та терористичних актів: Наказ Мінрегіону від 06 серпня 2022 року № 144.
5. Четверіков Б. Моніторинг зміни локального ландшафту внаслідок бойових дій за космічними знімками Sentinel-2 (на прикладі Донецької області) // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. – 2025.– Вип.50. – С. 207–208.
6. Huang Q., Jin G., Xiong X., Ye H., Xie Y. Monitoring Urban Change in Conflict from the Perspective of Optical and SAR Satellites: The Case of Mariupol, a City in the Conflict between RUS and UKR // *Remote Sensing*. – 2023. – 15(12), 3096. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15123096>.
7. Boloorani A.D., Darvishi M., Weng Q., Liu X. Post-War Urban Damage Mapping Using InSAR: The Case of Mosul City in Iraq. // *ISPRS International Journal of Geo-Information*. – 2021. – 10(3), 140. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi10030140>.
8. Aimaiti Y., Sanon C., Koch M., Baise L.G., Moaveni, B. War Related Building Damage Assessment in Kyiv, Ukraine, Using Sentinel-1 Radar and Sentinel-2 Optical Images // *Remote Sensing*. – 2022. – 14(24), 6239. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14246239>.

9. Анненков А., Дем'яненко Р., Куліченко Н. Геодезичний моніторинг будівель, пошкоджених внаслідок військових дій, з використанням ВІМ-технологій. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2023.– Вип.46. – С. 85–94.

10. СКІФ. БПЛА. СКІФ (БПЛА) — Вікіпедія (дата звернення: 17.12.2025).

11. Pix4Dmapper. Посібник з початку роботи, 2020. – 24с. Pix4Dmapper-Getting\_Started-4.0-UKRANIAN-DIGIFLY\_FINAL.pdf (дата звернення: 17.12.2025)

12. CloudCompare. Official website. <https://cloudcompare.org/> (дата звернення: 17.12.2025).

13. Emergency mapping guidelines. Building Damage Assessment Chapter. Version 1.0 – as of September 2018. International Working Group on Satellite-based Emergency Mapping (IWG-SEM), 2018. [https://www.un-spider.org/sites/default/files/IWG\\_SEM\\_Guidelines\\_Building%20Damage%20Assessment\\_v1.0.pdf](https://www.un-spider.org/sites/default/files/IWG_SEM_Guidelines_Building%20Damage%20Assessment_v1.0.pdf) (дата звернення: 17.12.2025).

14. Orcun UADAMAGE. Офіційний сайт компанії. URL: <https://web.uadamage.com/> (дата звернення: 17.12.2025)

candidate of technical sciences, associate professor **Bohdan Bachyshyn**,  
National university of Water and Environmental Engineering, Rivne  
**Vitalii Lopushanskyi, Andrii Levchuk**,  
LLC «Uadamage», Kyiv,  
**Viktoriia Filimonova**,  
National university of Water and Environmental Engineering, Rivne,

## **TECHNOLOGY FOR BUILDINGS DAMAGE ASSESSING BASED ON UAV IMAGERY: THE CASE OF THE POSAD-POKROVSKE VILLAGE IN THE KHERSON DISTRICT**

The muscovites' war against Ukraine and Ukrainian identity led to the destruction of a huge number of buildings, structures, infrastructure facilities, the destruction of entire settlements, and changes to natural and agricultural landscapes. According to [1], direct infrastructure destruction losses amounted to approximately \$170 000 000 000 as of November 2024. Certainly, unlike human losses, economic losses can be recovered. The first stage of recovery is to assess the extent and volume of destruction and damage and calculate the cost of restoration work. The most sought-after technologies are and will continue to be those based on the use of unmanned aerial vehicles (UAVs), as they ensure accuracy, efficiency, safety, and lower costs.

The purpose of this work is to develop and research a technology for assessing damage to structures based on UAV survey data as an urgent, important scientific and critically important practical task.

The proposed technological chain includes aerial photography using a Skif monowing aircraft-type UAV, the construction of an orthophoto plan in the Pix4Dmapper environment, the vectorization of buildings in Qantum GIS, visual assessment of the level of damage to structures, automatic damage assessment on the UADAMAGE platform and retraining of artificial neural networks based on visual assessment data. The developed technology has been tested on structures in the Posad-Pokrovske village, Kherson district.

Keywords: damage assessment; surveying; UAV; orthophoto; geoinformation software, artificial neural networks.

### REFERENCES

1. Andriienko D., Horiunov D., Hrudova V., Markuts Yu., Marshalok T. Zvit pro priami zbytky infrastruktury vid ruinuvan vnaslidok viiskovoi ahresii rosii proty Ukrainy stanom na lystopad 2024 roku. KSE\_Damages\_Report-November-2024-UA.pdf (data zvernennia: 17.12.2025) {in Ukrainian}.
2. Hlotov V., Hunina A. Analiz mozhlyvostei zastosuvannia bezpilotnykh litalnykh aparativ dlia aeroznimalnykh protsesiv. // Suchasni dosiahnennia geodezychnoi nauky ta vyrobnytstva. – 2014.– Vyp.28. – S. 65–70. {in Ukrainian}.
3. Porjadok vykonannia nevidkladnykh robit shchodo likvidatsii naslidkiv zbroinoi ahresii rosiiskoi federatsii, poviazanykh iz poshkodzhenniam budivel ta sporud: Postanova KМУ vid 19 kvitnia 2022 r. № 473. {in Ukrainian}.
4. Metodyka obstezhennia budivel ta sporud, poshkodzhenykh vnaslidok nadzvychnykh sytuatsii, boiovykh dii ta terorystychnykh aktiv: Nakaz Minrehionu vid 06 serpnia 2022 roku № 144. {in Ukrainian}.
5. Chetverikov B. Monitorynh zminy lokalnoho landshaftu vnaslidok boiovykh dii za kosmichnymy znimkamy Sentinel-2 (na prykladi Donetskoii oblasti) // Suchasni dosiahnennia geodezychnoi nauky ta vyrobnytstva. – 2025.– Vyp.50. – S. 207–208. {in Ukrainian}.
6. Huang Q., Jin G., Xiong X., Ye H., Xie Y. Monitoring Urban Change in Conflict from the Perspective of Optical and SAR Satellites: The Case of Mariupol, a City in the Conflict between RUS and UKR // Remote Sensing. – 2023. – 15(12), 3096. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15123096>. {in English}.
7. Bolorani A.D., Darvishi M., Weng Q., Liu X. Post-War Urban Damage Mapping Using InSAR: The Case of Mosul City in Iraq. // ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2021. – 10(3), 140. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi10030140>. {in English}.

8. Aimaiti Y., Sanon C., Koch M., Baise L. G., Moaveni, B. War Related Building Damage Assessment in Kyiv, Ukraine, Using Sentinel-1 Radar and Sentinel-2 Optical Images // *Remote Sensing*. – 2022. – 14(24), 6239. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14246239>. {in English}.

9. Annenkov A., Demianenko R., Kulichenko N. Geodezychnyi monitorynh budivel, poskodzhenykh vnaslidok viiskovykh dii, z vykorystanniam BIM-tekhnolohii. // *Suchasni dosiahnennia geodezychnoi nauky ta vyrobnytstva*. – 2023.– Vyp.46. – S. 85–94. {in Ukrainian}.

10. SKIF. BPLA. СКІФ (БПЛА) — Вікіпедія. (data zvernennia: 17.12.2025). {in Ukrainian}.

11. Pix4Dmapper. Posibnyk z pochtku roboty, 2020. – 24с. Pix4Dmapper-Getting\_Started-4.0-UKRANIAN-DIGIFLY\_FINAL.pdf (data zvernennia: 17.12.2025). {in Ukrainian}.

12. CloudCompare. Official website. <https://cloudcompare.org/> (date of application: 17.12.2025). {in English}.

13. Emergency mapping guidelines. Building Damage Assessment Chapter. Version 1.0 – as of September 2018. International Working Group on Satellite-based Emergency Mapping (IWG-SEM), 2018. [https://www.un-spider.org/sites/default/files/IWG\\_SEM\\_Guidelines\\_Building%20Damage%20Assesment\\_v1.0.pdf](https://www.un-spider.org/sites/default/files/IWG_SEM_Guidelines_Building%20Damage%20Assesment_v1.0.pdf) (data zvernennia: 17.12.2025). {in English}.

14. Orcun UA Damage. Ofitsiinyi sait kompanii. URL: <https://web.uadamage.com/> (data zvernennia: 17.12.2025). {in Ukrainian}.