

Пасько Роман Миколайович

Кандидат технічних наук, завідувач лабораторії інженерно-технічних видів досліджень,
orcid.org/0000-0002-3313-0368

Київський науково-дослідний інститут судових експертиз Міністерства юстиції України, Київ

Панько Олексій Миколайович

Кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри архітектурних конструкцій,
orcid.org/0000-0002-3886-8476

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Теренчук Світлана Анатоліївна

Кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики, *orcid.org/0000-0001-6527-4123*

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОЦЕС ОБСТЕЖЕННЯ БУДІВЕЛЬ, МАЙНА ТА ОБ'ЄКТІВ ІНФРАСТРУКТУРИ

***Анотація.** В роботі досліджено проєкт RebuildUA, метою якого є оцифрування, аналіз і поширення інформації щодо руйнування будівель, майна та об'єктів інфраструктури населених пунктів України внаслідок російського вторгнення. Надання такої інформації громадам, органам державної влади та спеціалізованим фондам відновлення України для подальшої оцінки збитків продиктоване нагальною необхідністю у швидкій відбудові територій, де завершені воєнні дії. Наявність оцифрованої інформації також допоможе спростити процеси отримання репарацій і залучення ресурсів на відбудову. Наведено можливості сучасних безпілотних літальних апаратів і систем супутникового спостереження для виконання таких завдань, як фото- і відеозйомка, передача даних у разі виявлення зруйнованих і пошкоджених об'єктів, створення карт рівня бомбардування, рівня руйнувань, зруйнованих будівель та інфраструктури, оцінка пошкодження будівель і об'єктів інфраструктури. Надано приклади фотофіксації пошкоджених об'єктів і фрагменти ортофотопланів населених пунктів Київської області до і після військових дій. З'ясовано, що застосування сучасних цифрових технологій дає змогу зібрати потрібні дані про руйнування, надаючи експертам можливість отримати фото- та відеозйомки об'єктів з різних ракурсів. Це суттєво полегшує і прискорює розпізнавання руйнувань, оцінку технічного стану об'єктів та визначення збитків, що зазнали власники нерухомого майна внаслідок руйнувань. Проте кількість зруйнованих і пошкоджених об'єктів настільки велика, а терміни виконання настільки критичні, що автоматизації потребує і процес формування експертних висновків. Це і буде предметом подальших робіт.*

***Ключові слова:** мапа; нерухоме майно; територія; ортофотоплан; пошкодження; руйнування; фотофіксація*

Вступ

Збройна агресія російської федерації (рф) за підтримки республіки білорусь на території України, що розпочата 24 лютого 2022 р., призвела до численних руйнувань будівель, майна та об'єктів інфраструктури. Наразі продовжують зазнавати шкоди та руйнувань будинки і споруди різного призначення майже в усіх регіонах країни.

2 квітня 2022 р. Київщина була звільнена від російських військ. Але збройні сили та інші військові формування рф після відступу залишили по собі масштабні руйнування рухомого і нерухомого майна.

До роботи щодо фіксування доказів були залучені судові експерти Науково-дослідних установ судових експертиз Міністерства юстиції України, у тому числі й Київського науково-дослідного інституту судових експертиз [1]. Крім вітчизняних фахівців, до збирання доказів залучені судові експерти з інших країн, аби цей процес не викликав жодних сумнівів [2; 3].

Наразі фіксування доказів знаходиться на завершальному етапі, але швидкість і ефективність відновлення країни теж залежить від грамотного визначення завданих збитків, формування коректного бюджету та плану відбудови. Проте слід зазначити, що робота, яка здійснюється судовими

експертами безпосередньо на місцях подій, передусім спрямована на фіксування пошкоджень для правоохоронних органів та подальшого проведення судових експертиз. Наразі в Україні створено кілька інформаційних ресурсів для надання інформації про пошкоджене і зруйноване майно, втрату родичів і близьких осіб, завдані тілесні ушкодження. Також зараз на рівні держави створюється Центральний реєстр пошкодженого та втраченого майна, що підтверджує актуальність цієї роботи [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для фіксації руйнувань і пошкоджень рухомого і нерухомого майна, що сталися в Українських населених пунктах через війну, Міністерство Внутрішніх Справ України разом із фахівцями Google реалізує проєкт RebuildUA з оцифрування наслідків вторгнення рф в Україну [4].

Проєкт спрямовано на аналіз, візуалізацію та передачу інформації щодо кількості і характеру руйнувань громадам, органам державної влади та спеціалізованим фондам відновлення України для подальшої оцінки збитків, прозора оцінка яких дасть змогу обґрунтувати обсяги фінансування і спростити процес залучення ресурсів на відбудову [4].

Запуск проєкту RebuildUA ініціювали компанії SmartFarming та Vkursi Zemli [5; 6].

Завдання проєкту полягають в тому, щоб [4]:

- оцифрувати руйнування та завдану шкоду для побудови покрокового плану відновлення;
- поінформувати світ про реальну ситуацію і наслідки збройної агресії рф в Україні;
- запустити процес визначення збитків для отримання репарацій і залучення фінансування;
- надати громадам аналітику та допомогти отримати фінансування на відбудову.

На деокупованих збройними силами України і підконтрольних територіях обстежено понад 200 населених пунктів. Порядок і методику виконання обстежень цих об'єктів визначено в [7].

Ідентифікація зруйнованих і пошкоджених об'єктів (рис. 1) та оцифрування даних щодо кількості і характеру руйнувань ґрунтується на вивченні ортофотопланів (рис. 2), які створюються на основі даних фото- і відеозйомки, зроблених з використанням безпілотних літальних апаратів [4].

Сучасні безпілотні літальні апарати (БЛА) здатні виконувати різноманітні завдання [8]. Використання БЛА для зйомки дає змогу зібрати детальні дані про руйнування: фото- та відеооб'єктів за різними ракурсами, створювати ортофотоплани територій.

Для фото-, відеофіксації та передачі даних, які потрібні для оцінки рівня руйнувань і пошкоджень, фахівці Київського науково-дослідного інституту судових експертиз Міністерства юстиції України використовували DJI Phantom 4-Pro V 2.0 [9].

Окрім того, для вирішення цих задач можуть застосовуватись дрони-розвідники Vector [10], які оснащені високоякісними датчиками з потужною оптикою і мережевим IP-каналом передачі даних.

За допомогою БЛА та іншого спеціального обладнання експерти можуть робити перегляд вулиць і панорамні знімки пошкоджених / зруйнованих об'єктів, які в подальшому будуть доступні на Google Maps. Подивитися на руйнування можна буде і через окуляри віртуальної і доповненої реальності [11].

На окупованих територіях або в місцях бойових дій зйомка із застосуванням БЛА неможлива, тому для створення ортофотопланів таких територій використовуються супутникові знімки [2].

На основі ортофотопланів залучені ГІС-фахівці оцифровують і розпізнають пошкоджені та зруйновані об'єкти. Після цього експерти класифікують типи будівель і споруд та визначають рівень руйнувань.

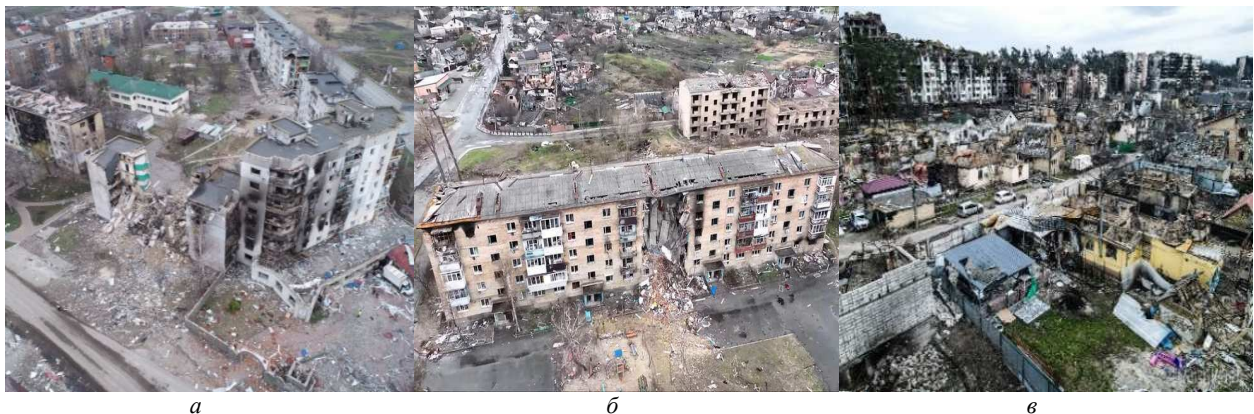


Рисунок 1 – Приклади фотофіксації зруйнованих і пошкоджених об'єктів Київської області: Бородянки (а); Горенки (б); Ірпеня (в)



Рисунок 2 – Фрагмент ортофотоплану до (а) і після (б) військової агресії в населеному пункті Горенка

Оцінку збитків на основі даних RebuildUA робить KSE Institute [12]. Над оцінкою втрат працюють також Centre for Economic Strategy, Dragon Capital, Антикорупційний штаб, Інститут Аналітики та Адвокації, Transparency International Ukraine, оцінює Prozorro, Українська Рада Торгових Центрів [3] та Науково-дослідні установи судових експертиз Міністерства юстиції України [1].

Мета публікації

Мета роботи – дослідження змін у процесі обстеження будівель і споруд, які пов’язані з потребою швидко маніпулювати великими обсягами нечіткої динамічної графічної інформації щодо пошкодженого / зруйнованого нерухомого та рухомого майна різного призначення внаслідок вторгнення російської федерації.

Виклад основного матеріалу

Горенка – населений пункт під Києвом, куди збройні сили та інші військові формування російської федерації зайти не змогли. Однак з перших днів війни Горенка опинилась у кілометровій

зоні фронту і цілеспрямовано знищувала військовими рф.

Мапи рівня бомбардувань і кількості зруйнованих будівель у населеному пункті Горенка показано на рис. 3, 4.

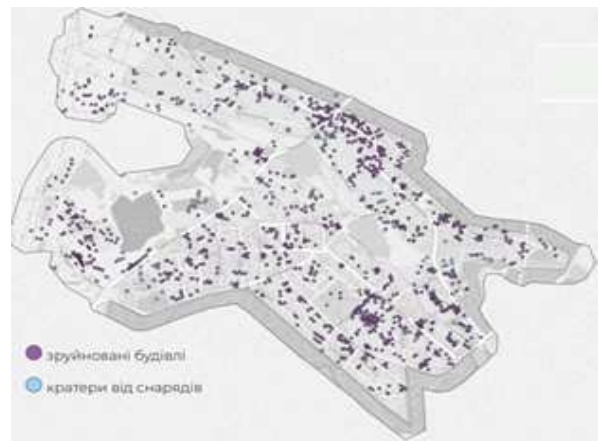


Рисунок 3 – Мапа рівня бомбардувань населеного пункту Горенка

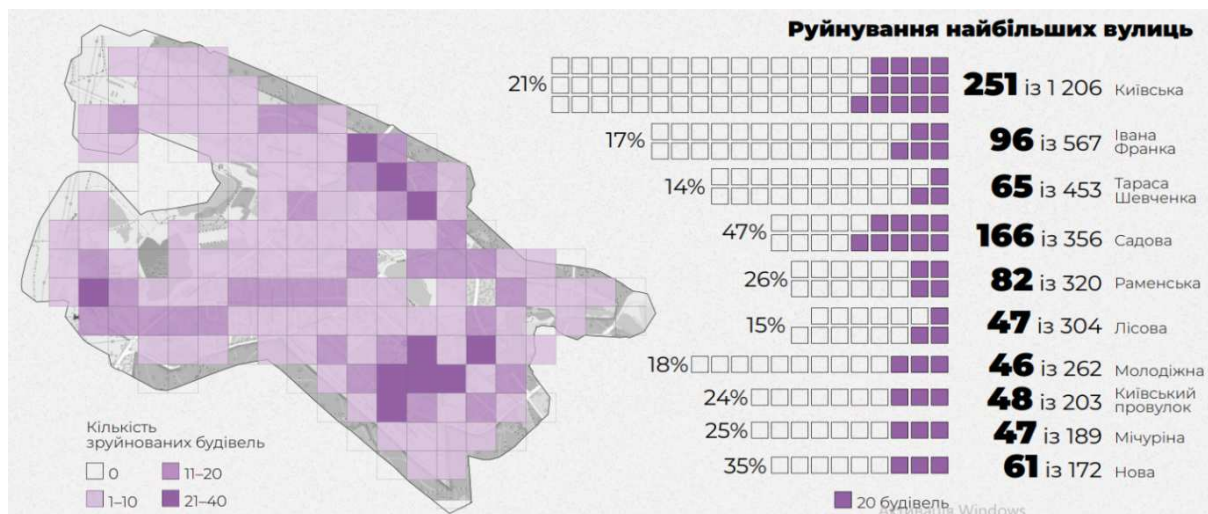


Рисунок 4 – Мапа кількості зруйнованих будівель у населеному пункті Горенка

На рис. 5 наведено траєкторії польотів БЛА, за допомогою яких виконувалася фото- та відеозйомка пошкодженого / зруйнованого нерухомого та рухомого майна різного призначення в населеному пункті Горенка.



Рисунок 5 – Мапа траєкторій зйомки населеного пункту Горенка

При оцифруванні інформації та створенні мап зруйнованих об'єктів у населеному пункті Горенка для отримання та обробки даних:

- зроблено для ортофотоплану 1813 знімків БЛА;
- здійснено 7 польотних місій;
- використано 11,2 Гігабайт;
- витрачено 150 годин обробки даних.
- На основі проведеного аналізу даних з БЛА встановлено, що в результаті обстрілів у населеному пункті Горенка [3]:

- зруйновано 1163 будівель;
- залишилось 174 воронки від снарядів;
- сукупні збитки оцінюються 2,49 млрд грн.

Дані, що отримуються з використанням БЛА, дають змогу не тільки автоматизувати створення мап зруйнованих будівель і рівня бомбардувань населених пунктів, а й скласти мапу рівнів руйнації (рис. 6, а) і здійснити типізацію зруйнованих об'єктів (рис. 6, б).

На рис. 7, 8 наведено приклади оглядових мап оцінки пошкоджень будівель у містах Бородянка та Ірпінь, які ґрунтуються на супутникових знімках [2].

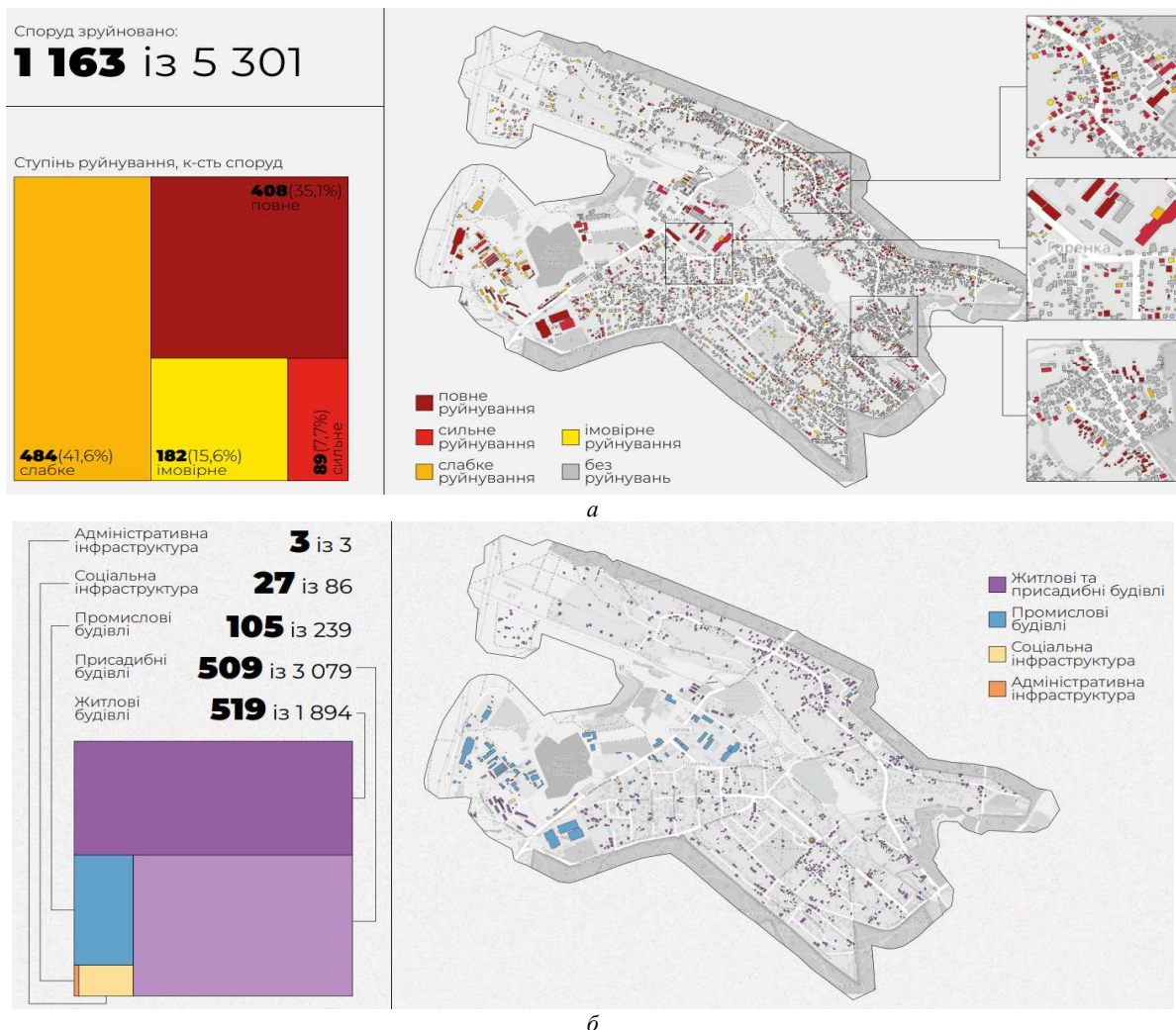


Рисунок 6 – Мапи: а – рівня руйнації населеного пункту Горенка; б – зруйнованих будівель і об'єктів інфраструктури в населеному пункті Горенка

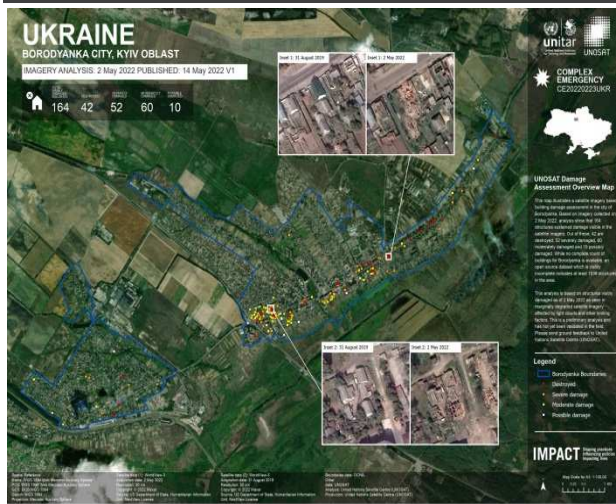


Рисунок 7 – Оглядова мапа оцінки пошкоджень будівлі населеного пункту Бородянка (Джерело: Державний департамент США, відділ гуманітарної інформації, NextView License)

Аналіз пошкоджень будівель у місті Бородянка (Україна), зроблений на основі зображень, які були зібрані 2 травня 2022 р., показує, що зазнали пошкоджень 164 об'єкти, які видно на супутникових знімках [3].

З них (рис. 7):

- 42 будівлі знищено;
- 52 будівлі сильно пошкоджено;
- 60 будівель зазнали середніх пошкоджень;
- 10 будівель можливо пошкоджено.

Повного обліку будівель у місті Бородянка поки немає. Окрім того, аналіз пошкоджень будівлі міста Бородянка базується на супутникових знімках, які незначно погіршилися під впливом легких хмар та інших обмежувальних факторів.

Мапа, що відображає оцінку пошкоджень будівель у місті Ірпінь (Україна), зроблена на основі зображень, зібраних 31 березня 2022 р. При аналізі супутникових знімків у місті Ірпінь аналітики виявили, що 1060 структур отримали пошкодження, які видно на супутникових знімках [2].

З них (рис. 8):

- 115 будівель знищено;
- 698 будівель сильно пошкоджено;
- 187 будівель зазнали середніх пошкоджень;
- 60 будівель можливо пошкоджено.

Цей перелік включає 4 заклади освіти та 3 заклади охорони здоров'я.

Повного підрахунку будівель для Ірпеня також немає. До того ж аналіз пошкоджень будівлі міста Ірпінь базується на структурах, які станом на 31 березня 2022 р. були помітно пошкоджені незначною хмарністю.

Отже, погодні умови і стан атмосфери позначаються на супутникових знімках та вносять певну невизначеність у набір вхідних даних, що використовуються для аналізу. До того ж оглядові

мапи оцінки пошкоджень будівлі міст Бородянка та Ірпінь містять попередній аналіз, який ще не перевірений на місцях [3].

Наземні відгуки збираються в Супутниковому центрі Організації Об'єднаних Націй (UNOSAT).

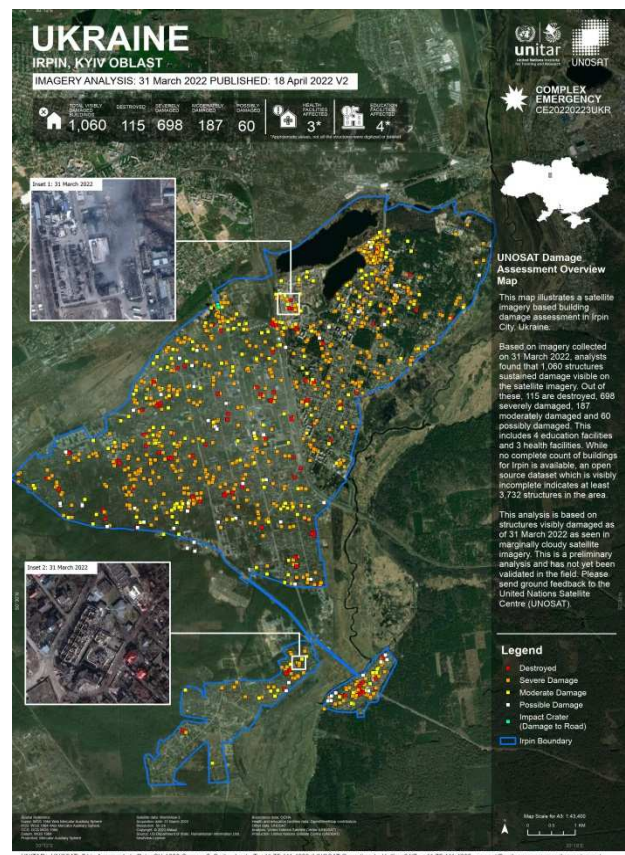


Рисунок 8 – Оглядова мапа оцінки пошкоджень будівлі населеного пункту Ірпінь (Джерело: Державний департамент США, відділ гуманітарної інформації, NextView License)

Визначення збитків і залучення фінансування на відбудову передбачає типізацію пошкоджених чи зруйнованих будівель і об'єктів інфраструктури (рис. 6).

Категорії пошкоджень об'єктів відповідно до кількісних і якісних характеристик пошкоджень класифікуються таким чином [7]:

- наявні незначні пошкодження несучих і огорожувальних конструкцій, але без порушення вимог щодо механічного опору та стійкості за граничним станом першої та другої групи, – рекомендовано виконання робіт з відновлення шляхом ремонту, в т. ч. капітального ремонту;
- наявні пошкодження несучих та огорожувальних конструкцій, ступінь і характер яких свідчить про необхідність виконання робіт щодо часткового демонтажу частин об'єкта або його окремих конструкцій, підсилення об'єкта або його окремих несучих та огорожувальних конструкцій, – рекомендовано виконання робіт з відновлення, капітального ремонту, реконструкції;

– об'єкти непридатні для використання за цільовим призначенням, повністю втратили свою економічну цінність, наявні пошкодження несучих та огорожувальних конструкцій, ступінь і характер яких свідчить про небезпеку аварійного обвалення об'єкта (зруйновані об'єкти), – рекомендовано виконання невідкладних робіт щодо демонтажу (ліквідації) об'єкта.

Висновки

1. Показано, що відновлення нерухомого майна та забезпечення громадян України житлом на територіях, де завершені воєнні дії, передусім потребує обстеження будівель, майна та об'єктів інженерної інфраструктури, які зазнали руйнувань чи пошкоджень.

2. Описано можливості сучасних безпілотних літальних апаратів при виконанні завдань фото-, відеофіксації та передачі даних для оцінки та створення:

- мап рівнів бомбардувань населених пунктів;

– мап зруйнованих будівель і об'єктів інженерної інфраструктури;

– мап рівнів руйнувань будівель і об'єктів інженерної інфраструктури.

3. З'ясовано, що аналіз, який базується на супутникових знімках за різних атмосферних умов та наявності інших обмежувальних факторів, потребує перевірки і уточнення на місцях.

4. Встановлено, що впровадження сучасних засобів і цифрових технологій в процес обстеження будівель, майна та об'єктів інфраструктури потребує розроблення та впровадження в цей процес спеціальних інтелектуальних систем і технологій для обробки великої кількості динамічної і не завжди достатньо чіткої графічної інформації.

5. Подальші дослідження планується спрямувати на розробку і впровадження в процес обстеження будівель і споруд інтелектуальної системи, що інтегрується із сучасними засобами обробки даних фото- і відеозйомки, зроблених з використанням БПЛ.

Список літератури

1. Експертами Міністерства юстиції України завершується огляд пошкоджених населених пунктів Київщини в результаті дій військ РФ: Київський науково-дослідний інститут судових експертиз. URL: <https://kndise.gov.ua/ekspertamy-ministerstva-yustyciyi-ukrayiny-zavershuyetsya-oglyad-poshkodzenykh-naselenykh-punktiv-kyiyivshhyny-v-rezultati-dij-vijsk-rf/>.

2. Денис Малюська: Мінюст збирає докази для припинення воєнних злочинів РФ до відповідальності: Міністерство юстиції. URL: <https://minjust.gov.ua/news/ministry/denis-malyuska-minyust-zbirae-dokazi-dlya-prityagnennya-voennih-zlochintiv-rf-do-vidpovidalnosti>.

3. Ukraine maps. URL: <https://unitar.org/maps/countries/107>.

4. Оцифрувати, проаналізувати та показати руйнування від війни. В Україні запустили проект RebuildUA. URL: <https://ms.detector.media/trendi/post/29516/2022-05-17-otsyfruvaty-proanalizuvaty-ta-pokazaty-ruynuvannya-vid-viyny-v-ukraini-zapustyly-proiekt-rebuildua/>.

5. SmartFarming. URL: <https://www.smartfarming.ua>.

6. Земельна аналітика та дані: Vkursi Zemli. <https://www.zemli.vkursi.pro/>.

7. Про затвердження Порядку виконання невідкладних робіт щодо ліквідації наслідків збройної агресії Російської Федерації, пов'язаних із пошкодженням будівель та споруд: Постанова Кабінету Міністрів України від 19.04.2022 № 473. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/473-2022-%D0%BF#Text>.

8. Україна оснащується дронами: як зміниться тактика війни. URL: <https://www.dw.com/uk/ukraina-osnashchuietsia-dronamy-yak-zminytsia-taktyka-viiny/a-61669029>.

9. Phantom 4 PRO V2.0: Visionary Intelligence. Elevated Imagination. URL: <https://www.dji.com/phantom-4-pro-v2>.

10. Vector. The 2in1 Vertical Take-off Reconnaissance UAV. URL: <https://www.quantum-systems.com/project/vector/>

11. На Google Maps розмістять панорамні фото руйнувань в Україні через війну: The Village. URL: <https://www.thevillage.com.ua/village/city/city-news/324967-na-google-maps-rozmistyat-panoramni-foto-ruynuvan-v-ukrayini-cherez-viynu>.

12. Науково-дослідницький KSE Institute, один з найбільших Think Tanks в Україні. URL: <https://kse.ua/ua/kse-department/kse-institute/>.

Стаття надійшла до редколегії 10.05.2022

Pasko Roman

PhD (Eng.), Head of Laboratory of Engineering and Technical Research, orcid.org/0000-0002-3313-0368

Kyiv Scientific Research Institute of Forensic Expertise of the Ministry of Justice of Ukraine, Kiev

Panko Oleksiy

PhD (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Architectural Construction, orcid.org/0000-0002-3886-8476

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Terenchuk Svitlana

PhD (Physical and Mathematical Sciences), Associate Professor,

Associate Professor of Department of Information Technology Design and Applied Mathematics, orcid.org/0000-0001-6527-4123

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

DIGITAL TECHNOLOGIES INTO PROCESS INSPECTION OF BUILDINGS, PROPERTY AND INFRASTRUCTURE OBJECTS INTRODUCING

Abstract. The paper examines the RebuildUA project, which aims to digitize, analyze and disseminate information on the destruction of buildings, property and infrastructure objects of settlements in Ukraine as a result of the Russian invasion. Providing such information to communities, public authorities and specialized funds for the reconstruction of Ukraine for further damage assessment is dictated by the urgent need for rapid territories' reconstruction where hostilities have ended. The availability of digitized information will also simplify the process of obtaining reparations and attracting resources for reconstruction. Possibilities of modern unmanned aerial vehicles and satellite surveillance systems are shown in performing such tasks as photo and video shooting, data transmission in detecting destroyed and damaged objects, creating maps of bombing level, level of destruction, destroyed buildings and infrastructure objects, assessment of buildings damage and infrastructure objects. Photo-fixation examples of damaged objects and fragments of orthophotoplans of Kyiv region's settlements region before and after hostilities are given. It has been found that the use of modern digital technology allows to collect the necessary data on the destruction, giving experts the opportunity to obtain photos and videos of objects from different angles. This greatly facilitates and accelerates the identification of damage, assessment of the objects' technical condition and the determination of losses suffered by property owners as a result of destruction. However, the number of destroyed and damaged objects is so large, and the deadlines are so critical that the process of forming expert opinions requires automation. This will be the subject of further work.

Keywords: map; real estate; territory; orthophotoplan; damage; destruction; photo fixation

References

1. Experts of the Ministry of Justice of Ukraine are completing the inspection of damaged settlements of Kyiv region as a result of actions of the Russian troops: Kyiv Research Institute of Forensic Science. URL: <https://kndise.gov.ua/ekspertamy-ministerstva-yustycyi-ukrayiny-zavershuyetsya-oglyad-poshkodzhenyh-naselenyh-punktiv-kyivshhyny-v-rezultati-dij-vijsk-rf/>.
2. Denis Malyuska: Ministry of Justice collects evidence to stop Russian war crimes to responsibility: Ministry of Justice. URL: <https://minjust.gov.ua/news/ministry/denis-malyuska-minyust-zbirae-dokazi-dlya-prityagnennya-voennih-zlochintiv-rf-do-vidpovidalnosti>.
3. Ukraine maps. URL: <https://unitar.org/maps/countries/107>.
4. Digitize, analyze and show the devastation of war. The RebuildUA project has been launched in Ukraine <https://ms.detector.media/trendi/post/29516/2022-05-17-otsyfruvaty-proanalizuvaty-ta-pokazaty-ruynuvannya-vid-viyny-v-ukraini-zapustyly-proiekt-rebuildua/>.
5. SmartFarming URL: <https://www.smartfarming.ua>.
6. Land analysis and data: Vkursi Zemli. <https://www.zemli.vkursi.pro/>.
7. About the statement of the Order of performance of urgent works concerning liquidation of consequences of the armed aggression of the Russian Federation connected with damage of buildings and constructions: the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine from 04/19/2022 №473. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/473-2022-%D0%BF#Text>.
8. Ukraine is equipped with drones: how the tactics of war will change. URL: <https://www.dw.com/uk/ukraina-osnashchuietsia-dronamy-yak-zminytsia-taktyka-viiny/a-61669029>.
9. Phantom 4 PRO V2.0: Visionary Intelligence. Elevated Imagination. URL: <https://www.dji.com/phantom-4-pro-v2>.
10. Vector. The 2in1 Vertical Take-off Reconnaissance UAV. URL: <https://www.quantum-systems.com/project/vector/>
11. Panoramic photos of the destruction in Ukraine due to the war will be posted on Google Maps: The Village. URL: <https://www.the-village.com.ua/village/city/city-news/324967-na-google-maps-rozmistyat-panoramni-foto-ruynuvan-v-ukrayini-chez-viynu>.
12. Research KSE Institute, one of the largest Think Tanks in Ukraine. URL: <https://kse.ua/ua/kse-department/kse-institute/>

Посилання на публікацію

- APA Pasko, Roman, Panko, Oleksiy, & Terenchuk, Svitlana. (2022). Digital technologies into process inspection of buildings, property and infrastructure objects introducing. *Management of Development of Complex Systems*, 49, 74–80, [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2022.49.74-80](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.49.74-80).
- ДСТУ Пасько Р. М. Пасько О. М. Теренчук С. А. Впровадження цифрових технологій у процес обстеження будівель, майна та об'єктів інфраструктури. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2022. № 49. С. 74–80, [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2022.49.74-80](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.49.74-80).