

**Олександр Васильович Цвик<sup>1</sup>, Валентин Миколайович Кравченя<sup>2</sup>**<sup>1</sup>аспірант

ННІ «Інститут геології», Київський національний університет імені Тараса Шевченка (Київ, Україна),

E-mail: [tsvik1603@gmail.com](mailto:tsvik1603@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5464-2078><sup>2</sup>аспірант

ННІ «Інститут геології», Київський національний університет імені Тараса Шевченка (Київ, Україна)

E-mail: [kvn\\_2005@ukr.net](mailto:kvn_2005@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4160-361X>**ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДОРІГ, ПОШКОДЖЕНИХ УНАСЛІДОК ВІЙСЬКОВОЇ АГРЕСІЇ**

В останні десять років безпілотні літальні апарати здобули значну популярність, особливо в найбільш розвинених країнах світу. Топографо-геодезичні роботи були проведені шляхом здійснення геодезичних вимірювань на місці, після чого отримані дані були оброблені та внесені до картографічного матеріалу. Стан поверхневого покриття досліджуваної дороги (дорога Т0403) є незадовільним. Встановлено, що впровадження інформаційної системи управління для оцінки технічного стану доріг, пошкоджених унаслідок військової агресії, дозволяє ухвалювати ефективні рішення та сприяє раціональному розподілу фінансових і матеріальних ресурсів.

**Ключові слова:** дорожнє покриття; вибоїни; БПЛА; ГІС; технічний стан; Phantom 4 Advanced; автошлях Т0403; агресія рф; дефекти дороги.

Рис.: 4. Бібл.: 17.

**Актуальність теми дослідження.** Мережа автомобільних доріг України становить близько 170 тис. км, враховуючи території Криму та тимчасово окуповані регіони. Асфальтобетонні покриття переважають на дорогах державного значення, складаючи 79,9 % від загальної площі доріг із твердим покриттям. Якість доріг безпосередньо впливає на безпеку руху, комфорт перевезення пасажирів, ефективність автомобільного транспорту та термін служби дорожніх конструкцій [3]. Таким чином, якість доріг відіграє важливу роль у забезпеченні економічної стабільності та мобільності населення країни. Однак на сьогодні зношеність доріг досягає 97 %, з яких 39 % доріг державного значення не відповідають вимогам за міцністю, а 51 % – за рівністю покриття.

В Україні було розроблено нормативну базу, що регулює використання геоінформаційних систем (ГІС) у дорожній сфері. До неї входять такі документи: «Паспорт автомобільної дороги» (СОУ 45.2–00018112–038:2016), «Вимоги до автоматизованої системи управління дорожньою галуззю» (СОУ 45.2–00018112–063:2011), «Норми часу на супроводження геоінформаційної системи Укравтодору» (СОУ 42.1–37641918–109:2013), «Вимоги до комплексу робіт з інформаційного забезпечення дорожньої галузі. Автомобільні дороги, введені в експлуатацію» (СОУ 42.1–37641918–122:2014), а також «Геоінформаційна система автомобільних доріг. Вимоги до складу, змісту та застосування» (СОУ 42.1–37641918–063:2016).

**Постановка проблеми.** Обслуговування та ремонт доріг є важливими завданнями, які потребують ретельного збору даних про стан доріг для визначення необхідності таких робіт. Традиційні методи ручної перевірки доріг займають багато часу, потребують значних трудових ресурсів і можуть бути суб'єктивними [5]. Є автоматизовані методи, такі як спеціалізовані оглядові транспортні засоби, оснащені стереокамерами, LiDAR-технологією та лазерними профілерами, які підвищують ефективність та об'єктивність огляду доріг. Однак огляд одним транспортним засобом покриває лише частину дороги, тому для повного огляду необхідно виконувати кілька проїздів, що може впливати на рух транспорту, особливо на дорогах із високою інтенсивністю руху [1].

Останні десять років у сфері топографо-геодезичної та картографічної діяльності відзначилися стрімким розвитком геоінформаційних технологій, глобальних систем визначення координат, аерокосмічних систем високої роздільної здатності для збору

інформації про Землю, а також цифрових методів обробки зображень та геопросторових даних. Одним із ключових технологічних чинників, що впливатиме на подальший розвиток галузі, є створення національної інфраструктури геопросторових даних. Топографо-геодезичні роботи виконуються для дослідження поверхні території, за результатами яких розробляються графічні матеріали [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Китайські фахівці повідомили про створення пристрою, який об'єднує акселерометри та GPS для отримання просторово координованих даних про якість дорожнього покриття [13]. Японські колеги використовують міжнародний індекс рівності (IRI) для оцінювання стану громадських доріг у містах префектури Хоккайдо та застосовують географічну інформаційну систему ArcGIS для організації бази просторових даних і їхньої візуалізації на цифрових картах [17]. Технології дистанційного зондування Землі також широко використовуються. Група вчених із США, Японії та Індонезії застосувала супутниковий радіолокаційний моніторинг (PSI-SAR) для виявлення та вимірювання зсувів автомобільних доріг та елементів рельєфу внаслідок природних зсувів на території Західної Суматри (Індонезія) [12]. Геокодовані зображення деформацій земної поверхні були накладені на фотограмметричну модель досліджуваної території [15]. Окремою темою досліджень зарубіжних колег є розробка систем автоматичного моніторингу для визначення деформації мостових переходів у реальному часі за допомогою супутникових приймачів BDS та GPS [11].

**Метою статті** є опис топографо-геодезичного забезпечення оцінки технічного стану доріг, пошкоджених унаслідок військової агресії, за допомогою БПЛА.

**Виклад основного матеріалу.** Використання сучасних технологій, таких як GNSS, лазерне сканування та аерофотознімання за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА), дозволяє виконувати геодезичні роботи з високою точністю та швидкістю. Відповідно до Закону України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність», основою для проведення геодезичних та землепорядних робіт є державна геодезична мережа. Це система геодезичних пунктів, яка забезпечує передачу координат на територію держави і є вихідною базою для створення інших мереж [7].

Державна геодезична мережа України включає такі сегменти: Українська постійно діюча мережа спостережень ГНСС, планова геодезична мережа 1–3 класів та мережа згущення 4 класу, нівелірна мережа I–IV класів, гравіметрична фундаментальна мережа та мережа 1 класу. Через збройну агресію Росії дані про стан геодезичної мережі на території Херсонської області станом на 2023–2024 роки відсутні. Можна лише припустити про рівень її руйнування внаслідок бойових дій, базуючись на доступній публічній інформації та відкритих даних із мережі «Інтернет».

Інфраструктурні об'єкти стали однією з головних цілей агресора під час повномасштабної війни проти України. Докладний аналіз стану доріг, зокрема пошкоджень від обстрілів і руху танків, можливий лише за умови проведення спеціалізованих технічних оглядів. Однак це є неможливим у тих регіонах, де досі тривають активні бойові дії, або де частина доріг і мостів знаходиться на тимчасово окупованих територіях. За попередніми оцінками, внаслідок бойових дій було зруйновано близько 23,8 тис. км доріг і 305 мостів та мостових переходів. Першочерговий огляд доріг у звільнених регіонах (Чернігівська, Київська, Сумська, Харківська області) підтверджує значні пошкодження дорожньої інфраструктури через прохід танків та іншої важкої техніки, що вимагає відновлення значної кількості доріг.

Найбільших пошкоджень зазнали такі об'єкти:

1. Місцеві дороги обласного і сільського значення, а також вулиці та дороги в межах населених пунктів (комунальні дороги), що становлять 32 %.

2. Автомобільні дороги державного значення, зокрема міжнародні, національні, регіональні та територіальні шляхи (21 %).

Шкода, завдана мостам на дорогах державного і місцевого значення, а також комунальним дорогам та залізничній інфраструктурі, оцінюється приблизно у 4,4 мільярда доларів США, що становить 12 % від загальних збитків у транспортному секторі [10].

Одним зі способів вирішення проблеми відновлення доріг, пошкоджених під час війни, є застосування математичних моделей і алгоритмів для прогнозування стану дорожнього покриття та визначення оптимальних методів його відновлення. Відповідно до Наказу Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України № 182 від 24 березня 2023 року (zareestrovano у Міністерстві юстиції України 3 травня 2023 року під номером 733 / 39789), була розроблена методика оцінки ступеня пошкодження доріг через бойові дії. У разі неможливості доступу до зруйнованих об'єктів застосовуються непрямі методи оцінки збитків. Непряма оцінка пошкоджень доріг здійснюється за спеціальною формулою:

$$V_{dr1} = \sum (L_{dr} * \%i_w * \sum(\%d \cdot P)), \quad (1)$$

де  $V_{dr1}$  (Value of damaged roads) – непряма загальна оцінка пошкоджень доріг по країні;

$L_{dr}$  (length of damaged roads) – довжина усіх доріг у кожній області / регіоні;

$\%i_w$  (% of roads involved in the war) – відсоток пошкоджених доріг, які були залучені в бойових діях у відповідній області / регіоні;

$\%d$  (% of damaged roads) – відсоток кілометрів автомобільних доріг, пошкоджених унаслідок бойових дій в області. Для областей і регіонів України, де неможливо провести візуальний огляд через активні бойові дії чи окупацію, такий відсоток визначається як середнє значення в тих областях та районах України, де відбувались бойові дії з порівняним рівнем інтенсивності та де є доступ для візуальної оцінки пошкоджень;

$P$  (price) – середня ціна відтворення 1 км доріг відповідної групи (млн доларів США/км).

Для більш ефективного використання даних можуть бути створені системи моніторингу та контролю стану доріг, які дозволять збирати інформацію про дефекти та їх поширення на дорозі. Ці дані можна буде використовувати для прогнозування майбутнього стану дорожнього покриття і планування ремонтних робіт. Одним із прикладів подібної системи є програмне забезпечення Road Doctor, розроблене компанією ARRB Group. Воно аналізує стан дороги на основі даних, зібраних спеціальними сенсорами, і обчислює залишковий ресурс дорожнього покриття. Програма пропонує оптимальні методи відновлення і розраховує вартість необхідних робіт [8].

З розвитком дистанційного зондування, фотограмметрії та відповідних програмних засобів, можливості вилучення характеристик дорожнього покриття з фотографій розширилися від наукових до інженерних застосувань. На постраждалих від військових дій територіях, де необхідно швидко проводити зйомки великих площ (у масштабі 1:500–2000), традиційні методи інструментальної зйомки демонструють недоліки. Нині при великомасштабній зйомці великих ділянок дедалі частіше застосовують аерофотозйомку за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Залежно від типу та моделі БПЛА, за один політ можна отримати зображення території від кількох десятків до кількох тисяч гектарів [14]. Це особливо важливо для швидкого збору геодезичних даних, наприклад, для інвентаризації земель або подальшого проектування. Сучасні моделі БПЛА зазвичай обладнані цифровими камерами, що дозволяє отримувати знімки з високою точністю. Використання БПЛА для аерофотозйомки великих територій є дешевшим і швидшим рішенням [9].

Процес зйомки за допомогою БПЛА складається з трьох етапів:

1. Перший етап включає встановлення опорних знаків на місцевості та їх прив'язку до пунктів державної геодезичної мережі, що забезпечує високу точність отриманих даних.

2. Другий етап – автоматичне знімання території за наперед визначеним маршрутом з перекриттям кадрів та заданою висотою польоту, майже без участі оператора.

3. Третій етап – обробка отриманих фотографій за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, яке дозволяє об'єднати знімки та отримати кінцеві результати.

Для оцінки технічного стану доріг, пошкоджених внаслідок військової агресії, використовували сучасне програмне забезпечення Road Doctor або Drone Deploy, а також дані геодезичних пунктів Херсонської області (Бериславський район) та зображення, отримані за допомогою БПЛА (модель Phantom 4 Advanced) (рис. 1, а). Зйомка території проводилася із застосуванням GNSS RTK-приймача GPS «Leica Geosystems» GS 08 plus і тахеометра Trimble M<sup>3</sup> 5» DR. Отримані зображення були оброблені та скориговані за допомогою Drone Deploy (Android або iOS) і перетворені з системи координат СК – 63 у WGS – 84. Оцінювання ступеня руйнування геодезичних знаків проводилася в програмі QGIS 3.34.0-Prizren з використанням карти Google Hybrid, на яку було нанесено відомі координати розташування геодезичних пунктів у Бериславському районі Херсонської області (автошлях Т0403) (рис. 1, б).

Всього було визначено місцезнаходження 342 геодезичних знаків. Для початкового аналізу взято за основу, що всі знаки до початку бойових дій були в задовільному стані. Наступним етапом став візуальний аналіз знімків місцевості, отриманих за допомогою безпілотників, для виявлення наслідків військових дій на дорогах (сліди важкої техніки, вирви від обстрілів, сліди пожеж). На основі цих знімків оцінювалися пошкодження та ступінь руйнування дорожнього покриття.



Рис. 1. Розташування досліджуваної дороги під час окупації рф у 2022 р. (а) та основні типи пошкоджень дороги, виявлені у 2024 р. (б)

Джерело: розроблено авторами.

Досліджувана ділянка дороги була сфотографована дроном, який зробив 733 знімки на висоті 35 метрів із роздільною здатністю 1,5 см/піксель. Висота польоту була обрана з урахуванням того, що через дорогу проходив високовольтний кабель. Параметри місії включали фронтальний нахил у 75 %, боковий нахил у 70 % і напрямок польоту під кутом 69°. Швидкість картографування становила 4 м/с, з кутом зйомки від – 69° до – 90°. Параметри камери: розмір пікселя – 1,56 × 1,56 мкм, роздільна здатність знімка на місцевості – 0,168 мм/піксель. Було зафіксовано 337,034 зв'язкові точки, а похибка проєкції становила 1,48 пікселя. Щоб оптимізувати час польоту, застосовували режими з низьким освітленням, автоматичні налаштування, ручне фокусування та експозицію в програмі DJI Go. Ділянка дороги охоплювала площу в один гектар, її довжина становила 1 км.

Обробка та аналіз аерофотознімків здійснювалися за допомогою програм Agisoft Photoscan Professional, Global Mapper та Pix4D Mapper, які є потужними інструментами для фотограмметрії, що перетворюють 2D-зображення у 3D-моделі для виявлення та вимірювання дефектів на дорожньому покритті.

Подальший аналіз фотограмметричних даних виконувався у спеціалізованому програмному забезпеченні для витягання характеристик дороги. DEM (цифрова модель рельєфу) для досліджуваної ділянки мала роздільну здатність 3,18 мм/піксель і щільність 9,86 точок/см<sup>2</sup>. Обробка хмари точок включала 333,034 точки з 409,629, похибка повторної проєкції – 1,48 пікселя, кількість зв'язкових точок – 337,034, середній розмір ключової точки – 4,51432 пікселя, а ефективне перекриття – 7,83627. Для аналізу дефектів на дорозі використовувалися профілі, секційний аналіз, об'ємні моделі та вимірювання розмірів. Цей процес передбачає вибір інструменту оцифровки та його застосування для вимірювання виявлених дефектів на зображенні (рис. 2, а).

Імпортована цифрова модель рельєфу (DEM) у програмне забезпечення дозволяє створювати профіль поверхні, який допомагає визначити глибину вибоїн та інших пошкоджень. Після вибору необхідної області на хмарі точок або DEM відкривається діалогове вікно з профілем вибраної ділянки, що дозволяє провести детальний аналіз зображення. На рис. 2 показано приклад вибоїни від вибуху снаряду на досліджуваній дорозі, для якої були розраховані та зафіксовані основні параметри, такі як середня ширина, довжина і глибина пошкодження, а також інші важливі характеристики [16].

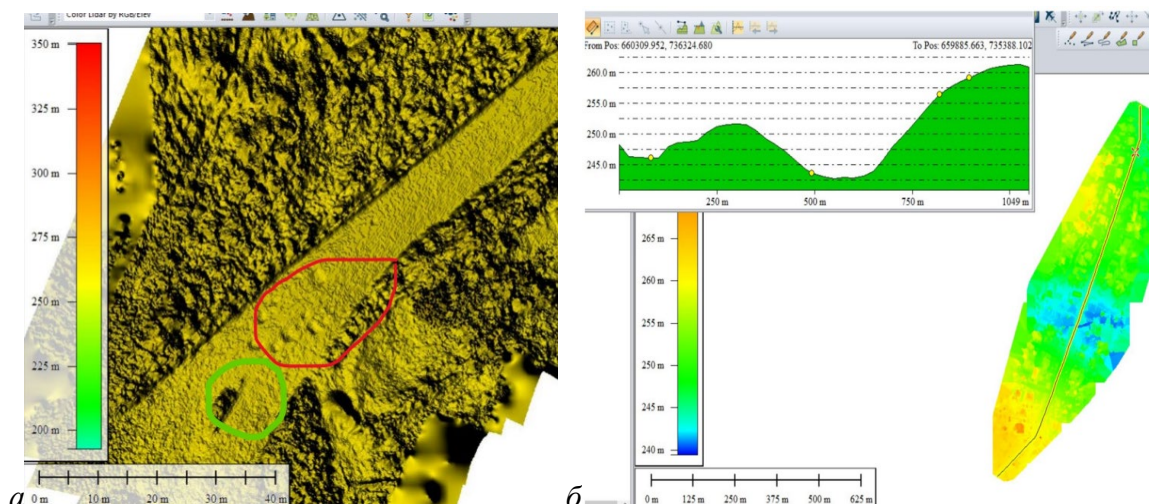


Рис. 2. Оброблене зображення, що отримане з допомогою БПЛА і яке відображає дефекти дороги (бойова вибоїна виділена червоним кольором, а рослинність – зеленим кольором) (а) та вигляд профілю дороги в просторі моделі Global mapper (б)

Джерело: розроблено авторами.

У Global Mapper імпортовані хмара точок, DEM або ортомозаїка аналізувалися шляхом поділу дороги на секції по 50 м (рис. 3). Секціювання було здійснено для полегшення ідентифікації, вилучення, вимірювання та класифікації дефектів. На досліджуваній дорозі були виявлені такі дефекти, як вибоїни, гофрування, колійність, ерозійні жолоби, заростання рослинності [4].



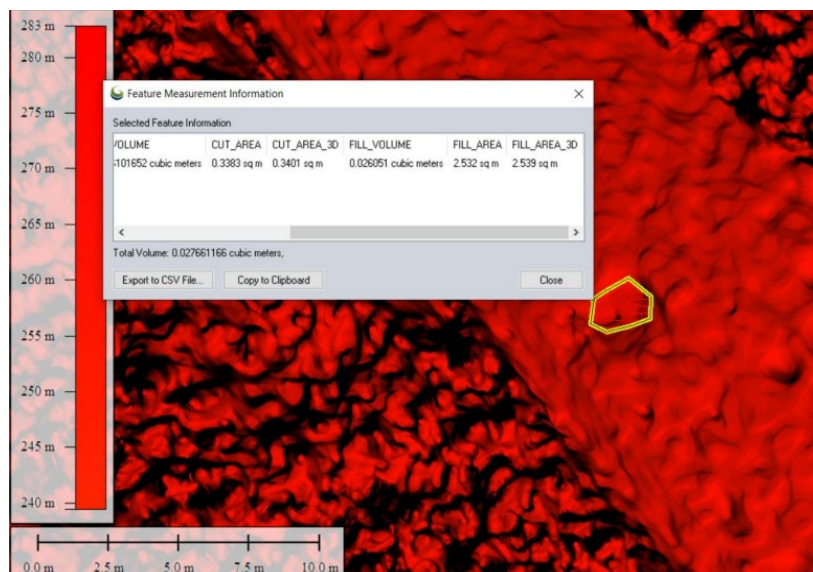


Рис. 3. Вимірювання дефектів у програмному забезпеченні Global Mapper  
Джерело: розроблено авторами.

Аналіз супутникових знімків та зображень з безпілотників, проведений поблизу 274 геодезичних пунктів, виявив пошкодження дорожнього покриття на трасі Т0403. Було зафіксовано 68 вибоїн (рис. 1, б), спричинених вибухами снарядів, та 25 ділянок, пошкоджених внаслідок руху військової техніки (зокрема, колії від танків). Також через відсутність оновлених зображень лівого берега Дніпра та з урахуванням частих артилерійських, ракетних і авіаційних ударів по цій території було зафіксовано знищення п'яти геодезичних знаків [6].

На сьогодні активно застосовується штучний інтелект для оцінювання технічного стану доріг, пошкоджених внаслідок військових дій. Один із підходів на основі глибокого навчання – алгоритм «You only look once» (YOLO) – використовується для виявлення об'єктів (зокрема, дефектів дорожнього покриття) (рис. 4). Алгоритм YOLO здійснює виявлення об'єктів за одне проходження через нейронну мережу. Структура функціональної пірамідальної мережі (FPN) застосовується для покращення навчання в YOLOv4. Точність виявлення пошкоджень на дорожньому покритті досягає від 90 до 99 %.

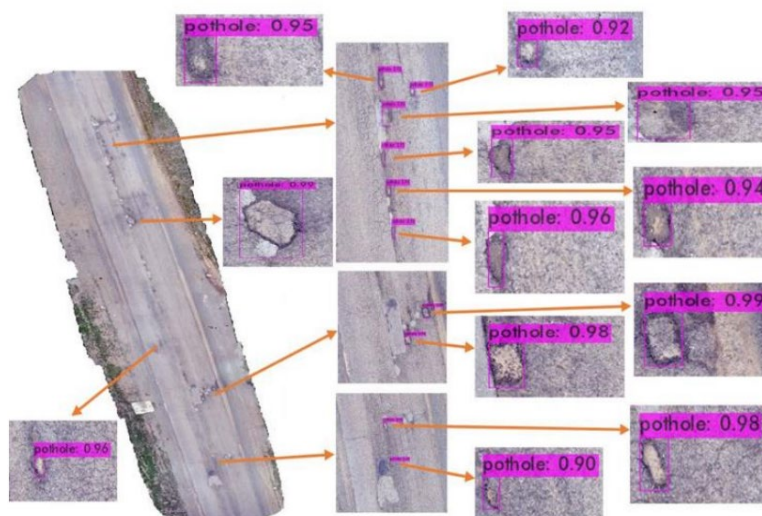


Рис. 4. Виявлення пошкоджень покриття дороги за допомогою алгоритму YOLOv4  
Джерело: розроблено авторами.

При застосуванні моделі для виявлення об'єктів за допомогою глибокого навчання важливим фактором є швидкість процесу навчання та тестування. Час, необхідний для цих етапів, залежить від розміру зображення в наборі даних і потужності використовуваного обладнання. Якщо комп'ютер має потужний графічний процесор (GPU), процес навчання займає менше часу, і навпаки. Можна стверджувати, що використання глибокого навчання для оцінки технічного стану доріг, пошкоджених внаслідок військової агресії, є новим і швидким підходом.

**Висновки.** Топографо-геодезичні роботи були проведені шляхом здійснення геодезичних вимірювань на місці, після чого отримані дані були оброблені та внесені до картографічного матеріалу відповідно до вимог замовника та нормативно-технічної документації. Результати вказують на те, що стан поверхневого покриття досліджуваної дороги (дорога Т0403) є незадовільним. Застосований підхід із використанням зображень з БПЛА дозволяє оцінювати стан досліджуваної дороги та прогнозувати швидкість поширення дефектів на її поверхні, що може суттєво знизити витрати на традиційну інвентаризацію доріг. Проведене дослідження демонструє практичне застосування обстеження стану доріг за допомогою зображень, отриманих із БПЛА. Для більш ефективного моніторингу стану доріг у повністю автоматизованому режимі подальші дослідження мають розглянути можливість використання сучаснішого програмного забезпечення. Можливо, варто розробити повністю автоматизований алгоритм і програму, які б автоматизували оцінювання рівня пошкоджень.

#### Список використаних джерел

1. Ляшенко, Д. О. Геодезичні технології збирання просторових даних для діагностики та паспортизації автомобільних доріг / Д. О. Ляшенко, Д. О. Павлюк // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2021. – Вип. 110. – С. 51-59. DOI: 10.33744 / 0365–8171–2021–110–051–059.
2. Українська навігаційна супутникова система: стан і перспективи / С. В. Нестеренко, Д. А. Єрмоленко, О. В. Шефер, А. В. Клепко // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2021. – Вип. 3 (65). – С. 4-7.
3. Нестеренко, С. В. Експериментальна перевірка точності визначення нормальних висот пунктів за даними GNSS-спостережень / С. В. Нестеренко, Р. А. Міщенко // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2022. – Вип. 199. – С. 68-77.
4. Озарко, К. С. Особливості логістичних процесів у воєнний період: проблеми та перспективи розвитку / К. С. Озарко, В. В. Челомбитько // Економічний вісник Донбасу. – 2022. – № 2. – С. 74-78. DOI: [https://doi.org/10.12958/1817–3772–2022–2\(68\)–74–78](https://doi.org/10.12958/1817–3772–2022–2(68)–74–78).
5. Олізаренко, С. А. Розробка функціональної моделі процесу створення бази знань про розпізнавання об'єктів і дій противника на основі нейромереж та нечіткої логіки / С. А. Олізаренко // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2017. – № 1. – С. 58-62.
6. Тристан, А. В. Метод автоматизованого планування маршруту польоту безпілотної літального апарату для пошуку динамічного об'єкту / А. В. Тристан, А. О. Бережний // Вісник інженерної академії України. – 2019. – Вип. 4 (34). – С. 67-72.
7. Barbasiewicz, A. The analysis of the accuracy of spatial models using photogrammetric software: Agisoft Photoscan and Pix4D / A. Barbasiewicz, T. Widerski, K. Daliga // E3S Web of Conferences. – 2018. – Vol. 26. – P. 00012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20182600012>.
8. Cannelle, B. Application of photogrammetry and image processing for the study of porous surface courses / B. Cannelle, F. Beltzung, M. Thiémond-Spada // The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLIII-B2. – 2020. – Pp. 745-749. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2020-745-2020>.
9. Measurement of road surface deformation using images captured from UAVs / J. Cardenal, T. Fernández, J. L. Pérez-García, J. M. Gómez-López // Remote Sens. – 2019. – Vol.11 (12). – Pp. 1-24. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11121507>.
10. Hutsul, T. Features of UAV classification and selection methods / T. Hutsul, I. Zhezhera, V. Tkach // Technical Sciences and Technologies. – 2023. – № 4 (30). – Pp. 201-212. DOI: 10.25140/2411–5363–2022–4(30)–201–212.

11. Image-based 3D reconstruction using traditional and UAV datasets for analysis of road pavement distress / L. Inzerillo, R. Roberts, L. Inzerillo, G. Di, R. Roberts, D. Mino // *Automation in Construction*. – 2018. – Vol. 96. – Pp. 457-469. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.010>.
12. Unmanned aerial vehicle for road monitoring: fully convolutional networks approach / L. Kotian, A. Chheda, V. Narwane, R. Raut // *Industrial Engineering Journal*. – 2019. – Vol. 12 (6). – Pp. 1-8. DOI: <https://doi.org/10.26488/iej.12.6.1189>.
13. Mu, Y. Automatic detection of near-surface targets for Unmanned Aerial Vehicle (UAV) magnetic survey / Y. Mu, X. Zhang, W. Xie, Y. Zheng // *Rem. Sens.* – 2020. – Vol. 12 (3). – P. 452. DOI: [10.3390/rs12030452](https://doi.org/10.3390/rs12030452).
14. Use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and Photogrammetry to Obtain the International Roughness Index (IRI) on Roads / M. Prosser-Contreras, E. Atencio, F. Muñoz La Rivera, R. F. Herrera // *Appl. Sci.* – 2020. – Vol. 10. – P. 8788. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10248788>.
15. Roberts, R. Using UAV based 3D modelling to provide smart monitoring of road pavement conditions / R. Roberts, L. Inzerillo, G. Di Mino // *Information (Basel)*. – 2020. – Vol. 11(12). DOI: <https://doi.org/10.3390/info11120568>.
16. Saad, A. M. Identification of rut and pothole by using multirotor unmanned aerial vehicle (UAV) / A. M. Saad, K. N. Tahar // *Measurement*. – 2019. – Vol. 137. – Pp. 647–654. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.01.093>.
17. Tan, Y. UAV photogrammetry-based 3D road distress detection / Y. Tan, Y. Li // *ISPRS International Journal of Geo-Information*. – 2019. – Vol. 8(9). – P. 409. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi8090409>.

### References

1. Liashenko, D.O., Pavliuk, D.O. (2021). Heodezychni tekhnolohii zbyrannia prostorovykh danykh dlia diahnostryky ta pasportyzatsii avtomobilnykh dorih [Geodetic technologies of spatial data collection for highway diagnostics and certification]. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo - Automobile roads and road construction*, 110, 51–59. doi: 10.33744/0365–8171–2021–110–051–059.
2. Nesterenko, S.V. (2021). Ukrainska navihatsiina suputnykova systema: stan i perspektyvy [Ukrainian navigation satellite system: status and prospects]. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku – Control, navigation and communication systems*, 3(65), 4–7.
3. Nesterenko, S.V. (2022). Eksperymentalna perevirka tochnosti vyznachennia vysot punktiv za danymy GNSS-sposterezhen [Experimental verification of the accuracy of determining the heights of points based on the data of GNSS observations]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainkoho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Collection of scientific works of the Ukrainian State University of Railway Transport*, 199, 68–77.
4. Ozarko, K.S., Chelomytko, V.V. (2022). Osoblyvosti lohistychnykh protsesiv u voiennyi period: problemy ta perspektyvy rozvytku [Peculiarities of logistics processes during the war period: problems and development prospects]. *Ekonomichnyi visnyk Donbasu – Economic Herald of Donbass*, 2(68), 74–78. doi: 10.12958/1817-3772-2022-2(68)-74-78.
5. Olizarenko, S.A. (2017). Rozrobka funktsionalnoi modeli protsesu stvorennia bazy znan pro rozpoznavannia obektiv i dii protyvnyka na osnovi neiromerzh ta nechitkoi lohiky [Development of a functional model of the process of creating a knowledge base on the recognition of enemy objects and actions based on neural networks and fuzzy logic]. *Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho natsionalnoho universytetu Povitrianykh Syl – Collection of scientific works of the Kharkiv National University of the Air Force*, 1(50), 58–62.
6. Trystan, A.V., Berezhnyi, A.O. (2019). Metod avtomatyzovanoho planuvannia marshrutu polotu bezpilotnoho litalnoho aparatu dlia poshuku dynamichnoho ob'ektu [A method of automated flight route planning of an unmanned aerial vehicle to search for a dynamic object]. *Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy – Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine*, 4(34), 67–72.
7. Barbasiewicz, A., Widerski, T., & Daliga, K. (2018). The analysis of the accuracy of spatial models using photogrammetric software: Agisoft Photoscan and Pix4D. *E3S Web of Conferences*, 26, 00012. doi: 10.1051/e3sconf/20182600012.
8. Cannelle, B., Beltzung, F. (2020). Application of photogrammetry and image processing for the study of porous surface courses. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. doi: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B2–2020–745–2020.



9. Cardenal, J., Fernández, T., Pérez-García, J. L., & Gómez-López, J. M. (2019). Measurement of road surface deformation using images captured from UAVs. *Remote Sens.*, *11*(12), 1–24. doi: 10.3390/rs11121507.
10. Hutsul, T., Zhezhera, I., Tkach, V. (2023). Features of UAV classification and selection methods. *Technical Sciences and Technologies*, *4*(30), 201–212. doi: 10.25140/2411–5363–2022–4(30)–201–212.
11. Inzerillo, L., Roberts, R., Inzerillo, L., Di, G., Roberts, R., Mino, D. (2018). Image-based 3D reconstruction using traditional and UAV datasets for analysis of road pavement distress. *Automation in Construction*. doi: 10.1016/j.autcon.2018.10.010.
12. Kotian, L., Chheda, A., Narwane, V., Raut, R. (2019). Unmanned aerial vehicle for road monitoring: fully convolutional networks approach. *Industrial Engineering Journal*, *12*(6), 1–8. doi: 10.26488/iej.12.6.1189.
13. Mu, Y., Zhang, X., Xie, W., Zheng, Y. (2020). Automatic detection of near-surface targets for Unmanned Aerial Vehicle (UAV) magnetic survey. *Rem. Sens.*, *12*(3), 452. doi: 10.3390/rs12030452.
14. Prosser-Contreras, M., Atencio, E., Muñoz La Rivera, F., Herrera, R. F. (2020). Use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and Photogrammetry to Obtain the International Roughness Index (IRI) on Roads. *Appl. Sci.*, *10*, 8788. doi: 10.3390/app10248788.
15. Roberts, R., Inzerillo, L., & Di Mino, G. (2020). Using UAV based 3D modelling to provide smart monitoring of road pavement conditions. *Information*. doi: 10.3390/info11120568.
16. Saad, A. M., Tahar, K. N. (2019). Identification of rut and pothole by using multirotor unmanned aerial vehicle (UAV). *Measurement*, *137*, 647–654. doi: 10.1016/j.measurement.2019.01.093.
17. Tan, Y., & Li, Y. (2019). UAV photogrammetry-based 3D road distress detection. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. doi: 10.3390/ijgi8090409.

Отримано 08.12.2024

UDC 528.8

**Oleksandr Tsvyk<sup>1</sup>, Valentyn Kravchenia<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>PhD

NNI "Institute of Geology" Taras Shevchenko Kyiv National University (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [tsvik1603@gmail.com](mailto:tsvik1603@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5464-2078>

<sup>2</sup>PhD student

NNI "Institute of Geology", Taras Shevchenko Kyiv National University (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [kvn\\_2005@ukr.net](mailto:kvn_2005@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4160-361X>

## TOPOGRAPHIC AND GEODETIC SUPPORT FOR ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF ROADS DAMAGED AS A RESULT OF MILITARY AGGRESSION

*In the last ten years, unmanned aerial vehicles (UAVs) have gained significant popularity, especially in the most developed countries of the world. Their field of application is quite broad. Drones can monitor road conditions in both urban and remote areas. Topographic and geodetic work was conducted through on-site geodetic measurements, after which the obtained data were processed and incorporated into cartographic materials in accordance with the client's requirements and regulatory technical documentation. The results indicate that the surface condition of the studied road (road T0403) is unsatisfactory.*

*The purpose of the article is to describe the topographic and geodetic support for assessing the technical condition of roads damaged as a result of military aggression using UAVs.*

*It has been established that the implementation of an information management system for assessing the technical condition of roads damaged due to military aggression, which combines GIS capabilities and modern automated data collection tools, allows for effective decision-making aimed at ensuring the normative technical and operational state of the surface throughout its service life and contributes to the rational allocation of financial and material resources. The use of an approach based on images obtained from unmanned aerial vehicles (UAVs) allows for effective assessment of the condition of the studied road and forecasting the rate of defect spread on its surface. This can significantly reduce costs associated with traditional road inventory methods. The conducted study illustrates the practical application of road condition assessment methods using UAV images. To enhance the efficiency of road condition monitoring in a fully automated mode, further research should consider the implementation of modern software solutions. Additionally, it is advisable to develop a fully automated algorithm and program that will ensure automatic assessment of the level of damage.*

*The paper proposes for the first time the use of geodetic points and images obtained through UAVs for assessing the technical condition of roads.*

**Keywords:** road surface; potholes; UAVs; GIS; technical condition; Phantom 4 Advanced; highway T0403; aggression of the Russian Federation, road defects.

Fig.: 4. References: 17.