

ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ СТАНУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ, ТА
ЗАЛІЗНИЦЬ В УМОВАХ ВІЙНИ В УКРАЇНІGEOINFORMATION MONITORING OF THE STATE OF HIGHWAYS AND RAILWAYS
DURING THE WAR IN UKRAINE

Цвик Олександр Васильович, ННІ «Інститут геології», Київський національний університет імені Тараса Шевченка аспірант, e-mail: tsvik1603@gmail.com, тел. +380675778040,

<https://orcid.org/0009-0006-5464-2078>



Ляшенко Дмитро Олексійович, доктор географічних наук, доцент, ННІ «Інститут геології», Київський національний університет імені Тараса Шевченка, професор кафедри геоінформатики, e-mail: uageog@gmail.com, тел. +380673235684,

<https://orcid.org/0000-0001-5588-0322>

Анотація: Актуальність дослідження. В нормативних документах України міститься аналіз терміну «землі автомобільного транспорту» і розглянуто черговість контролю стану доріг за допомогою класичних методів та супутникових знімків. Зазначено, що традиційні методи мають свої обмеження через потребу у ручному вимірюванні і експертному аналізі даних, що ускладнює повне розуміння динаміки пошкоджень, зокрема під час воєнних дій. У дослідженні використано такі методи дослідження: теоретичний аналіз наукової літератури з досліджуваної проблематики; методи статистичного аналізу літературних даних. Дослідження ґрунтується на методах порівняльного аналізу та класифікації. Для вирішення поставлених завдань використовувався системний підхід: відбір матеріалів, індуктивний та логічний методи аналізу, спостереження та методи статистичного аналізу літературних даних. У роботі висвітлено можливості безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для швидкого моніторингу земель транспорту з високою роздільною здатністю. Особливу увагу приділено значним пошкодженням інфраструктури в Україні під час військової агресії росії, зокрема на ділянці автомобільної дороги Херсон-Снігурівка, і висвітлено шляхи відновлення ділянки дороги. Запропоновано послідовність та схему виконання робіт х обстеження та моніторингу пошкоджень на землях транспорту з урахуванням специфіки автомобільних доріг та залізниць.

Ця специфіка полягає у наступному: Особлива увага при плануванні місії (врахування дотикової мережі); Доцільність використання БПЛА типу Mavic для оцінки пошкоджень автомобільних доріг та колії; Доцільність проведення повторних знімків на ділянці. Експериментальні

роботи проведені на ділянці автомобільної дороги с. Снігурівка Херсонської області у 2022 р. показали ефективність запропонованої методики. В процесі узагальнення досвіду використання БПЛА для інвентаризації та моніторингу пошкоджень земель виявлено 25 ушкоджень, спричинених вибухами снарядів, 5 пошкоджень електричних ліній, 3 ушкодження насипного покриття та 10 розривів колії, викликаних зсувом ґрунту.

Ключові слова: дрон, БПЛА, технічний стан, військові дії, залізнична колія, ГІС, вибоїни, GPS-знімання, СУСП, ортофотоплан, землі транспорту.

Вступ. Дорожні агентства по всьому світу визнають важливість використання сучасних геоінформаційних технологій для отримання та управління інформацією [1–5], що дає змогу ухвалювати обґрунтовані й ефективні рішення щодо проектування, будівництва, ремонту та експлуатації автомобільних і залізничних доріг як на локальному, так і на державному рівні. Ці інструменти дозволяють створювати та оновлювати системи управління станом покриття (СУСП або PMS – Pavement Management System). Стрімкий розвиток геоінформаційних систем (ГІС), глобальних систем позиціонування (Global Positioning System – GPS), сучасних методів збору та інтерпретації даних, таких як дистанційне зондування землі (Remote Sensing – RS) і підповерхневе зондування (Ground-Penetrating Radar – GPR), надає можливості для отримання та використання значного обсягу різноманітної інформації (Bianchini Ciampoli L., Gagliardi V., 2020) [9]. ГІС, завдяки здатності оперувати великим обсягом атрибутивної та просторової інформації, а також наявності інструментів для введення, обробки та візуалізації просторових даних, і можливості моделювання сценаріїв розвитку, широко використовуються у світовій практиці управління землями транспорту. Такий широкий спектр можливостей ГІС, разом із необхідністю застосування великого обсягу даних у системі прийняття рішень щодо управління станом дорожнього покриття (PMS), стимулює інтеграцію ГІС автомобільних доріг і систем управління станом покриття, в плану стандартів і форматів нормативних документів.

Через російську військову агресію в Україні з 2014 р. було зруйновано та пошкоджено близько 25 тисяч кілометрів автодоріг загального користування, що складає приблизно 15% від їхньої загальної довжини (рис. 1). З них 9 тисяч кілометрів мають статус доріг державного значення, а решта 16 тисяч – місцевого значення. Найбільші руйнування інфраструктури спостерігаються в районах, де тривають або тривали активні бойові дії. Окремі пошкодження зафіксовані на територіях, що піддалися ракетним і бомбовим ударам, навіть поза зоною бойових дій. Стан дорожніх об'єктів на тимчасово окупованих територіях залишається невідомим.



*Рисунок 1 – Найбільш часті пошкодження доріг при військових діях
Figure 1 – Most frequent road damage during military operations*

Землі залізничного транспорту, відповідно до ст. 68 Земельного кодексу, включають смуги відведення залізниць, території під станціями з відповідними будівлями та спорудами (енергетичні, локомотивні, вагонні та колійні господарства), об'єкти сигналізації, зв'язку, водопостачання й каналізації, а також землі під захисними насадженнями й культурно-побутовими спорудами, що забезпечують функціонування залізниці [6–8]. Землі автомобільного транспорту охоплюють території, зайняті будівлями та спорудами енергетичного, гаражного і паливороздавального господарств, автовокзалами, автостанціями, станціями техобслуговування, автозаправними станціями, авторемонтними заводами, транспортно-експедиційними підприємствами, базами та вантажними дворами. До цієї категорії також належать контейнерні майданчики, місця для перевантаження вантажів і службово-культурні будівлі, що забезпечують функціонування автомобільного транспорту [10].

До земель дорожнього господарства належать ділянки, зайняті проїзною частиною, узбіччями, земляним полотном, зонами декоративного озеленення, резервами, кюветами, мостами, тунелями, транспортними розв'язками, водопропускними спорудами, підпирними стінами та іншими об'єктами дорожньої інфраструктури й обладнанням, розташованими в межах смуг відведення. Крім того, до цієї категорії відносяться землі поза межами смуг відведення, якщо на них розміщені споруди, що забезпечують функціонування автомобільних доріг.

Матеріали та методи. В роботі використано такі методи дослідження: теоретичний аналіз наукової літератури за напрямком дослідження; статистичні методи аналізу літературних даних. В основу дослідження, лягли методи порівняльного аналізу та класифікації. Вирішення поставлених у роботі завдань здійснювалося з використанням системного підходу в доборі матеріалу, методів індуктивного і логічного аналізу, спостереження та статистичні методи аналізу літературних даних.

Метою дослідження є аналіз особливостей виконання геоінформаційного моніторингу для оцінки стану земель транспорту, автомобільних доріг, залізниць їхніх пошкоджень внаслідок бойових дій.

Виклад основного матеріалу. Традиційні методи діагностики та моніторингу стану автомобільних доріг та залізничних колій, які нині використовуються відповідними службами мають істотний недолік, оскільки передбачають ручне проведення вимірювань з поступовим обходом точок контролю та обов'язковим експертним аналізом зібраних даних. Такі періодичні перевірки стану геодезичних масивів, автомобільних доріг і залізничних колій не забезпечують повного розуміння динаміки пошкоджень, спричинених військовими діями. Крім того, використання високоточних спеціалізованих пристроїв вимагає залучення кваліфікованих фахівців, що нерідко є економічно неефективним. Тому застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та геоінформаційних систем для дистанційного оцінювання стану транспортної інфраструктури стає надзвичайно актуальним [11]. Комплекси БПЛА дають можливість здійснювати швидкий дистанційний моніторинг не лише автомобільних доріг та залізничних колій, але й прилеглих територій, забезпечуючи отримання даних з високим розрізненням. Інформація, отримана з безпілотних апаратів, допомагає координувати дії наземних служб і дозволяє оперативно реагувати на виявлення серйозних пошкоджень, спричинених бойовими діями.

Геоінформаційний моніторинг базується на використанні геоінформаційного підходу, який передбачає впорядкування геоданих за такими критеріями, як «місце», «час» і «тема», та їх інтеграцію в єдину інформаційну систему. Ця інтеграція забезпечується за допомогою цифрових карт і моделей, що дозволяє об'єднувати різномірні інформаційні ресурси. Процес моніторингу реалізується через

комплекс інформаційних, технологічних та програмно-технічних засобів, які збирають, аналізують, обробляють, накопичують та оперативно надають просторові дані про об'єкти спостереження. Попри використання різних моделей у кожній з підсистем ГІС-моніторингу, візуальне моделювання залишається ключовим у поданні та інтерпретації даних.

Дистанційне зондування за допомогою супутників та авіаційних апаратів має свої обмеження, включаючи високу вартість, залежність від погодних умов і ризик перекриття зображень хмарами у найнепередбачуваніший момент. В якості альтернативи можна застосовувати безпілотні літальні апарати (БПЛА). У порівнянні з наземними геодезичними методами, такими як тахеометричні вимірювання чи GPS-знімання, БПЛА дозволяють швидко економічно та ефективно виконати аерозйомку невеликих територій для створення кадастрових планів і ортофотопланів. Ортофотоплан є набором аерофотознімків, що після обробки мають однаковий масштаб і прив'язані до геодезичних опорних пунктів. Кожне зображення трансформується для усунення перспективних спотворень та рельєфних відхилень, що дозволяє привести його до ортогональної проекції з точністю, відповідно до топографічних планів і карт [12].

Основною перевагою використання БПЛА для моніторингу стану автомобільних доріг та залізничних колій є можливість забезпечити безпеку, оскільки вони дозволяють уникати ризику взаємодії нерозірваних боєприпасів для людей на територіях, що постраждали від бойових дій. БПЛА мають ряд переваг над традиційними методами супутникової чи авіаційної зйомки: вони можуть працювати на висотах 100–500 метрів, отримуючи детальні знімки до кількох сантиметрів. Автоматизовані чи напівавтоматизовані польоти дозволяють отримувати високоточні зображення з прив'язкою до геодезичних координат. Ефективність таких апаратів підтверджена дослідженнями, проведеними на об'єктах дорожньої інфраструктури та залізничних колій. Для моніторингу стану доріг і залізничних колій необхідно спершу провести використання вільної географічної інформаційної системи з відкритим кодом, як-от QGIS (ліцензія GNU General Public License версії 2), є зручним рішенням [11].

В даному дослідженні вважаємо за доцільне використати для збору даних БПЛА. Завдяки інтеграції з відкритою картою OpenStreetMap (OSM) можна завантажити векторні шари осей доріг та колій, що підлягають дослідженню. Далі необхідно перевірити топологію з використанням плагінів Topology Checker, Geometry Checker, GRASS – v. clean, щоб уникнути таких проблем, як дублювання геометрії, накладання та розриви. Після цього геометрії осей доріг і колій інтегруються у базу геоданих містобудівної документації (розроблену Ініціативою «Відкриті інструменти просторового планування для України») у розділ Transport_Network, після чого вводяться атрибутивні дані (категорії доріг, типи покриття, кількість смуг руху тощо) [13].

Одним із сучасних методів збору даних у рамках управління станом дорожнього покриття є технологія LIDAR (виявлення та визначення дальності за допомогою світла). Цей метод дистанційного зондування базується на використанні лазерних систем і інтегрується з GPS та інерційними вимірювальними системами, що встановлюються на літальних апаратах. Лазерний прилад випромінює до 25 тисяч імпульсів світла за секунду, фіксуючи час їх повернення та кут відбиття. GPS визначає місце розташування, а інерційні системи вимірюють кутові відхилення носія, що дозволяє точно коригувати вимірювану відстань для кожного імпульсу. Ці дані використовуються для створення цифрових профілів дорожнього покриття та вирішення завдань водовідведення [14].



Рисунок 2 – Ортофотоплан досліджуваної дороги (Е 97) та виявлені пошкодження дорожнього полотна

Figure 2 - Orthophotoplane of the studied road (E 97) and detected damage to the roadway

В Україні для створення цифрових моделей доріг широко застосовуються такі програми, як Agisoft PhotoScan, CREDO Дороги, AutoCAD, Pythagoras, Trimble Office та MapInfo. Для оцінки стану доріг, пошкоджених через військові дії, використовують програмне забезпечення Road Doctor і Drone Deploy в ході робіт 2014 р. Дані збиралися з використанням мережі геодезичних пунктів Херсонської області (дорога Е97) та зображень, отриманих із безпілотних літальних апаратів, зокрема моделі Phantom 4 Advanced.

Зйомка території здійснювалася за допомогою GNSS RTK-приймача GPS «Leica Geosystems» GS 08 plus та тахеометра Trimble M³ 5» DR. Отримані зображення були оброблені і скориговані за допомогою програмного забезпечення Drone Deploy (для Android або iOS), після чого координати було перетворено з системи СК – 63 у WGS – 84. Оцінювання ступеня пошкодження геодезичних знаків вздовж дороги проводилось у QGIS 3.34.0-Prizren з використанням шару Google Hybrid. На фотокарту було нанесено відомі координати розташування геодезичних пунктів у Херсонській області (Херсон-Інженерне), зокрема на ділянці дороги Е97.



Рисунок 3 – Вид пошкодженої ділянки дороги з БПЛА, що створені на основі зображень, отриманих за допомогою БПЛА

Figure 3 – View of the damaged road section from UAVs created based on images obtained using UAVs

Аналіз зображення дозволив визначити типи пошкоджень дорожнього покриття в 3D-моделі (внизу) з урахуванням реальних умов експлуатації.



Рисунок 4 – Виявлені в результаті військових дій пошкодження на дорозі E 97 (а) – вибоїна на дорозі, б), в) г) – пошкодження краю дороги)

Figure 4 – Damage detected as a result of military operations on the road e 97 (a) - pothole on the road, b), c) d) - damage to the road edge

Моніторинг земель залізничного транспорту засвідчив, що безпілотні літальні апарати, здатні в реальному часі оглядати великі ділянки залізничних ліній, стали новим інструментом підтримки у моніторингу інфраструктури. Ці технології дозволяють оперативно оцінити стан залізничного господарства в умовах війни в Україні. Після проведення аерофотозйомки за допомогою БПЛА здійснюється обробка знімків з використанням фотограмметричного програмного забезпечення для створення точної тривимірної хмари точок. Порівнюючи ці дані з хмарами контрольних точок, отриманими під час попереднього моніторингу, можна виявити зміни в залізничній інфраструктурі. На відміну від традиційних методів візуального огляду залізничних об'єктів, дані топографічної зйомки доповнюються ортозображеннями з площиною проєкції, паралельною площині відліку, що забезпечує дуже високу роздільну здатність.



Рисунок 5 – а) - Схематичне зображення досліджуваної ділянки залізничного маршруту (Херсон-Снігурівка), б) - підготовка БПЛА до моніторингу колії, в) – вигляд колії з БПЛА

Figure 5 – а) - schematic representation of the studied section of the railway route (Kherson-Snigirevka), б) - preparation of the UAV for track monitoring, в) - view of the track from the UAV

У дослідженні використовувалися професійні безпілотні літальні апарати типу Mavic Air, обладнані камерами Ultra 4K, які здатні записувати відео у форматі UHD (надвисокої чіткості - 4096 x 2160 пікселів). Ці БПЛА мають різні режими зйомки та можливість огляду об'єктів як горизонтально, так і вертикально.

Підготовка до польових випробувань над залізничною колією з використанням БПЛА повинна розпочинатися з перевірки доступності повітряного простору над обраною територією та детального аналізу маршруту польоту. При польотах у межах залізничної лінії особливу увагу необхідно звертати на дотикову мережу та рухомий склад. На під'їзних шляхах ризики можуть бути ще більшими.

Сильне сонячне освітлення може викликати відбиття променів від рейок, що погіршує якість знімків. Крім того, сильний вітер та інтенсивні опади можуть заважати дрону залишатися в повітрі, підтримувати прямий курс або навіть пошкоджувати обладнання.

В процесі роботи БПЛА використовує кути зйомки: 90° (перпендикулярно до поверхні) та 27°, 45°, 60°. Кожен із цих варіантів дозволяє спостерігати за різними елементами інфраструктури і може бути обраний автоматично або оператором. Вертикальні об'єкти (опори, семафори) вимагають зйомки під гострим кутом до горизонту.



Рисунок 6 – а) - проведення моніторингу залізничної колії та мосту за допомогою БПЛА, б) - оцінка якості залізничної колії, в) - огляд тунелю, г) - тривимірне моделювання досліджуваного тунелю

Figure 6 - а) - Monitoring of the railway track and bridge using UAVs, б) - assessment of the quality of the railway track, в) - inspection of the tunnel, г) - three-dimensional modeling of the tunnel under study

Знімання залізничної лінії та мосту за допомогою БПЛА дозволяє отримати точні дані, а 3D-фотограмметричне моделювання залізничної інфраструктури забезпечує детальну візуалізацію її

стану. Огляд тунелю за допомогою дронів також дає змогу проводити детальні перевірки, а тривимірний хмара точок тунелю надає можливість аналізу внутрішньої структури і пошкоджень.

Одним із прикладів вимірювального обладнання, встановленого на БПЛА, є система контролю цілісності рейок, яка здатна виявляти пошкодження, викликані вибухами під час бойових дій. В ході оцінювання стану залізничної колії на ділянці маршруті Херсон-Снігурівка було зафіксовано 25 ушкоджень, спричинених вибухами снарядів, 5 пошкоджень електричних ліній, 3 ушкодження насипного покриття та 10 розривів колії, викликаних зсувом ґрунту.



Рисунок 7 – Виявлені за допомогою БПЛА пошкодження на досліджуваній ділянці
Figure 7 - Damage detected by UAVs in the study area

Ця система допомагає прийняти рішення про доцільність реконструкції інфраструктури. З такою системою здатен досягати швидкості польоту та посадки 5–10 м/сек і може бути в повітрі до 20 хвилин. Завдяки алгоритмам MVS (Multi-View Stereo) проводиться тривимірне моделювання за масивом зображення, отриманими за допомогою БПЛА, з точністю, яка порівнянна з точністю 3D-лазерних сканерів. Дослідження порівнювало результати MVS з CAD-моделлю, використовуючи метод ICP (Iterative Closest Point). Точність кожної секції колії порівнювалася з рейкою 60 E1. Надалі результати ICP можуть слугувати показником для оцінки ступеня деформації рейок.

Висновки. В процесі узагальнення досвіду використання БПЛА для інвентаризації та моніторингу пошкоджень земель виявлено 25 ушкоджень, спричинених вибухами снарядів, 5 пошкоджень електричних ліній, 3 ушкодження насипного покриття та 10 розривів колії, викликаних зсувом ґрунту. Запропоновано послідовність та схему виконання робіт з обстеження та моніторингу пошкоджень на землях транспорту з урахуванням специфіки автомобільних доріг та залізниць.

Ця специфіка полягає у наступному:

- Особлива увага при плануванні місії (врахування дотикової мережі);
- Доцільність використання БПЛА типу Mavic для оцінки пошкоджень автомобільних доріг та колії;
- Доцільність проведення повторних знімків на ділянці.

Експериментальні роботи проведені на ділянці автомобільної дороги с. Снігурівка Херсонської області у 2022 р. показали ефективність запропонованої методики. Вважаємо можливим використання методики з участю БПЛА для обстеження і моніторингу пошкоджень земель транспорту на інших територіях.

Перелік посилань

1. ДСТУ Б В. 2. 3–33:2016 Автомобільні дороги. Визначення меж смуг відведення [Чинний від 2017–01–01]. Київ: Мінрегіон України, 2016. 31 с.
2. Костріков С. В., Серьогін Д. С. Відтворення топографічної поверхні урбанізованих територій на підставі геобробки лідарних даних. Матеріали доповідей XIII науково-практичного семінару за міжнародної участі «Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат та прилеглих територій» (м. Львів, 2–3 березня 2023 р). Львів, 2023. С. 72–77.
3. Askarzadeh T., Bridgelal R., Tolliver D. A Systematic Literature Review of Drone Utility in Railway Condition Monitoring. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 2023, 149 (6). doi: 10.1061 / jtepbs. teeng – 7726.
4. Artagan S. S., Bianchini Ciampoli L., D’Amico F. Nondestructive assessment and health monitoring of railway infrastructures, *Surv. Geophys.* 41 (2020). 447–483, <https://doi.org/10.1007/s10712-019-09544-w>.
5. Banh Lau M., Foina A., Dachuan L., Yeshun L., Redondo N., Aloysius X. Title Evaluation of Feasibility of UAV Technologies for Remote Surveying BART Rail Systems. UC Berkeley: Bay Area Rapid Transit (BART). 2018. Retrieved 02.10.2024, from <https://escholarship.org/uc/item/3qr9v29d>.
6. Banić M., Miltenović A., Pavlović M., Ćirić I. Intelligent machine vision based railway infrastructure inspection and monitoring using UAV. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 2019, 17 (3), 357–364. doi: 10.22190 / FUME190507041B.
7. Benedetto A., Tosti F., Ciampoli L. B., Calvi A., Brancadoro M. G. Railway ballast condition assessment using ground-penetrating radar-An experimental, numerical simulation and modelling development, *Constr. Build. Mater.* 140 (2017). 508–520, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.110>.
8. Bertolini L., D’Amico F., Napolitano A. A BIM-based approach for pavement monitoring integrating data from non-destructive testing methods (NDTs), *Infrastructures*. 8 (5), (2023), 81, <https://doi.org/10.3390/infrastructures8050081>.
9. Bianchini Ciampoli L., Gagliardi V. Transport infrastructure monitoring by InSAR and GPR data fusion, *Surv. Geophys.* 41 (2020) 371–394, <https://doi.org/10.1007/s10712-019-09563-7>.
10. Butilă E. V., Boboc R. G. Urban Traffic Monitoring and Analysis Using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Systematic Literature Review. *Remote Sens.* 2022, 14, 620. <https://doi.org/10.3390/rs14030620>.
11. Chu C., Wang L., Xiong H. A review on pavement distress and structural defects detection and quantification technologies using imaging approaches. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. 2022. Vol. 9. Iss. 2. P. 135–150. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.04.007>.
12. Choi, H. – W.; Kim, H. – J.; Kim, S. – K.; Na, W. S. An Overview of Drone Applications in the Construction Industry. *Drones* 2023, 7, 515. <https://doi.org/10.3390/drones7080515>.
13. Gagliardi V., Tosti F., Bianchini L. Ciampoli Satellite remote sensing and non-destructive testing methods for transport infrastructure monitoring: advances, challenges and perspectives, *Remote Sens.* 15 (2) (2023) 418, <https://doi.org/10.3390/rs15020418>.
14. Guan L., Li X., Yang H., Jia L. A Visual saliency based railway intrusion detection method by uav remote sensing image. 2020, 8, pp. 291–295. Beijing, China: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. doi: 10.1109 / SDPC49476.2020.9353141.

GEOINFORMATION MONITORING OF THE STATE OF HIGHWAYS AND RAILWAYS DURING THE WAR IN UKRAINE

Tsvik Alexander V., second-year post-graduate student NNI “Institute of Geology”, Taras Shevchenko Kyiv National University, e-mail: tsvik1603@gmail.com, tel. +380675778040, <https://orcid.org/0009-0006-5464-2078>

Lyashenko Dmytro O., Doctor of Geographical Sciences, Associate Professor, NNI “Institute of Geology”, Taras Shevchenko Kyiv National University, Professor of the Department of Geoinformatics, e-mail: uageog@gmail.com, tel. +380673235684, <https://orcid.org/0000-1-5588-0322>

Summary. The regulatory documents of Ukraine contain an analysis of the term "road transport lands" and consider the order of road condition monitoring using classical methods and satellite images. It is noted that traditional methods have their limitations due to the need for manual measurement and expert analysis of data, which makes it difficult to fully understand the dynamics of damage, in particular during military operations. The research uses the following research methods: theoretical analysis of scientific literature on the problem under study; methods of statistical analysis of literature data. The study is based on methods of comparative analysis and classification. To solve these problems, a systematic approach was used: selection of materials, inductive and logical methods of analysis, observation and methods of statistical analysis of literature data. The paper highlights the capabilities of unmanned aerial vehicles (UAVs) for rapid monitoring of transport lands with high resolution. Special attention is paid to significant damage to infrastructure in Ukraine during Russia's military aggression, in particular on the section of the Kherson-Snigirevka highway, and ways to restore the road section are highlighted. The sequence and scheme of work X survey and monitoring of damage on transport lands is proposed, taking into account the specifics of highways and railways.

These specifics are as follows: special attention when planning a mission (taking into account the Touch Network); the feasibility of using Mavic-type UAVs to assess damage to highways and tracks; the feasibility of conducting repeated surveys on the site. Experimental work carried out on a section of the highway in the village of Snigirevka, Kherson region, in 2022 showed the effectiveness of the proposed method.

Keywords: drone, UAV, technical condition, military operations, railway track, GIS, potholes, GPS survey, susp, orthophotoplane, transport lands.

References

1. DSTU B V. 2.3–33:2016 Avtomobiljni doroghy. Vyznachennja mezh smugh vidvedennja [Chynnyj vid 2017–01–01]. Kyjiv: Minregion Ukrainy, 2016. 31 s.
2. Kostrikov S. V., Serjoghin D. S. Vidtvorenja topoghrafichnoji poverkhni urbanizovanykh terytorij na pidstavi gheobrobky lidarnykh danykh. Materialy dopovidej XIII naukovo-praktychnogho seminaru za mizhnarodnoji uchasti «Problemy gheomorfologhiji i paleogheoghrafiji Ukrajinsjkykh Karpat ta prylehlykh terytorij» (m. Ljviv, 2–3 bereznja 2023 r). Ljviv, 2023. S. 72–77.
3. Askarzadeh T., Bridgelal R., Tolliver D. A Systematic Literature Review of Drone Utility in Railway Condition Monitoring. Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems, 2023, 149 (6). doi: 10.1061 / jtepbs. teeng – 7726.

4. Artagan S. S., Bianchini Ciampoli L., D'Amico F. Nondestructive assessment and health monitoring of railway infrastructures, *Surv. Geophys.* 41 (2020). 447–483, <https://doi.org/10.1007/s10712-019-09544-w>.
5. Banh Lau M., Foina A., Dachuan L., Yeshun L., Redondo N., Aloysius X. Title Evaluation of Feasibility of UAV Technologies for Remote Surveying BART Rail Systems. UC Berkeley: Bay Area Rapid Transit (BART). 2018. Retrieved 02.10.2024, from <https://escholarship.org/uc/item/3qr9v29d>.
6. Banić M., Miltenović A., Pavlović M., Ćirić I. Intelligent machine vision based railway infrastructure inspection and monitoring using UAV. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 2019, 17 (3), 357–364. doi: 10.22190/FUME190507041B.
7. Benedetto A., Tosti F., Ciampoli L. B., Calvi A., Brancadoro M. G. Railway ballast condition assessment using ground-penetrating radar-An experimental, numerical simulation and modelling development, *Constr. Build. Mater.* 140 (2017). 508–520, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.110>.
8. Bertolini L., D'Amico F., Napolitano A. A BIM-based approach for pavement monitoring integrating data from non-destructive testing methods (NDTs), *Infrastructures*. 8 (5), (2023), 81, <https://doi.org/10.3390/infrastructures8050081>.
9. Bianchini Ciampoli L., Gagliardi V. Transport infrastructure monitoring by InSAR and GPR data fusion, *Surv. Geophys.* 41 (2020) 371–394, <https://doi.org/10.1007/s10712-019-09563-7>.
10. Butilă E. V., Boboc R. G. Urban Traffic Monitoring and Analysis Using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Systematic Literature Review. *Remote Sens.* 2022, 14, 620. <https://doi.org/10.3390/rs14030620>.
11. Chu C., Wang L., Xiong H. A review on pavement distress and structural defects detection and quantification technologies using imaging approaches. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. 2022. Vol. 9. Iss. 2. P. 135–150. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.04.007>.
12. Choi, H. – W.; Kim, H. – J.; Kim, S. – K.; Na, W. S. An Overview of Drone Applications in the Construction Industry. *Drones* 2023, 7, 515. <https://doi.org/10.3390/drones7080515>.
13. Gagliardi V., Tosti F., Bianchini L. Ciampoli Satellite remote sensing and non-destructive testing methods for transport infrastructure monitoring: advances, challenges and perspectives, *Remote Sens.* 15 (2) (2023) 418, <https://doi.org/10.3390/rs15020418>.
14. Guan L., Li X., Yang H., Jia L. A Visual saliency based railway intrusion detection method by uav remote sensing image. 2020, 8, pp. 291–295. Beijing, China: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. doi: 10.1109/SDPC49476.2020.9353141.

Дата надходження до редакції 5.11.2024