

ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНИХ І ГІДРОГРАФІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Тарнавський Вячеслав^{1*}

¹ Кафедра геодезії, землеустрою та інженерії безпілотних технологій, Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква, Україна, *e-mail: viacheslav.tarnavskiy@btsau.edu.ua

Анотація. У дослідженні проаналізовано результати апробації інноваційної інтегрованої моделі топографо-геодезичних та гідрографічних досліджень, яка передбачає комплексне використання геодезичних і гідрографічних систем, методів та вимірювальних пристроїв для отримання високоточних геопросторових даних. Модель забезпечує можливість створення тривимірних (3D) і двовимірних (2D) картографічних моделей водного простору та пов'язаних з ним об'єктів, з урахуванням рельєфу дна, конфігурації берегової лінії та площинних характеристик водойми. Врахування зазначених факторів є критично важливим для раціонального господарського використання водних природних ресурсів.

Експериментальні дослідження виконані на прикладі ставка, розташованого у Київській області, Білоцерківському районі, Тетіївській територіальній громаді, с. Ріденьке (за межами населеного пункту), Україна. Збір даних здійснювався із застосуванням кількох взаємодоповнювальних методів: гідролокаційного зондування, GNSS-знімання та дистанційного аерофотознімання за допомогою безпілотного літального апарата. Це дозволило виконати геодезичну інвентаризацію гідротехнічних споруд та суміжної наземної інфраструктури.

У результаті обробки отриманих даних сформовано цифрову модель місцевості (ЦММ), тривимірні та двовимірні картографічні матеріали у масштабі 1:500, що забезпечують детальну візуалізацію рельєфу дна та навколишнього середовища об'єкта. Отримані матеріали можуть бути використані для інвентаризації та паспортизації гідротехнічних споруд, а також для завдань землепорядкування та просторового планування території.

Ключові слова: безпілотні технології, водний об'єкт, глибина, рельєф, гідрографічна зйомка, землеустрій, топографо-геодезичні вишукування, GNSS, ехолот.

Актуальність теми дослідження

Останнє десятиріччя ознаменувалося активним впровадженням інноваційних технологій у геодезію та гідрографію, зокрема безпілотних літальних апаратів (БПЛА) з фотограмметричними системами, GNSS RTK/PPK технологій, гідроакустичних приладів нового покоління, а також алгоритмів автоматизованої обробки даних із використанням штучного інтелекту (AI). Комплексне застосування цих технологій відкриває можливості для отримання високоточних, оперативних та багатовимірних геопросторових даних, необхідних для паспортизації, інвентаризації та екологічного моніторингу водних об'єктів.

Дослідження провідних вчених (Buzás, N., & Kovács, T., 2020; Schmidt, 2020) та наші дослідження (Тарнавський, Єрмилов, 2023) демонструють, що комбіноване застосування сучасних технологій відкриває нові горизонти для точного і економічного картографування водних об'єктів.

Сучасний етап розвитку геодезії та гідрографії характеризується швидким впровадженням високотехнологічних рішень, які докорінно змінюють підходи до вивчення, картографування та моніторингу водних об'єктів. Глобальні кліматичні зміни, інтенсифікація господарської діяльності в прибережних зонах, процеси ерозії та

замулення, підвищення екологічних ризиків — усі ці чинники зумовлюють потребу в оперативному отриманні високоточних даних про просторові та морфометричні характеристики акваторій.

Традиційні методи топографо-геодезичних та гідрографічних робіт, хоча й забезпечують належну точність, мають суттєві обмеження у швидкості виконання, масштабованості та вартості. У зв'язку з цим на перший план виходить використання інноваційних технологій, які дозволяють комплексно, швидко та економічно ефективно проводити дослідження водних об'єктів у різних природних і кліматичних умовах.

Методика

Дослідження виконано відповідно до норм чинного законодавства (Верховна Рада України, 1998) на основі інтегрованого підходу, який поєднує технології глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS), безпілотних авіаційних платформ (БАП) та гідролокаційних вимірювальних комплексів. Така комбінація методів забезпечує високоточне отримання геопросторових даних та їх подальшу комплексну обробку з метою створення цифрових моделей місцевості (ЦММ) і водного дна. Визначення просторових координат виконувалося з використанням двочастотного GNSS-приймача ELNav I70, що працює в режимі RTK та підтримує глобальні супутникові системи GPS, GLONASS, Galileo і BeiDou.

Методика передбачала використання мережі референцних станцій в режимі «NRTK» — для контролю контурів угідь та об'єктів, та режим «Static» - для визначення та контролю висотних відміток, збереження даних у форматі RINEX для подальшої камеральної обробки (System Solution, 2025).

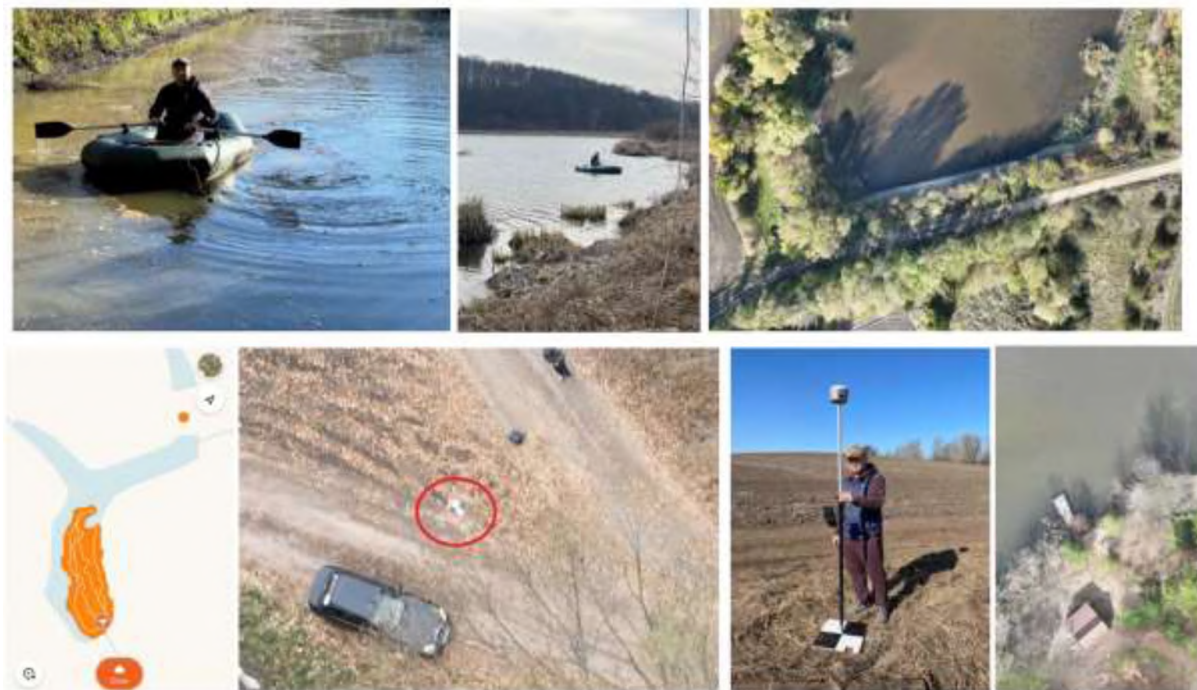


Рисунок 1. Фотофіксація проведення топографо-геодезичних та гідрографічних вишукувань

Розрахунок середньоквадратичної похибки проводився відповідно до вимог чинного законодавства щодо виконання знімання відповідного масштабу (Міністерство аграрної політики та продовольства України, 2025), що дозволило забезпечити точність у межах $\pm 0,02$ м по плану та $\pm 0,03$ м по висоті.

Аерофотозйомка виконувалася безпілотним коптером DJI Mavic 3, обладнаним камерою з CMOS-матрицею 4/3" та роздільною здатністю 20 МП. Визначення оптимальної висоти польоту — 50 м для масштабів карт 1:500 та 1:1000. Встановлення наземних опорних точок розміром 50×50 см, координати яких визначалися за допомогою GNSS-приймача. Глибинні характеристики водного об'єкта визначалися за допомогою професійного ехолоту Deeper+ Sonar FLDP-13. За результатами гідрографічних вишукувань було сформовано CSV файли з експортом результатів у форматі XYZ для інтеграції з даними супутникових сесій та аерофотозйомки.

Виклад основного матеріалу

Об'єднання результатів трьох видів вимірювань здійснювалося у програмному комплексі Delta/Digitals XE, що дозволило:

- створити цифрову модель місцевості (ЦММ) у 3D-форматі;
- сформувати двовимірні картографічні матеріали у масштабі 1:500;
- провести просторовий аналіз рельєфу дна та берегової лінії.

Отримані матеріали стали основою для оцінки фактичного стану водного об'єкта, виявлення розбіжностей з даними Державного земельного кадастру (ДЗК) та підготовки рекомендацій щодо проведення інвентаризації і паспортизації водного об'єкта (Державна служба з питань геодезії картографії та кадастру, 2025).

Ключовими результатами такого підходу стали створення цифрової моделі місцевості, побудова карти висот та формування детальної хмари точок на основі матеріалів аерофотозйомки з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

Особливу увагу у ході дослідження було приділено аналітичному порівнянню отриманих результатів із наявними матеріалами Державного земельного кадастру (ДЗК). Проведений аналіз виявив суттєві розбіжності між площами водного дзеркала, зафіксованими у кадастрових даних, та фактичними показниками, визначеними шляхом сучасних топографо-геодезичних та гідрографічних вимірювань. Зокрема, встановлено, що дані ДЗК, сформовані на підставі ортофотопланів 2004 року, не враховують сезонних і міжрічних змін рівня води, а також містять помилки, пов'язані з недосконалим дешифруванням зображень та відсутністю актуальної гідрологічної інформації.



Рисунок 2. Креслення водного об'єкту М 1:1000 та схема розбіжностей ДЗК та існуючого стану

Додатковим важливим аспектом є необхідність інтеграції отриманих результатів топографо-геодезичних та гідрографічних вишукувань у процес паспортизації водних об'єктів. Це дозволить мінімізувати типові проблеми, пов'язані з накладанням земельних ділянок на водні площі, помилками у визначенні категорій земель, а також іншими невідповідностями, що негативно впливають на ефективність управління земельними ресурсами та створюють ризики для збереження екологічної рівноваги у водних екосистемах.

Результати комплексного дослідження переконливо свідчать про нагальну необхідність проведення інвентаризації та актуалізації відомостей ДЗК із використанням сучасних технологій збору геопросторових даних — зокрема БПЛА, GNSS та спеціалізованого програмного забезпечення. Впровадження регулярного моніторингу стану водних об'єктів на основі інноваційних методів дистанційного зондування та високоточної геодезії створить умови для підвищення достовірності картографічних матеріалів, забезпечить належний рівень кадастрової інформації та сприятиме більш раціональному й екологічно збалансованому використанню водних та земельних ресурсів.

Висновки

Актуалізовані дані можуть стати основою для розробки проєктів землеустрою та заходів із відновлення екологічного стану водойм. Отримані результати доцільно використовувати для паспортизації та інвентаризації водних об'єктів, що дозволить усунути проблеми накладання земельних ділянок на акваторії та забезпечить правильне віднесення угідь до відповідних категорій земель. Використання інноваційних методів моніторингу варто включити у практику роботи територіальних громад та органів кадастрового адміністрування. Розробка алгоритмів інтеграції геопросторових даних у геоінформаційні системи (ГІС) з елементами штучного інтелекту для автоматизованої актуалізації кадастрової інформації.

Розширення досліджень у напрямку оцінки динаміки змін гідроморфологічних характеристик водойм для прогнозування впливу кліматичних змін та господарської діяльності на водні ресурси. Формулювання інтегральної моделі, що є узгодженою функціонально-стохастичною схемою спільного зрівнювання GNSS, БПЛА-фотограмметрії та ехолота з одночасною оцінкою рівня води й систематичних похибок. Вона має забезпечувати метрологічно контрольовану побудову єдиної топобатиметричної поверхні для задач інвентаризації, паспортизації та просторового планування.

Отже, проведені дослідження підтверджують високу ефективність інноваційних методів у сфері топографо-геодезичних та гідрографічних робіт. Систематичне застосування інтегрованих технологій дозволить суттєво підвищити точність та актуальність геопросторової інформації, що є необхідною умовою для раціонального використання та охорони водних і земельних ресурсів.

Перелік літературних джерел

- Верховна Рада України. (1998). Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність (Закон України № 353-XIV). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14#Text>
- Міністерство аграрної політики та продовольства України. (2025). Про затвердження Порядку з топографічної зйомки у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (Наказ № 1675). Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 05 червня 2025 р. за № 868/44274. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0868-25#Text>

- Тарнавський, В. А., & Єрмилов, Д. А. (2023). Виконання комплексу аерознімальних робіт за допомогою безпілотних літальних апаратів методами RTK/PPK. У Землепорядна галузь України: здобутки, виклики та перспективи: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції (с. 75–77). Біла Церква: БНАУ.
- Тарнавський, В. А., & Єрмилов, Д. А. (2023). Переваги застосування безпілотних водних апаратів при проведенні гідрографічної зйомки. У Аграрна освіта та наука: досягнення, роль, фактори росту: матеріали міжнародної науково-практичної конференції (с. 74–76). Біла Церква: БНАУ.
- ТОВ «Аналітика». (2025). Delta\Digitals XE for Windows version Professional. Офіційний сайт. <http://www.vinmap.net>
- Buzás, N., & Kovács, T. (2020). Advanced GNSS methodologies for topographic surveys in urban environments. Journal of Geodetic Science, 10, 34–48. <https://doi.org/10.2478/jogs-2020-1234>
- Schmidt, V. (2020). Hydrographic survey with autonomous surface vessels: A best practices guide. International Hydrographic Review, P-1(24), 189–201. <https://doi.org/10.25607/OBP-1567>
- System Solution. (2025). Офіційний сайт. <https://systemnet.com.ua>
- Державна служба з питань геодезії картографії та кадастру (2025). Офіційний сайт.URL: <https://land.gov.ua>