

ОБ'ЄМ ВОДИ У ХВОСТОСХОВИЩІ: БЕЗПІЛОТНІ ВИМІРЮВАННЯ

АСМАНОВ Роман Романович

*студент 4-го курсу ОС «Бакалавр»
спеціальності «Геодезія та землеустрій»*

Науковий керівник

ПАЛАМАР Альона Юріївна

*к.т.н., доцент кафедри геодезії
Криворізький національний університет
м. Кривий Ріг, Україна
palamar1alena@knu.edu.ua*

Нормальна робота гірничо-збагачувальних підприємств потребує точного обліку води та хвостів у хвостосховищах, які виконують функції складування відходів та накопичення технологічної води. Визначення об'єму води дозволяє контролювати залишкову ємність, кількість хвостів і вільний об'єм резервуару, а традиційні методи мають обмеження через інженерні споруди та мілководдя прибережних зон. Застосування автоматизованих безпілотних човнів з багатопроменими ехолотами дозволяє отримати високоточні гідрографічні дані та створити детальні тривимірні цифрові моделі дна хвостосховища з роздільною здатністю до 10–15 см [1]. Комбінування гідрографічних вимірів із аерофотозніманням забезпечує точне визначення меж води у реальному часі та дозволяє контролювати зміну об'ємів у процесі технологічної роботи хвостосховища. Такі підходи підвищують точність контролю об'єму води та залишкової ємності хвостосховищ, сприяють раціональному використанню водних і земельних ресурсів та зменшенню втрат технологічної води, що є особливо важливим в умовах сучасних економічних і екологічних вимог. Розробка та впровадження подібних методів є актуальним завданням для гірничо-збагачувальних підприємств, що прагнуть до підвищення ефективності виробництва та безпечної експлуатації гідротехнічних споруд [2].

Хвостосховища гірничо-збагачувальних підприємств – складні інженерні споруди, які одночасно виконують функцію складування відходів та накопичення води для технологічних процесів. Контроль об'єму води є критично важливим для безпечної експлуатації, дотримання проектних параметрів наміву та запобігання аваріям, які можуть спричинити серйозне забруднення довкілля, як це сталося у Європі та Україні. Зважаючи на небезпеку та складність таких об'єктів, сучасні методи вимірювання об'єму води передбачають використання гідрографічних зйомок, ехолотів та аерофотознімання, що дозволяє отримати точні тривимірні моделі дна хвостосховища і забезпечити ефективний контроль водного ресурсу та безпеку довкілля. Для виконання гідрографічних робіт було розроблено малий

дистанційно керований човен з автопілотом, здатний автоматично реєструвати глибини водойми. Човен оснащений безколекторним електродвигуном, двочастотним GNSS-приймачем для точного позиціювання, ехолотом з технологією CHIRP та бездротовим зв'язком для управління на відстані до 600–1500 м. Використання автопілоту дозволяє човну рухатися за заданою траєкторією, утримувати позицію та виконувати автоматичне повернення до старту, що значно спрощує та прискорює польові роботи [3].

Програмне забезпечення Mission Planner забезпечує налаштування автопілоту та планування місії, що дозволяє обійтися без класичної прив'язки до опорних пунктів і лінійно-кутових вимірів. Для хвостосховищ, де рівень води змінюється через безперервний налив пульпи, більш ефективним залишається ручне керування човном, але точне навігаційне обладнання скорочує час робіт і витрати людей. Використання ехолота з технологією CHIRP забезпечує високу роздільну здатність та чітке відображення підводного рельєфу. Завдяки цьому метод дозволяє отримати детальні тривимірні моделі дна хвостосховища, що підвищує точність визначення об'єму води та контролю за укладанням хвостів.

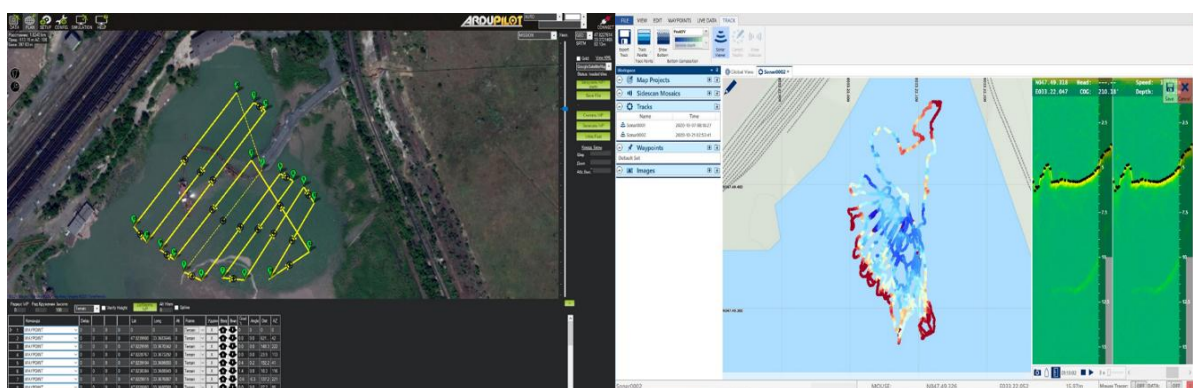


Рисунок 1 – Планування місії та обробка даних з ехолоту

Для точного позиціювання під час гідрографічних робіт у човні встановлено додатковий GNSS-приймач у режимі PPK, який записує сирі дані («raw data») протягом усього маршруту. Для обробки цих даних використовується програмне забезпечення RTKLib: сирі дані конвертуються у формат RINEX та обробляються у RTKPost, що дозволяє отримати точні координати точок вимірювань ехолотом. Результати обробки відображаються графічно та у вигляді каталогу точок, що дає змогу оцінити точність та розташування кожної точки спостережень. Після завершення польових робіт та визначення просторових координат човна виконують суміщення даних навігаційного приймача ехолота з інформацією високоточного GNSS-приймача, встановленого на човні. Це дозволяє підвищити точність позиціювання точок вимірювань і врахувати можливі розбіжності між приладами. Завдяки такому поєднанню даних забезпечується більш коректне визначення глибин та формування точних карт рельєфу дна хвостосховища,

що є критично важливим для розрахунку об'єму води та планування подальших управлінських і технологічних заходів.

Різниця висотних відміток до 5 м зумовлена рухом човна по хвилях. Після приведення всіх замірів до єдиної відмітки дзеркала води ці коливання враховано. Отриманий маршрут ехолоту суміщено з аерофотозйомкою, зробленою БПЛА, яка прив'язана до тієї ж базової станції, що й GNSS-приймач човна, для точного позиціювання. Після обробки даних визначено, що відмітка дзеркала води становить 122,61 м, мінімальна глибина дна – 118,11 м, площа дзеркала води – 35,5 га. Об'єм води розраховано методом горизонтальних перетинів та за допомогою програм Digital та Geonics шляхом побудови 2D та 3D поверхні; отримані результати показують близькі значення об'єму води, рис. 2.

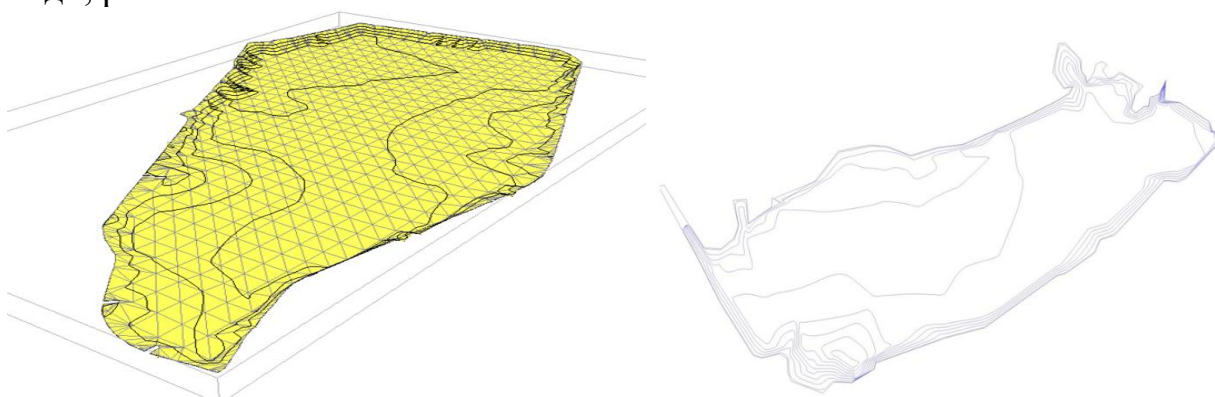


Рисунок 2 – Розрахункова 3D та 2D модель карти хвостосховища

Отже, Об'єм води у хвостосховищі було визначено трьома методами: графоаналітичним, у програмних комплексах Digital та Geonics. Середнє значення об'єму склало 669 897 м³, при цьому точність визначення не перевищує 1,1 %. Розрахунки виконувалися за методами призм та квадратів, що дозволяє враховувати складний рельєф дна і отримувати максимально точні результати. Для побудови цифрової моделі дна застосовувалася інтерполяція опорних точок із формуванням нерегулярної мережі, що дозволяє відтворити поверхню максимально наближено до реальної. Використання безпілотного човна із високоточним ехолотом та навігаційним обладнанням забезпечило щільну хмару вимірюваних точок, високу роздільну здатність моделі дна та можливість досліджувати важкодоступні ділянки. Це значно підвищує точність визначення об'єму води, дозволяє контролювати стан хвостосховища та ефективно планувати його експлуатацію з мінімальними трудовитратами. **Висновок:** Поєднання високоточних геодезичних вимірювань, спеціалізованого ПЗ та безпілотного човна дозволяє визначати об'єм води у хвостосховищі з високою точністю, враховуючи складний рельєф дна та важкодоступні ділянки, що забезпечує ефективний контроль стану водного резервуару.

Список використаних джерел:

1. ДБН В.2.4-3:2010. Гідротехнічні споруди. Основні положення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010.
2. Australian Government. (2007). *Tailings Management – Leading Practice Sustainable Development Program for the Mining Industry*. Department of Industry, Tourism and Resources. Available.
3. Driussi, C., & Jansz, J. (2006). Technological options for waste minimization in the mining industry. *Journal of Cleaner Production*.



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ ЗЕМЛЕВПОРЯДКУВАННЯ**

**ЗБІРНИК ТЕЗ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ**

«GEOPOINT»

5-6 березня 2026 року

**PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE**

«GEOPOINT»

March 5-6, 2026

УДК 332.2/.7:528.4/.9"364"(082)

ISBN 978-617-8798-98-7

«GEOPPOINT»: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, Україна, 5-6 березня 2026 року: матеріали конференції. Київ: НУБіП України. 2026. 332 с.

Рекомендовано Вченою радою факультету землевпорядкування Національного університету біоресурсів і природокористування України (протокол № 5 від 19 березня 2026 року)

У збірнику матеріалів конференції подано результати сучасних наукових досліджень за секціями: землеустрій та кадастр в умовах воєнного стану та повоєнного відновлення, оцінка земель, врахування збитків та управління ризиками, геопросторові технології та ДЗЗ. Розраховано для науково-педагогічних працівників, представників науково-дослідних установ, науковців, спеціалістів установ та фахівців землевпорядного напрямку, аспірантів, студентів.

У разі повного або часткового використання матеріалів збірника посилання обов'язкове. Автори матеріалів несуть повну відповідальність за точність наведених фактів, цитат, власних імен та інших відомостей, відповідаючи принципам академічної доброчесності.

Відповідальні за випуск: І. А. Опенько, О. Д. Грищак

©НУБіП України, 2026