

DOI: 10.32347/2786-7269.2024.10.519-530

УДК 528.21

**Прокопенко Н.І.,**

bilanp79@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5046-6122,

Сумський національний аграрний університет,

к.т.н., доцент, **Нестеренко С.В.,**

NesterenkoS2208@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2288-3524,

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,

к.т.н., доцент, **Дорошко Є.В.,**

evgeniy.dorozhko@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2894-2131,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

## **ГЕОДЕЗІЯ ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ У ВИРІШЕННІ ПРОБЛЕМ СТІЙКОСТІ ТА БЕЗПЕКИ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД: АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ ТА ДІАГНОСТИКИ**

*Метою статті є розробка та дослідження стійкості та безпеки гідротехнічних споруд з використанням геодезичних методів. Методика. Застосування супутникових технологій, які дозволяють визначати просторове положення гідротехнічних споруд в автоматичному режимі для вирішення завдань підвищення безпеки та стійкості. Аналізу моніторингу і діагностики відповідно до стратегічного напрямку науково-технічного розвитку. Результати. Описують основні принципи, переваги та обмеження технології супутникового геодезичного моніторингу деформацій гідротехнічних споруд. Дано рекомендації щодо оптимального складу, конфігурації та функціональної структури систем супутникового моніторингу. Зазначається, що використання супутникової технології у комплексі з традиційними методами моніторингу підвищує надійність визначення зсувів і, як наслідок, безпека гідротехнічної споруди та населення прилеглих територій. Наукова новизна. Обґрунтовано спільне використання супутникового та інерційного вимірювання для знімання, виконано теоретичне рішення обробки даних. Вирішено проблеми стійкості та безпеки гідротехнічних споруд. Практична значущість. Отримані результати можна використати в геодезії та землеустрої для розробки комплексних планів для стійкості та безпеки гідротехнічних споруд.*

*Ключові слова: деформації; гідротехнічні споруди; моніторинг; ГНСС; безпека; фільтрація; дренажні пристрої; геодезія.*

*Постановка проблеми. Система геодезичного контролю планових та вертикальних переміщень гідротехнічних споруд, а також взаємних переміщень*

елементів конструкцій є одним з основних технічних засобів діагностичного контролю стану споруд [1]. Нині у вивченні та контролі стійкості інженерних споруд та природних об'єктів все більша увага приділяється безперервному моніторингу використання глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС).

Гідротехнічні споруди (ГТС) – греблі, будівлі ГЕС, водоскидні та водоспускні споруди, тунелі, канали, насосні станції, судноплавні шлюзи, суднопідіймачі призначені для захисту від повеней та руйнувань берегів водосховищ, берегів та дна русел річок; дамби, огорожувальні верхній та нижній басейни гідроакумуляюючих електростанцій, залишковідвали та шламовідвали теплових електростанцій та котелень, що працюють на органічному паливі, а також дамби, огорожувальні сховища рідких відходів промислових та сільськогосподарських підприємств [2-5].

Підвищений інтерес до використання ГНСС для контролю інженерних зсувів споруд обумовлений досить високою точністю, оперативністю та рівнем автоматизації таких систем. Що стосується точності та оперативності, визначення взаємного положення пунктів у реальному часі з точністю до см, наразі важко здійснити [6], тому більш поширені підходи контролю стійкості з високою частотою у режимі статичних супутникових вимірів. Тобто просторове взаємоположення пунктів визначається один раз на годину і передається у диспетчерський пункт системи моніторингу. Такі системи сьогодні функціонують, наприклад, на греблях ГЕС для визначення планово-висотних зсувів гребеня греблі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Статистика гідродинамічних аварій на дамбах і дамбах з ґрунтових матеріалів [7] показує, що серед переважних факторів ризику виникнення аварійних ситуацій є фільтраційні деформації ГТС. Додатковими факторами є формування внутрішніх поздовжніх і поперечних тріщин і розхитування ґрунтів. Однак виявлення їх на початкових стадіях еволюція – важке завдання; вони не ідентифікуються візуально, а експертизи потребує пошуку нових підходів при діагностуванні та експлуатації таких конструкцій. Зазначається в роботі [8], що кількість аварійних ситуацій значно зростає після 50 років експлуатації. Це обґрунтовує актуальність питання забезпечення безпеки всіх ґрунтових ГТС старої конструкції.

Проте системного підходу для оцінки технічного стану та екологічних ризиків аварії ГТС в управлінні каскадами таких споруд ще не реалізовано. За даними [9] також встановлено, що структурні параметри водовідведення приміщення непристосовані для пропуску максимального об'єму води під час дощових (зливових) паводків або весняного танення снігу і вони не в змозі

витримати потік води. Автори [10], описують оснащення основ гідротехнічних споруд (ГТС) на період їх експлуатації контрольно-вимірювальними апаратурами (КВА) яке здійснюють, головним чином, у період їх будівництва в спеціальному проєкту натурних спостережень (моніторингу) (рис. 1).



Рис. 1. Пульт управління Кременчуцької ГЕС (а) та розміщення КВА у греблі Канівської ГЕС (б)

До складу КВА автори [11], включають вимірювальні прилади (датчики, перетворювачі) серійного (промислового) типу, що пройшли метрологічну атестацію та сертифікацію, що задовольняють вимоги по точності та діапазоні вимірювань, довгострокової стабільності (рис. 2).



Рис. Контрольно-вимірювальна апаратура

За наявності доступу автори [12], передбачають періодичне виконання вручну контрольних вимірювань параметрів, реєстрацію значень яких

проводять автоматично – опитуванням приладів КВА. У проєкті [13], інструментальних натурних спостережень передбачають заходи щодо захисту від пошкоджень КВА, кабельних ліній від встановлених у споруду з вимірювальних приладів та вимірювальних пультів, необхідні заходи щодо забезпечення безпечного виконання робіт при проведенні вимірювань.

**Формування цілей статті.** Розробка та дослідження стійкості та безпеки гідротехнічних споруд з використанням геодезичних методів. Поставлені в роботі задачі вирішуються аналізом бази супутникових геодезичних та землемірних систем. Метою цієї роботи є розробка та дослідження стійкості та безпеки гідротехнічних споруд з використанням геодезичних методів.

**Виклад основного матеріалу.** Прилади не промислового виробництва, що використовуються як засіб вимірювання, та не вимагають метрологічної атестації, повинні бути з широкою апробацією на практиці (трубні п'єзметри, механічні щілини, геодезичні марки та реperi, стрічки, рейки тощо) (рис. 3).

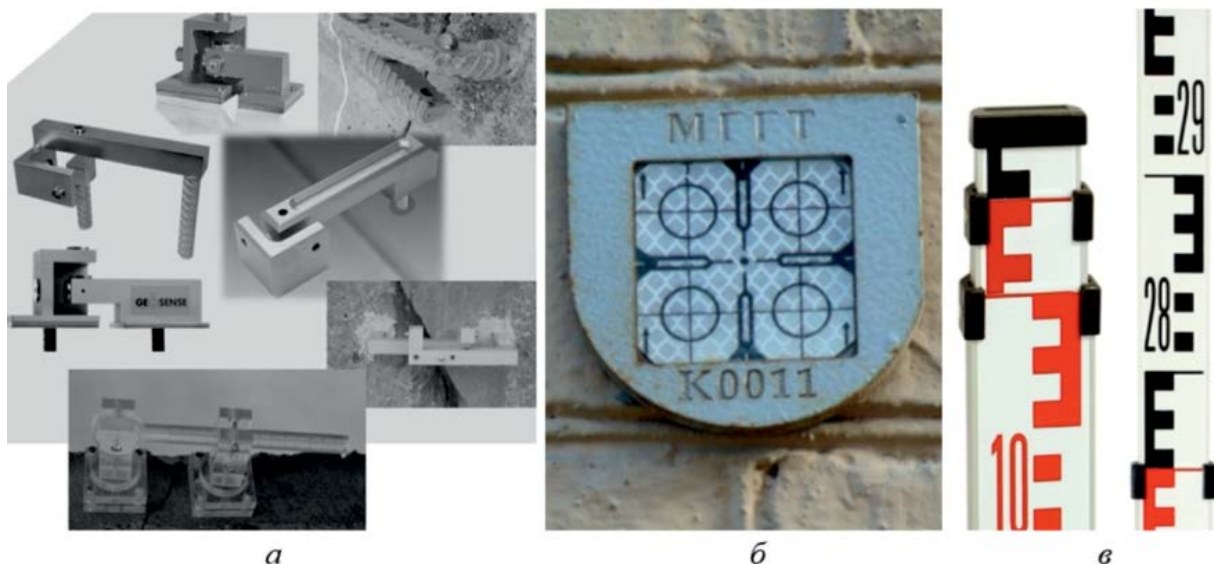


Рис. 3. КВА не промислового виготовлення: а – механічний щелемір; б – геодезична марка; в – геодезична рейка

Для забезпечення достовірності показів КВА, яка не вимагає метрологічної атестації, проводять періодичні перевірки її працездатності. КВА на підставі ГТС встановлюють у найбільш «чутливих», характерних по реакції до навантажень та впливів зонах, контрольованого діагностичним параметром – основа для розрахунку критеріїв безпеки основи.

При здачі ГТС у промислову експлуатацію генеральний підрядник, здійснює будівництво та монтаж КВА, передає замовнику за актом приймання-здавання всю встановлену КВА, а також:

- комплект робочих креслень і схем на встановлення КВА;
- паспорти, атестати та монтажні-експлуатаційні інструкції СІ;

- акти передмонтажної та післямонтажної перевірки працездатності приладів, акти на встановлення приладів у споруди;
- монтажні відомості приладів;
- журнали «нульових» та наступні вимірювання по КВА, технічні звіти за виконаними натурними спостереженнями будівельного періоду.

Підходи до вимірювальних пультав та приладів КВА мають відповідати вимогам техніки безпеки та охорони праці. Натурні спостереження за ГТС повинні починатися на стадії їх будівництва та продовжуватися безперервно протягом усього періоду життєвого циклу споруд аж до їхньої консервації або ліквідації.

Для кожної конкретної основи ГТС періодичність регулярних натурних спостережень встановлюють індивідуально з урахуванням інженерно-геологічних, гідрогеологічних, геокріологічних умов, компоувальних і конструктивних особливостей споруд, характеру реакції на навантаження та впливу, наявності (відсутності) та інтенсивності розвитку несприятливих процесів або пошкоджень при експлуатації. Обсяг та періодичність КВА, що встановлюється на ГТС, визначає проєктна документація (ПД).

У повному обсязі спостереження за ГТС продовжують після наповнення водосховища до стабілізації деформацій основи та характеристик фільтраційного потоку, але не менш як п'ять років. Після цього спостереження можна проводити по скороченому числу точок і з меншою частотою. З заміною в періодичності циклів вимірів після виходу роботи споруди на встановленому режимі, і відсутність аномальних явищ або процесів проводять аналізу роботи споруди. Якщо в роботі ГТС спостерігають проявлення та інтенсивний розвиток небезпечних процесів (поява зосереджених вогнищ фільтрації; розвиток суффозійного виносу ґрунту, просадних і зсувних явищ; утворення небезпечних тріщин; різкі підвищення фільтраційних напорів, розходів та градієнтів напору, інтенсифікація осаду або горизонтальних зсувів, розкриття швів та тріщин), вимірювання по КВА та візуальні огляди споруди проводять при необхідності щодня або кілька разів на добу, аж до з'ясування причин виникнення зазначених процесів та реалізації оперативних інженерних рішень щодо їх ліквідації.

Результати вимірювань заносять до журналу спостережень, що оформлюються на стадії проєкту формі (яка може коригуватися разом зі складом спостережень). Слід виконувати фотофіксацію (відеознімання) порушень стану споруди на проблемних ділянках. У журналі спостережень документують і ознаки порушення працездатності приладів КВА. Інформаційно-діагностичну систему створюють на базі сучасних комп'ютерних та інформаційних технологій та програмно-технічного забезпечення.

Вторинну обробку введеною в інформаційно-діагностичну систему моніторингу інформації про виконані вимірювання по ГТС проводять з використанням програмного комплексу. Результати вторинної обробки даних моніторингу представляють у вигляді бліц, графіків зміни контрольованих показників у часі та від діючих навантажень, епюр розподілу значень показників (напруги, прогинів, осаду, зсувів, напорів, температури та ін.) в межах контрольних створів, секцій, з вимірювальних перерізів. Геотехнічні спостереження за поведінкою основи проводять для встановлення та кількісної оцінки змін складу і властивостей ґрунтів та впливу цих змін – на динаміку розвитку процесів у зоні взаємодії основи та споруди.

*Склад та принцип дії системи супутникового моніторингу*

Система супутникового геодезичного моніторингу (ССГМ) зазвичай у своєму складі має такі елементи:

– Три опорні пункти ДПСС, встановлені на найбільш стабільній основі. Кожен із пунктів має у своєму складі двочастотний супутниковий приймач та антену типу Choke Ring, яка приймає сигнали ГНСС.

– Пункти моніторингу, встановлені на контрольованих точках. Кожен із цих пунктів оснащений двочастотним або одночастотним супутниковим приймачем антеною, яка приймає сигнали ГНСС;

– Автоматизовані метеостанції (метеодатчики) у кількості супутникових приймачів або менше, що фіксують температуру, вологість та тиск у точках прийому радіосигналів ГНСС;

– Диспетчерський пункт системи моніторингу у складі сервера та робочої станції для збору, обчислення та зберігання вимірювальної та вихідної інформації;

– Програмне забезпечення управління супутниковими приймачами, обчислення зсувів контрольованих точок та архівування даних та надання інформації про усунення осіб, які приймають рішення;

– Канали зв'язку, що забезпечують передачу вимірювальної інформації від опорних пунктів та пунктів моніторингу до диспетчерського пункту;

– Система безперебійного електроживлення (220 В) супутникових приймачів та обчислювально-комунікаційних засобів.

Функціонування системи супутникового моніторингу гребеня греблі полягає в синхронному прийомі опорними станціями та станціями моніторингу вимірювальної інформації з супутників ДПСС, обчислення координат контрольованих точок та їх зсувів із заданою періодичністю щодо умовно стабільних пунктів.

*Переваги та обмеження супутникової технології.*

Інфраструктура супутникового моніторингу ефективно доповнюється іншими системами моніторингу, наприклад геотехнічними датчиками. Застосування систем та датчиків, що працюють на різних фізичних принципах, підвищує достовірність та надійність кінцевих результатів забезпечуючи взаємний контроль складових елементів. На новостворених спорудах супутникова технологія може повністю або частково замінити традиційну технологію геодезичного моніторингу, засновану на застосуванні традиційних геодезичних засобів (тахеометрів, нівелірів, далекомірів) з її існуючими недоліками, у тому числі залежністю від кліматичних та погодних умов, і як наслідок, невисокої оперативності, низького рівня автоматизації.

Супутникова технологія значною мірою вільна від цих недоліків та може функціонувати без участі людини. Водночас супутникова технологія має і свої обмеження, пов'язані, в тому числі з різними чинниками, що знижують точність координатних термінів. Так, одним з основних негативних факторів при моніторингу деформацій гідротехнічних споруд, особливо в умовах гірської місцевості, є багатопроменевість супутникового сигналу, вплив якої можна мінімізувати, правильно вибравши місце опорного пункту.

Таким чином, питання вибору місць розташування опорних пунктів ССГМ є одним із ключових. Опорні пункти системи моніторингу повинні знаходитись в околицях греблі (на віддаленнях до перших кілометрів від неї), приблизно на одному рівні пункту моніторингу, розташованими на контрольованих точках греблі, щоб уникнути підвищеного впливу тропосфери на результати супутникових спостережень через велику різницю висот вектора базової лінії. Для обліку залишкового впливу тропосфери на радіосигнали ДПСС у ССГМ використовуються метеостанції (метеодатчики). Вони надають також інформацію про температурний режим на околицях греблі для вивчення температурних впливів на їх поведінку.

Для гідротехнічних споруд, розташованих у складних геодинамічних та сейсмічних умовах при виборі місця розташування опорних пунктів необхідно приділяти особливу увагу нерухомості всього гірського масиву. Для забезпечення безпеки функціонування ГЕС та життєдіяльності необхідний спільний контроль гідротехнічних споруд та деформацій земної поверхні. На точність та надійність визначення зсувів за допомогою супутникової технології впливають різні чинники. Наприклад, зі змінами гідростатичного навантаження можуть змінюватися параметри вирви осідання водосховища і, як наслідок, відбуватися циклічні зміщення опорних геодезичних знаків, у яких встановлювалися опорні станції.

Опорні геодезичні знаки можуть зміщуватися при бортовому розвантаженні схилів, після зливу дощів, внаслідок землетрусів. Добові

коливання [14] у результатах моніторингу гребеня греблі можуть пояснюватися не тільки флуктуаціями помилок вимірів, але також зміщеннями секцій греблі в періоди день-ніч. Застосування супутникової технології, у комплексі з іншими технологіями, дозволить дослідити «тонкі» ефекти у поведінці гідротехнічної споруди, наприклад, усунення гребеня греблі залежно від добових температурних коливань.

На існуючих високонапірних греблях, таких як Саянська ГЕС (Китай), супутникова технологія може доповнити традиційну технологію в частині визначення планово-висотного положення зовнішньої мережі, замінивши таким чином роботи по трилатерації та часткового нівелювання. Застосування супутникової технології дозволяє проводити незалежну оцінку зміщень гідротехнічних споруд, здійснювати контроль традиційних технологій моніторингу, виявляти процеси, що піддаються виявленню іншими технологіями. Супутникова технологія моніторингу своєю чергою може ефективно доповнюватися технологіями прямих та зворотних схилів, трилатерації та нівелювання.

**Висновок.** З аналізу нормативно-технічної літератури випливає, що безпека ГТС визначається багатьма факторами, але вона істотно залежить від основи ГТС, для чого потрібен моніторинг за обраними критерію. Це особливо важливо, якщо ГТС зведена на водорозчинній основі. Отже, для підвищення безпеки ГТС, необхідно:

- виявити розчинну речовину в основі;
- визначити фізичний параметр, що дозволяє виміряти його концентрацію водорозчинної речовини;
- вибрати метод вимірювання цих параметрів;
- підібрати або сконструювати середовище для вимірів обраного інформативного параметра;
- вибрати критерії безпеки водорозчинної основи;
- на основі розробленого засобу вимірювань спроектувати інформаційно-вимірювальну систему моніторингу стану ГТС;
- розробити систему запобіжних заходів та захисних заходів щодо запобігання аварій ГТС.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лазоренко-Гевель Н.Ю. Геостатистичне моделювання агроекологічного моніторингу ґрунтів засобами ГС / Н.Ю. Лазоренко-Гевель // Вісн. геод. та картогр. – 2013. – № 2. – С. 36–40.



2. Геоінформаційні системи і бази даних: монографія / В.І. Зацерковний, В.Г. Бурачек, О.О. Железняк, А.О. Терещенко. – Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2014. – 492 с. ISBN 978-617-527-121-6.

3. Шевчук, С., Чувпило, В., Гапон, С., Нагорна, С., & Куришко, Р. (2024). Використання ГІС для екологічно-ландшафтного управління землями населених. Журнал міждисциплінарних досліджень, 14 (1), 200-203. DOI:10.33543/140139200203.

4. Kaftan V., Ustinov A. Diurnal and semi-diurnal periodicities in results of local structural monitoring using global navigation satellite systems// IAG Scientific Assembly, Potsdam, September 1-6, 2013.

5. Andrieiev, V.G., Napich, H.V. (2020). Impact of ponds and reservoirs construction on the environmental safety of small river basins of the steppe zone of Ukraine (the case of Dnipropetrovsk region). Mizhvidomchyi Tematychnyi Naukovyi Zbirnyk “Melioratsiya i Vodne Hospodarstvo”, 1, 158–166. doi: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-228>.

6. Putrenko, V., Benatov, D., Stefanyshyn, D. (2016). A geoinformation system of “the hydrocomplexes of Ukraine” as an important part in supporting managerial decisions. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (3 (79)), 46–53. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.61135>.

7. Benatov, D. (2015). System analysis of natural- technogenic safety elements of the largest Ukrainian hydro-complexes. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (10 (77)), 12–21. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.49270>.

8. Napich, H. (2019). Assessing level of environmental and operational safety of low-pressure hydroengineering structures. Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 4, 46–52. doi: <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2019.4.46-52>.

9. Napich, H.V. (2016). Safety assessment of exploitation hydraulic structures on the small river during rain floods. Bulletin of the NUWEE. Technical sciences, 3 (75), 98–104. Available at: <http://visnyk.nuwm.edu.ua/index.php/tehn/article/view/125/123>.

10. Stefanyshyn, D.V., Korbutiak, V.M., Trofymchuk, O.M. (2013). Perspektyvy vykorystannia heoinformatsiynykh tekhnolohiy v zavdanniakh zabezpechennia nadiynosti y bezpeky hidroenerhetychnykh obektiv. Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia, 2 (62), 47–55.

11. Shulga, V.A. (2020). Advanced algorithm for diagnostic control of water-development constructions of Ukraine. Hidroenerhetyka Ukrainy, 1-2, 17–23. Available at: <https://uhe.gov.ua/sites/default/files/2020-07/7.pdf>.

12. Chushkina, I., Pikarenia, D., Orlinska, O., Maksymova, N. (2019). Experimental substantiation of the NPEMFE geophysical method to solve engineering and geological problems. *Visnyk of V.N.Karazin Kharkiv National University. Series «Geology. Geography. Ecology»*, 51, 109–123. doi: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-08>.

13. Kuzmenko, E.D., Bahrii, S.M., Dzioba, U.O. (2019). The depth range of the Earth's natural pulse electromagnetic field (or ENPEMF). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 27 (3). 466–477. doi: <https://doi.org/10.15421/111870>.

14. Orlinska, O.V., Pikarenia, D.S., Maksymova, N.M., Hapich, H.V., Ishchenko, V. M. (2012). Otsinka mitsnostnykh vlastyvostei gruntovykh damb metodom pryrodnoho impulsnoho elektromahnitnoho polia Zemli. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, 37, 17–23.

Senior Lecturer **Prokopenko Nataliia**,  
Sumy National Agrarian University,  
PhD, Associate Professor **Nesterenko Svitlana**,  
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»,  
Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor **Dorozhko Yevhen**,  
Kharkiv National Automobile and Highway University

## **GEODESY AND LAND MANAGEMENT IN SOLVING PROBLEMS OF STABILITY AND SAFETY OF HYDROTECHNICAL STRUCTURES, ANALYSIS OF MONITORING AND DIAGNOSTIC METHODS**

The purpose of the article is the development and research of stability and safety of hydrotechnical structures using geodetic methods. The tasks set in the work are solved by analyzing the database of satellite geodetic and surveying systems. Method. The use of satellite technologies that allow determining the spatial position of hydrotechnical structures in automatic mode to solve the problems of increasing safety and stability. Analysis of monitoring and diagnostics in accordance with the strategic direction of scientific and technical development. The results. The main principles, advantages and limitations of the technology of satellite geodetic monitoring of deformations of hydrotechnical structures are described. Recommendations are given regarding the optimal composition, configuration and functional structure of satellite monitoring systems. It is noted that the use of satellite technology in combination with traditional monitoring methods increases the reliability of landslide detection and, as a result, the safety of the hydrotechnical structure and the population of the surrounding areas. Scientific novelty. The joint use of satellite and inertial measurements for surveying is substantiated, and a

theoretical data processing solution is implemented. Problems of stability and safety of hydrotechnical structures have been solved. Practical significance. The obtained results can be used in geodesy and land management to develop comprehensive plans for the stability and safety of hydraulic structures.

Keywords: deformations; hydrotechnical structures; monitoring; GNSS; safety; filtration; drainage devices; geodesy.

## REFERENCES

1. Lazorenko-Hevel N.Iu. Heostatystychni modeliuvannia ahroekolohichnoho monitorynhu gruntiv zasobamy HIS / N.Iu. Lazorenko-Hevel // *Visn. heod. ta kartohr.* – 2013. – № 2. – S. 36–40. {in Ukrainian}
2. Heoinformatsiini systemy i bazy danykh: monohrafiia / V.I. Zatserkovnyi, V.H. Burachek, O.O. Zhelezniak, A.O. Tereshchenko. – Nizhyn: NDU im. M. Hoholia, 2014. – 492 s. ISBN 978-617-527-121-6. {in Ukrainian}
3. Shevchuk, S., Chuvpylo, V., Hapon, S., Nahorna, S., & Kuryshko, R. (2024). Vykorystannia HIS dlia ekolohichno-landshaftnoho upravlinnia zemliamy naselenyi. *Zhurnal mizhdystsyplinarnykh doslidzhen*, 14 (1), 200-203. DOI:10.33543/140139200203. {in Ukrainian}
4. Kaftan V., Ustinov A. Diurnal and semi-diurnal periodicities in results of local structural monitoring using global navigation satellite systems// IAG Scientific Assembly, Potsdam, September 1-6, 2013 {in English}
5. Andrieiev, V.G., Hapich, H.V. (2020). Impact of ponds and reservoirs construction on the environmental safety of small river basins of the steppe zone of Ukraine (the case of Dnipropetrovsk region). *Mizhvidomchyi Tematychnyi Naukovyi Zbirnyk “Melioratsiya i Vodne Hospodarstvo”*, 1, 158–166. doi: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-228>. {in English}
6. Putrenko, V., Benatov, D., Stefanyshyn, D. (2016). A geoinformation system of “the hydrocomplexes of Ukraine” as an important part in supporting managerial decisions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (3 (79)), 46–53. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.61135>. {in English}
7. Benatov, D. (2015). System analysis of natural- technogenic safety elements of the largest Ukrainian hydro-complexes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (10 (77)), 12–21. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.49270>. {in English}
8. Hapich, H. (2019). Assessing level of environmental and operational safety of low-pressure hydroengineering structures. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, 4, 46–52. doi: <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2019.4.46-52>. {in English}

9. Hapich, H. V. (2016). Safety assessment of exploitation hydraulic structures on the small river during rain floods. *Bulletin of the NUWEE. Technical sciences*, 3 (75), 98–104. Available at: <http://visnyk.nuwm.edu.ua/index.php/tehn/article/view/125/123>. {in English}
10. Stefanyshyn, D.V., Korbutiak, V.M., Trofymchuk, O.M. (2013). Perspektyvy vykorystannia heoinformatsiynykh tekhnolohiy v zavdanniakh zabezpechennia nadiynosti y bezpeky hidroenerhetychnykh obiektiv. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia*, 2 (62), 47–55. {in English}
11. Shulga, V. A. (2020). Advanced algorithm for diagnostic control of water-development constructions of Ukraine. *Hidroenerhetyka Ukrainy*, 1-2, 17–23. Available at: <https://uhe.gov.ua/sites/default/files/2020-07/7.pdf>. {in English}
12. Chushkina, I., Pikarenia, D., Orlinska, O., Maksymova, N. (2019). Experimental substantiation of the NPEMFE geophysical method to solve engineering and geological problems. *Visnyk of V.N.Karazin Kharkiv National University. Series «Geology. Geography. Ecology»*, 51, 109–123. doi: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-08>. {in English}
13. Kuzmenko, E.D., Bahrii, S.M., Dzioba, U.O. (2019). The depth range of the Earth's natural pulse electromagnetic field (or ENPEMF). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 27 (3). 466–477. doi: <https://doi.org/10.15421/111870>. {in English}
14. Orlinska, O.V., Pikarenia, D.S., Maksymova, N.M., Hapich, H.V., Ishchenko, V.M. (2012). Otsinka mitsnostnykh vlastyvostei gruntovykh damb metodom pryrodnoho impulsnoho elektromahnitnoho polia Zemli. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, 37, 17–23. {in English}