

УДК 624.03:626:626.8

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.1.55>

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ КОНСТРУКЦІЯХ: ГІДРОТЕХНІЧНИЙ АСПЕКТ

**Онанко Ю. А.** – PhD, старший науковий співробітник Інституту водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України

ORCID ID: 0000-0002-7231-1188

Scopus-Author ID: 37036213400

**Кузьмич Л. В.** – доктор технічних наук, професор кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії

Херсонського державного аграрно-економічного університету,

головний науковий співробітник Інституту водних проблем і меліорації

Національної академії аграрних наук України

ORCID ID: 0000-0003-0727-0508

Scopus-Author ID: 57192956583

**Онанко А. П.** – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник Київського національного університету імені Тараса Шевченка

ORCID ID: 0000-0002-5649-9088

Scopus-Author ID: 6508177575

Основним завданням сталого управління водними ресурсами є проведення належної оцінки технічного стану гідротехнічних споруд. Підтримання їх у належному стані є обов'язковою умовою забезпечення безпеки об'єктів, а також прилеглих до них територій.

Щоб вирішити цю проблему, необхідно внести зміни щодо безпеки гідротехнічних споруд. Це передбачає постійний моніторинг та оперативну обробку даних контролюю-вимирювальних приладів, встановлених у водоймах. Крім того, важливо проаналізувати відповідність інспекційним інструкціям і оцінити міцність конструкції за допомогою інноваційних методів. Крім того, слід враховувати досвід інших країн у цій сфері. Кваліфікований підхід до оцінки безпеки існуючих конструкцій є критично важливим для забезпечення їх подальшої надійної роботи.

Гідротехнічні споруди відіграють значну роль у водному господарстві річки. До найпопулярніших з них відносяться греблі, шлюзи, загородження, пороги. Ці об'єкти виконують багато різних функцій, серед яких перегородження води на річці, регулювання течії, збільшення утримання, полегшення використання річкового транспорту та забезпечення безпеки прилеглих територій, захищаючи їх від повеней. Греблі також використовуються при будівництві гідроелектростанцій, для яких вони є ефективним бар'єром проти забруднень, що стікають річкою з водозбірної території. Ця проблема особливо помітна в гірській місцевості, де є сильні потоки бруду та каміння, які можуть пошкодити гідромеханічне обладнання.

Вимірювання деформації конструкції є одним із двох найважливіших елементів оцінки поточного експлуатаційного стану гідротехнічного об'єкта, що особливо важливо, коли об'єкт постійно розширюється. З цієї метою було розроблено пристрій, що може бути використаний при дослідженні відносної статичної та змінної деформації, пластичності, повзучості зразків з різних елементів інженерних конструкцій, матеріалів, елементів, вузлів у гідротехніці, будівництві, промисловості.

**Ключові слова:** деформація, гідротехнічні споруди, інженерні конструкції, тензодатчик, пристрій для вимірювання.

**Onanko Yu. A., Kuzmych L. V., Onanko A. P. Research of deformation processes in complex technical structures: hydrotechnical aspect**

*The main task of sustainable water resources management is to conduct a proper assessment of the technical condition of hydrotechnical structures. Maintaining them in proper condition is a prerequisite for ensuring the safety of the facilities, as well as the territories adjacent to them.*

*To solve this problem, it is necessary to make changes to the safety of hydrotechnical structures. This involves constant monitoring and operational processing of data from control and measuring instruments installed in water bodies. In addition, it is important to analyze compliance with inspection instructions and assess the strength of the structure using innovative methods. In addition, the experience of other countries in this area should be taken into account. A qualified approach to assessing the safety of existing structures is critical to ensuring their continued reliable operation.*

*Hydrotechnical structures play a significant role in the water management of the river. The most popular of them are dams, locks, barriers, and rapids. These structures perform many different functions, including blocking water on the river, regulating the flow, increasing retention, facilitating the use of river transport, and ensuring the safety of nearby areas by protecting them from floods. Dams are also used in the construction of hydroelectric power plants, for which they are an effective barrier against pollution flowing down the river from the catchment area. This problem is especially noticeable in mountainous areas, where there are strong flows of mud and stones that can damage hydromechanical equipment.*

*Measuring the deformation of a structure is one of the two most important elements of assessing the current operational condition of a hydrotechnical facility, which is especially important when the facility is constantly expanding. For this purpose, a device was developed that can be used in the study of relative static and variable deformation, plasticity, creep of samples from various elements of engineering structures, materials, elements, assemblies in hydraulic engineering, construction, and industry.*

**Key words:** *deformation, hydrotechnical structures, engineering structures, strain gauge, measuring device.*

**Вступ.** Фактором впливу на навколишнє середовище є технічний стан гідропоруди. Підтримка конструкції в належному стані є надзвичайно важливим аспектом. Вона забезпечує безпеку прилеглих до гідротехнічної споруди територій. Утримання споруди в належному стані також виключає ризик екологічної катастрофи та забруднення річки. Багато існуючих гідротехнічних споруд вже старі та перевищують запланований термін експлуатації [1-3]. Часто, у випадках видимих пошкоджень конструкції або її модифікацій, необхідно знову визначити статичні розміри конструкції та розрахувати необхідну стійкість. Для ефективного виявлення пошкоджень вкрай важливо проводити регулярну оцінку технічного стану гідротехнічних об'єктів. Це необхідно для правильного функціонування конструкції. Розроблені вченими методи оцінки технічного стану за допомогою візуального аналізу та польових вимірювань, а також новітні технології, зокрема лазерне сканування, є інструментами, які значно покращують роботу фахівців гідротехнічної галузі [4-6].

Контроль за технічним станом гідротехнічних споруд має вирішальне значення для забезпечення їх безпечної експлуатації. Цей процес зазвичай включає відстеження змінних навколишнього середовища (наприклад, рівні бетонної дамби, температури, показання п'єзометрів), а також геометричних і фізичних змінних (деформація, розтріскування, фільтрація, поровий тиск тощо), довгострокові тенденції яких надають цінну інформацію для менеджерів об'єктів. Дослідження методів аналізу даних геодезичного моніторингу (ручного та автоматичного) та даних датчиків є життєво необхідними для оцінки технічного стану та безпеки об'єктів, особливо при застосуванні нових технологій вимірювання [7-9].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомі пристрої вимірювання деформацій конструктивних елементів [10-12], що містять криволінійний тензoeлемент. Тензометрична балка, що містить криволінійний тензoeлемент

з опорними лапками. З метою підвищення надійності пристрою він має два постійних магніти, в одному з яких знаходиться паз. Одна лапка тензоелемента жорстко закріплена в одному з магнітів, а інша вільно встановлена в паз іншого магніту. Має основу з бічними стійками, платформу для кріплення стійок встановлену на конструкції. На ділянках деформації основи та стійок встановлені тензометричні датчики.

Недоліками відомих пристроїв є те, що дослідження проводиться на лабораторних зразках, які за дефектною структурою суттєво відрізняються від конструкції, невисока точність виміру відносної деформації  $\varepsilon$ , обмежений клас досліджуваних матеріалів. За найближчий аналог прийнято пристрій вимірювання, що містить криволінійний тензоелемент з опорними лапками. При деформації зразка змінюється відстань між магнітами, що призводить до деформації тензоелемента, що фіксується вимірювальним приладом [13]. Недоліком відомого пристрою є невисока точність вимірювання відносної деформації через незначну відстань між опорними магнітними лапками, а також обмеженість класу матеріалів, що вивчаються.

**Постановка проблеми.** Вік гідротехнічних споруд в Україні становить 50-60 років і більше, а їх технічний стан погіршився через тривалу експлуатацію [14-16]. Їх технічні можливості та надійність знизилися через неналежне обслуговування. Крім того, недостатня увага до факторів зовнішнього середовища під час експлуатації сприяла зниженню надійності цих конструкцій. Більшість водосховищ і гідроелектростанцій були побудовані в середині 20 століття і з тих пір постійно використовуються. Через вік в їх технічному стані часто відбувалися негативні зміни [17-19]. Атмосферні, хімічні та агресивні фактори також сприяють руйнуванню гідротехнічних споруд та їх елементів у воді. Це може призвести до серйозних пошкоджень як самих споруд, так і залежних від них елементів гідротехнічних систем [20-22]. Додатковим фактором негативного впливу на стан гідротехнічних споруд в Україні стали обстріли ракетами, снарядами, дронами та інші ушкодження одержані внаслідок воєнних дій.

Тому виникала потреба в розробці пристрою, що може бути використаний при дослідженні відносної статичної та змінної деформації  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ , пластичності, повзучості  $\varepsilon = \frac{\partial \varepsilon}{\partial t}$  зразків з різних елементів інженерних конструкцій, матеріалів, елементів, вузлів у гідротехніці, будівництві, промисловості.

**Мета та завдання.** Метою розробки пристрою є підвищення чутливості та надійності вимірювання відносної статичної та змінної деформації  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ , пластичності, повзучості  $\varepsilon = \frac{\partial \varepsilon}{\partial t}$  зразків досліджуваних матеріалів та можливості дослідження цих процесів у різних елементах інженерних конструкцій безпосередньо при їх експлуатації після обстрілу ракетами, снарядами, дронами; розширення класу інженерних конструкцій, що випробовуються після деформацій  $\varepsilon$  одержаних внаслідок воєнних дій.

**Результати досліджень.** Поставлена мета досягається тим, що в запропонованому пристрої є тензоелемент – пружно вигнута смужка (2), яка приклеюється (приварюється) до елемента інженерної конструкції (1) із закріпленням на цій пружно вигнутій смужці тензодатчиком (3), пов'язаним із системою реєстрації та запису електричного сигналу (4).

Схема конструкції та роботи пристрою пояснюється кресленням на рис. 1 і на рис. 2. Креслення розробленого пристрою зображено на рис. 1. Пристрій складається з пружної зігнутої смужки (2), яка приклеюється (приварюється) до елемента інженерної конструкції (1) із закріпленням на цій пружно вигнутій смужці тензодатчиком (3), пов'язаним із системою реєстрації та запису електричного сигналу (4).

На рис. 2 зображено графік залежності деформації елемента інженерної конструкції (1)  $\varepsilon(\lambda_n)$  від стріли прогину  $\lambda_n$  пружної зігнутої смужки (2) показів вимірювального приладу графобудівника (4), на який подається електричний сигнал з тензодатчика (3).

Пристрій працює наступним чином. До елемента інженерної конструкції (1) приклеюють (приварюють) пружну зігнуту смужку (2) із закріпленням на ній тензодатчиком (3). До елемента інженерної конструкції (1) прикладається змінна  $\sigma(t)$  або постійна  $\sigma_0$  напруга, яка призводить до зміни довжини  $\Delta l$  елемента інженерної конструкції (1), а, отже, стріли прогину  $\lambda_n$  пружної зігнутої смужки (2). Величина цього прогину  $\lambda_n$  за допомогою тензодатчика (3) перетворюється на електричний сигнал, який реєструється вимірювальним приладом графобудівником (4).

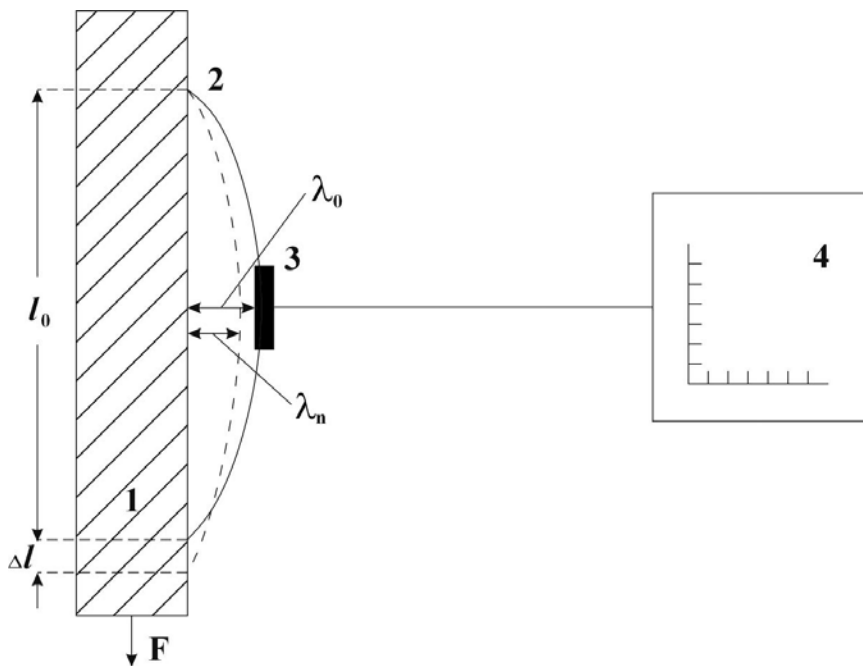


Рис. 1. Креслення пристрою для вимірювання деформації елементів інженерних конструкцій: 1 – елемент інженерної конструкції, 2 – пружна зігнута смужка, 3 – тензодатчик, 4 – система реєстрації та запису електричного сигналу

Зв'язок між відносною статичною деформацією  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$  елемента інженерної конструкції (1) та стрілою прогину  $\lambda_n$  пружної зігнутої смужки (2) описується формулою Чебишева для ланцюгової лінії, що стягує [23-25]:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{8}{3} \cdot \frac{\lambda_0^2 - \lambda_n^2}{l_0^2}, \quad (1)$$

де  $l_0$  – початкова довжина елемента інженерної конструкції (1),  
 $\Delta l$  – зміна довжини елемента інженерної конструкції (1),  
 $\lambda_0$  – початкова довжина стріли прогину пружної зігнутої смужки (2),  
 $\lambda_n$  – стріла прогину пружної зігнутої смужки (2) при зміні довжини елемента інженерної конструкції (1).

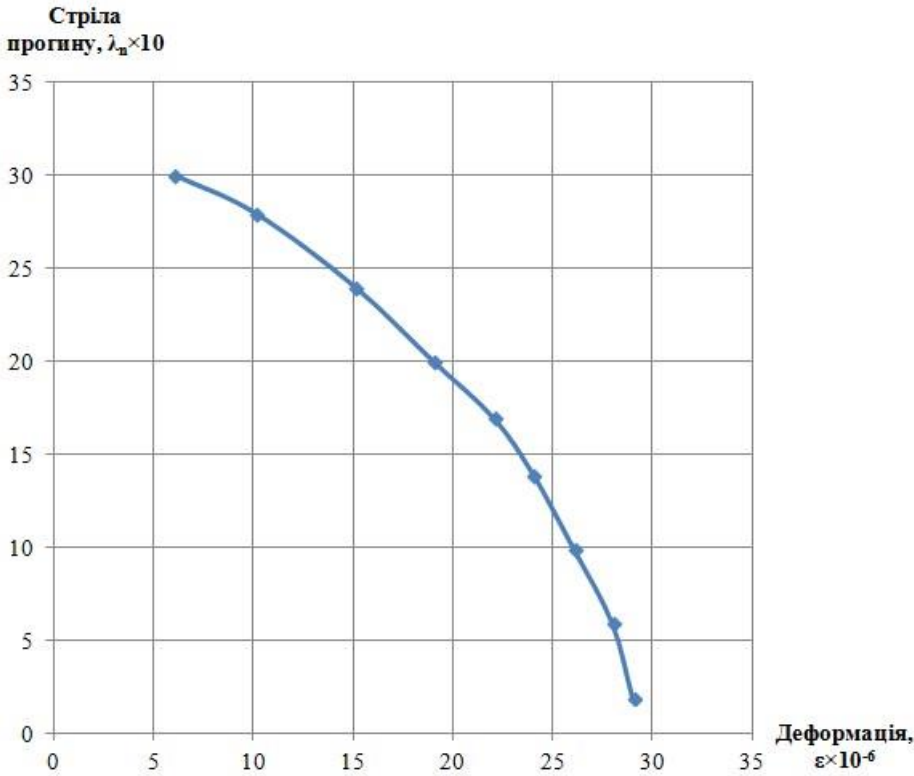


Рис. 2. Графік залежності деформації елемента інженерної конструкції  $\varepsilon(\lambda_n)$  від стріли прогину  $\lambda_n$  пружної зігнутої смужки

Таким чином, запропонована сукупність ознак дозволить, використовуючи зв'язок у вигляді квадратичної залежності  $\Delta l \sim \lambda_n^2$  між відносною зміною довжини елемента інженерної конструкції (1)  $\Delta l$  і стріли прогину  $\lambda_n$  приклеєної (привареної) до елемента інженерної конструкції пружної зігнутої смужки (2) з урахуванням фіксації цієї стріли прогину  $\lambda_n$  тензодатчиком (3), приклеєним до цієї пружної зігнутої смужки, вимірювати як пластичні, так і пружні деформації  $\varepsilon$  з точністю  $\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} 10^{-7}$ . Найбільш висока чутливість пристрою досягається за малих стріл прогину пружної смужки  $\frac{\lambda_0}{l_0} = 10^{-2} \div 10^{-3}$ .

**Висновки.** Виконано завдання зі створення пристрою вимірювання деформації  $\varepsilon$  елементів інженерних конструкцій. Техніко-економічні переваги пристрою над аналогічними, що відносяться до найбільш прогресивних технічних рішень, полягають у спрощенні конструкції та зменшенні вартості пристроїв, що реалізують запропонований спосіб. У можливості періодичного автоматичного, а не неперервного контролю деформації  $\varepsilon$  елемента інженерної конструкції. У підвищенні точності вимірювань деформації  $\varepsilon$  елемента інженерної конструкції на два порядки (пружні деформації  $\varepsilon$  з точністю  $\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} 10^{-7}$ ). У розширенні класу випробуваних елементів інженерних конструкцій, включаючи немагнітні.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Bestyński, Z., Sieński, E., & Sliwiński, P. (2022). Geophysical investigation and the use of their results in the evaluation of the stability of slopes of artificial water reservoirs in the flysch Carpathians. *Archives of Civil Engineering*, 68(No 3), 71–85. <https://doi.org/10.24425/ace.2022.141874>
2. Cheng, L., Liu, Y., Pan, Y., Yang, Q., & Lv, Z. (2018). Effective stress law for rock masses and its application in impoundment analysis based on deformation reinforcement theory. *Journal of Central South University*, 25(1), 218–229. <https://doi.org/10.1007/s11771-018-3731-x>
3. Kuzmych, L. (2007). Development of organizational and technical measures for keeping items of hydrotechnical structures in the good condition. Materials of scientific conference of young scientists. The role of reclamation sustainable development of agriculture, 19–21.
4. Hämmerling, M., Kocięcka, J., & Zaborowski, S. (2021). AHP as a Useful Tool in the Assessment of the Technical Condition of Hydrotechnical Constructions. *Sustainability*, 13(3), 1304. <https://doi.org/10.3390/su13031304>
5. Issakhov, A., & Imanberdiyeva, M. (2020). Numerical Simulation of the Water Surface Movement with Macroscopic Particles of Dam Break Flow for Various Obstacles. *Water Resources Management*, 34(9), 2625–2640. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02382-w>
6. Rokochinskiy, A., Kuzmych, L., & Volk, P. (2023). Handbook of Research on Improving the Natural and Ecological Conditions of the Polesie Zone. IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-8248-3>
7. Koperska, W., Stachowiak, M., Jachnik, B., Stefaniak, P., Bursa, B., & Stefanek, P. (2021). Machine Learning Methods in the Incliner Readings Anomaly Detection Issue on the Example of Tailings Storage Facility. In E. Mercier-Laurent, M. Ö. Kayalica, & M. L. Owoc (Eds.), *Artificial Intelligence for Knowledge Management* (pp. 235–249). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-80847-1\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-80847-1_15)
8. Prykhodko, N., Koptuk, R., Kuzmych, L., & Kuzmych, A. (2023). Formation and Predictive Assessment of Drained Lands Water Regime of Ukraine Polesie Zone. In A. Rokochinskiy, L. Kuzmych, & P. Volk (Eds.), *Handbook of Research on Improving the Natural and Ecological Conditions of the Polesie Zone*, 51–74. IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-8248-3.ch004>
9. Kowalska, M., Zaczek-Peplinska, J., & Piasta, Ł. (2024). Determining the trend of geometrical changes of a hydrotechnical object based on data in the form of LiDAR point clouds. *Archives of Civil Engineering*, 70(No 1), 305–323. <https://doi.org/10.24425/ace.2024.148913>
10. Kuzmych, L., Furmanets, O., Usatyi, S., Kozytskyi, O., Mozol, N., Kuzmych, A., Polishchuk, V. & Voropai, H. (2022). Water supply of the ukrainian Polesie ecoregion drained areas in modern anthropogenic climate changes. *Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics*, 69(1), 79–96. <https://doi.org/10.2478/heem-2022-0006>

11. Xujakulov, R., Rahmatov, M., Nabiev, E., & Zaripov, M. (2021). Determination of calculating stresses on the depth of loess grounds of hydraulic structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1030(1), 012133. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1030/1/012133>
12. Zaczek-Peplinska, J., & Saloni, L. (2024). Modernising the control network for determining displacements in hydraulic structures using automatic measurement techniques. *Journal of Water and Land Development*, 59, 66–75. <https://doi.org/10.24425/jwld.2023.147230>
13. Onanko, Yu., Charnyi, D., Onanko, A., Dmytrenko, O., & Kuzmych, A. (2022). Oil and gas reservoir rock sandstone SiO<sub>2</sub> porosity research by internal friction method. International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2022», 2022, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022590062>
14. Kutya, T. V., & Martynyuk, P. N. (2018). Mathematical Simulation of Humidification of Earth on a Slope and Calculation of Its Safety Factor. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 91(5), 1189–1198. <https://doi.org/10.1007/s10891-018-1848-2>
15. Onanko, Y., Kuzmych, L., Onanko, A., Dmytrenko, O., Pinchuk-Rugal, T., Usaty, S., Il'in, P., & Kuzmych, S. (2025). Influence of irradiation on indicatory surface of anelastic-elastic body of AgZn alloy. *Materials Research Express*, 12(1), 016516. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/adabbc>
16. Łydzba, D., Różański, A., Sobótka, M., & Stefanek, P. (2022). Optimization of technological measures increasing the safety of the Żelazny Most tailings pond dams with the combined use of monitoring results and advanced computational models. *Archives of Civil Engineering*, 68(No 1), 503–518. <https://doi.org/10.24425/ace.2022.140182>
17. Onanko, A., Kuzmych, L., Onanko, Y., & Kuzmych, A. (2023). Indicatory surface of anelastic-elastic properties of Ti alloys. *Materials Research Express*, 10(10), 106511. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/acfecc>
18. Mazur, R., Stefanek, P., & Orlikowski, J. (2022). Corrosion monitoring as a factor increasing the safety of hydrotechnical infrastructure. *Archives of Civil Engineering*, 68(No 2), 197–209. <https://doi.org/10.24425/ace.2022.140637>
19. Onanko, Y., Kuzmych, L., Onanko, A., Il'in, P., & Kuzmych, A. (2024). Anelastic internal friction and mechanical spectroscopy of SiO<sub>2</sub>/Si wafers. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 13(4), 045001. <https://doi.org/10.1149/2162-8777/ad36e0>
20. Ospanov, N. S., & Krivchenko, A. A. (2021). Description of a 2-Year, High-Resolution Geodetic Monitoring of the Khoko Landslide, Enguri Reservoir, Georgia. In F. L. Bonali, F. Pasquaré Mariotto, & N. Tsereteli (Eds.), *Building Knowledge for Geohazard Assessment and Management in the Caucasus and other Orogenic Regions* (pp. 301–316). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-024-2046-3\\_16](https://doi.org/10.1007/978-94-024-2046-3_16)
21. Onanko, A. P., Kuryliuk, V. V., Onanko, Y. A., Kuryliuk, A. M., Charnyi, D. V., Dmytrenko, O. P., Kulish, M. P., Pinchuk-Rugal, T. M., & Kuzmych, A. A. (2022). Mechanical spectroscopy and internal friction in SiO<sub>2</sub>/Si. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 14(6), 06029. [https://doi.org/10.21272/jnep.14\(6\).06029](https://doi.org/10.21272/jnep.14(6).06029)
22. Ospanova, D., Dauletmuratova, N., & Aytmuratov, B. (2024). The results of the study on the technical condition of hydraulic structures in reservoirs. *E3S Web of Conferences*, 524, 02002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452402002>
23. Onanko, A. P., Kulish, M. P., Lyashenko, O. V., Prodayvoda, G. T., Vyzhva, S. A., & Onanko, Y. A. (2012). Inelastic-elastic properties of SiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> + TiO<sub>2</sub> + ZrO<sub>2</sub>. 2012 IEEE International Conference on Oxide Materials for Electronic Engineering (OMEE), 2012, 81–82. <https://doi.org/10.1109/OMEE.2012.6464790>
24. Polomski, M., & Wiatkowski, M. (2024). Evaluation of the functionality of seepage prevention structures of dam bodies after a long period of operation – a case study of Otmuchów and Nysa reservoirs. *Archives of Civil Engineering*, 70(No 3), 153–171. <https://doi.org/10.24425/ace.2024.150976>

25. Stefaniak, K., & Wróżyńska, M. (2017). On possibilities of using global monitoring in effective prevention of tailings storage facilities failures. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(6), 5280–5297. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0995-x>

#### REFERENCES:

1. Bestyński, Z., Sieński, E., & Śliwiński, P. (2022). Geophysical investigation and the use of their results in the evaluation of the stability of slopes of artificial water reservoirs in the flysch Carpathians. *Archives of Civil Engineering*, 68(No 3), 71–85. <https://doi.org/10.24425/ace.2022.141874>
2. Cheng, L., Liu, Y., Pan, Y., Yang, Q., & Lv, Z. (2018). Effective stress law for rock masses and its application in impoundment analysis based on deformation reinforcement theory. *Journal of Central South University*, 25(1), 218–229. <https://doi.org/10.1007/s11771-018-3731-x>
3. Kuzmych, L. (2007). Development of organizational and technical measures for keeping items of hydrotechnical structures in the good condition. Materials of scientific conference of young scientists. The role of reclamation sustainable development of agriculture, 19–21.
4. Hämmerling, M., Kocięcka, J., & Zaborowski, S. (2021). AHP as a Useful Tool in the Assessment of the Technical Condition of Hydrotechnical Constructions. *Sustainability*, 13(3), 1304. <https://doi.org/10.3390/su13031304>
5. Issakhov, A., & Imanberdiyeva, M. (2020). Numerical Simulation of the Water Surface Movement with Macroscopic Particles of Dam Break Flow for Various Obstacles. *Water Resources Management*, 34(9), 2625–2640. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02382-w>
6. Rokochinskiy, A., Kuzmych, L., & Volk, P. (2023). Handbook of Research on Improving the Natural and Ecological Conditions of the Polesie Zone. IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-8248-3>
7. Koperska, W., Stachowiak, M., Jachnik, B., Stefaniak, P., Bursa, B., & Stefanek, P. (2021). Machine Learning Methods in the Inclinerometers Readings Anomaly Detection Issue on the Example of Tailings Storage Facility. In E. Mercier-Laurent, M. Ö. Kayalica, & M. L. Owoc (Eds.), *Artificial Intelligence for Knowledge Management* (pp. 235–249). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-80847-1\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-80847-1_15)
8. Prykhodko, N., Koptuk, R., Kuzmych, L., & Kuzmych, A. (2023). Formation and Predictive Assessment of Drained Lands Water Regime of Ukraine Polesie Zone. In A. Rokochinskiy, L. Kuzmych, & P. Volk (Eds.), *Handbook of Research on Improving the Natural and Ecological Conditions of the Polesie Zone*, 51–74. IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-8248-3.ch004>
9. Kowalska, M., Zaczek-Peplinska, J., & Piasta, Ł. (2024). Determining the trend of geometrical changes of a hydrotechnical object based on data in the form of LiDAR point clouds. *Archives of Civil Engineering*, 70(No 1), 305–323. <https://doi.org/10.24425/ace.2024.148913>
10. Kuzmych, L., Furmanets, O., Usaty, S., Kozytskyi, O., Mozol, N., Kuzmych, A., Polishchuk, V. & Voropai, H. (2022). Water supply of the ukrainian Polesie ecoregion drained areas in modern anthropogenic climate changes. *Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics*, 69(1), 79–96. <https://doi.org/10.2478/heem-2022-0006>
11. Xujakulov, R., Rahmatov, M., Nabiev, E., & Zaripov, M. (2021). Determination of calculating stresses on the depth of loess grounds of hydraulic structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1030(1), 012133. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1030/1/012133>
12. Zaczek-Peplinska, J., & Saloni, L. (2024). Modernising the control network for determining displacements in hydraulic structures using automatic measurement techniques. *Journal of Water and Land Development*, 59, 66–75. <https://doi.org/10.24425/jwld.2023.147230>

13. Onanko, Yu., Charnyi, D., Onanko, A., Dmytrenko, O., & Kuzmych, A. (2022). Oil and gas reservoir rock sandstone SiO<sub>2</sub> porosity research by internal friction method. International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2022», 2022, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022590062>
14. Kutya, T. V., & Martynyuk, P. N. (2018). Mathematical Simulation of Humidification of Earth on a Slope and Calculation of Its Safety Factor. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 91(5), 1189–1198. <https://doi.org/10.1007/s10891-018-1848-2>
15. Onanko, Y., Kuzmych, L., Onanko, A., Dmytrenko, O., Pinchuk-Rugal, T., Usatyi, S., Il'in, P., & Kuzmych, S. (2025). Influence of irradiation on indicatory surface of anelastic-elastic body of AgZn alloy. *Materials Research Express*, 12(1), 016516. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/adabbc>
16. Łydzba, D., Róžański, A., Sobótka, M., & Stefanek, P. (2022). Optimization of technological measures increasing the safety of the Żelazny Most tailings pond dams with the combined use of monitoring results and advanced computational models. *Archives of Civil Engineering*, 68(No 1), 503–518. <https://doi.org/10.24425/ace.2022.140182>
17. Onanko, A., Kuzmych, L., Onanko, Y., & Kuzmych, A. (2023). Indicatory surface of anelastic-elastic properties of Ti alloys. *Materials Research Express*, 10(10), 106511. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/acfec>
18. Mazur, R., Stefanek, P., & Orlikowski, J. (2022). Corrosion monitoring as a factor increasing the safety of hydrotechnical infrastructure. *Archives of Civil Engineering*, 68(No 2), 197–209. <https://doi.org/10.24425/ace.2022.140637>
19. Onanko, Y., Kuzmych, L., Onanko, A., Il'in, P., & Kuzmych, A. (2024). Anelastic internal friction and mechanical spectroscopy of SiO<sub>2</sub>/Si wafers. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 13(4), 045001. <https://doi.org/10.1149/2162-8777/ad36e0>
20. Ospanov, N. S., & Krivchenko, A. A. (2021). Description of a 2-Year, High-Resolution Geodetic Monitoring of the Khoko Landslide, Enguri Reservoir, Georgia. In F. L. Bonali, F. Pasquaré Mariotto, & N. Tsereteli (Eds.), *Building Knowledge for Geohazard Assessment and Management in the Caucasus and other Orogenic Regions* (pp. 301–316). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-024-2046-3\\_16](https://doi.org/10.1007/978-94-024-2046-3_16)
21. Onanko, A. P., Kuryliuk, V. V., Onanko, Y. A., Kuryliuk, A. M., Charnyi, D. V., Dmytrenko, O. P., Kulish, M. P., Pinchuk-Rugal, T. M., & Kuzmych, A. A. (2022). Mechanical spectroscopy and internal friction in SiO<sub>2</sub>/Si. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 14(6), 06029. [https://doi.org/10.21272/jnep.14\(6\).06029](https://doi.org/10.21272/jnep.14(6).06029)
22. Ospanova, D., Dauletmuratova, N., & Aytmuratov, B. (2024). The results of the study on the technical condition of hydraulic structures in reservoirs. *E3S Web of Conferences*, 524, 02002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452402002>
23. Onanko, A. P., Kulish, M. P., Lyashenko, O. V., Prodayvoda, G. T., Vyzhva, S. A., & Onanko, Y. A. (2012). Inelastic-elastic properties of SiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> + TiO<sub>2</sub> + ZrO<sub>2</sub>. 2012 IEEE International Conference on Oxide Materials for Electronic Engineering (OMEE), 2012, 81–82. <https://doi.org/10.1109/OMEE.2012.6464790>
24. Połomski, M., & Wiatkowski, M. (2024). Evaluation of the functionality of seepage prevention structures of dam bodies after a long period of operation – a case study of Otmuchów and Nysa reservoirs. *Archives of Civil Engineering*, 70(No 3), 153–171. <https://doi.org/10.24425/ace.2024.150976>
25. Stefaniak, K., & Wróżyńska, M. (2017). On possibilities of using global monitoring in effective prevention of tailings storage facilities failures. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(6), 5280–5297. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0995-x>