



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-16-2022-2>

УДК 626.8 (075.8)



СЛЮСАРЕНКО Ю. С.

канд. техн. наук, заступник директора ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: slus@ndibk.gov.ua, тел. +38 (044) 249-72-40, ORCID: 0000-0002-0447-3927



ГАЛАТ В. В.

Головний інженер проекту, ПрАТ «УКРГІДРОПРОЕКТ», м. Харків, Україна, e-mail: galat_vadim@uhp.kharkov.ua, тел. +38 (067) 577-01-24, ORCID: 0000-0001-8108-4469



ДОМБРОВСЬКИЙ Я. І.

Завідувач лабораторії, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, 355niisk356@gmail.com, тел. +38 (067) 420-57-55, ORCID: 0000-0003-0687-1256



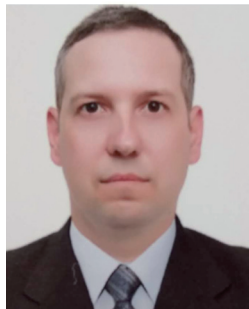
ШУМІНСЬКИЙ В. Д.

Канд. техн. наук, провідний науковий співробітник, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: shumikvd@gmail.com, тел. +38 (096) 617-55-70, ORCID: 0000-0002-8751-1983



МИКОЛАЄЦЬ М. Г.

Канд. техн. наук, завідувач лабораторії, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: mykolayets@ndibk.gov.ua, тел. +38 (096) 224-78-79, ORCID: 0000-0002-8823-3401



КРИЛОВ Є. О.

Канд. техн. наук, науковий співробітник, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: krylov@ndibk.gov.ua, тел. +38 (095) 173-07-45, ORCID: 0000-0001-7944-2132

ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОНСТРУКЦІЙ ВОДОЗЛИВНОЇ ГРЕБЛІ ДНІПРОВСЬКОЇ ГЕС

АНОТАЦІЯ

В статті розглянуті результати досліджень стану бетону опор (биків) та поверхні водозливної греблі Дніпровської ГЕС, що знаходяться тривалий час під впливом природно-кліматичних чинників.

Надійність та безпека гідротехнічних споруд гідровузлів повинні бути забезпечені в період експлуатації, а також під час ремонту, реконструкції, консервації та їх ліквідації. Важливою задачею гідроенергетики України є забезпечення безпеки та надійності роботи гідротехнічних споруд, які широко застосовуються в різних сферах водного та гідротехнічного господарства. Відмічена важлива роль Дніпровського каскаду в забезпеченні надійної роботи об'єднаної енергетичної системи України.

Наведені особливості роботи гідротехнічних споруд та дана коротка характеристика споруд Дніпровської ГЕС. Фахівці ДП НДІБК на замовлення ПрАТ «Укргідропроект» виконали візуальне та інструментальне обстеження бетонних конструкцій водозливної греблі ГЕС і за результатами обстежень дали оцінку їх технічного стану і можливості подальшого використання. Проводилось визначення глибини карбонізації бетону з боку верхнього і нижнього б'єфів та у верхній потерні. Оцінка міцності бетону виконувалась із вибурюванням кернів та їх випробуванням в лабораторних умовах в ДП НДІБК.

Дослідження показали, що міцність бетону з часом суттєво не зменшилася, незважаючи на



те, що бетон знаходився тривалий час під впливом кліматичних чинників, а це свідчить про можливість бетонних конструкцій виконувати свої функції після реконструкції та ремонтних робіт по їх відновленню.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: безпека, бик, водозливна поверхня, гідроелектростанція (ГЕС), гідротехнічні споруди, карбонізація, керн, міцність, надійність, обстеження, оцінка технічного стану.

TECHNICAL STATE ASSESSMENT OF OVERFLOW DAM OF THE DNIPROVSKA HYDROELECTRIC POWER PLANT

ABSTRACT

The paper considers the results of surveying the condition of concrete supports (piers) and surface of the Dniprovska HPP overflow dam, which have long been under the influence of natural and climatic factors.

The reliability and safety of the hydraulic structures of hydroelectric developments must be ensured during their operation, as well as during repair, reconstruction, conservation and liquidation. An important task of the hydropower industry of Ukraine is the operation safety and reliability of hydraulic structures widely used in the various fields of waterpower and hydraulic engineering. The important role of the Dniprovskiy chain of hydroelectrical power plants in ensuring the reliable operation of the United Power System of Ukraine is noted.

The total generation of electricity by hydroelectric power plants of the Dnieper cascade is up to 90% of the generation of all hydropower plants in Ukraine. Reservoirs of the Dnieper Cascade provide communal, industrial and agricultural needs of more than half of the territory of Ukraine. Therefore, considerable attention is paid to the reliability and safety of the GTS, as well as reliable and safe operation of hydraulic units of the Dnieper Cascade, the development and improvement of methods for assessing their reliability and safety.

The hydraulic structures operation features and facilities of the Dniprovska HPP are characterized. The specialists of the State Enterprise NIISK commissioned by the PJSC "Ukrhidroproekt" performed the visual and instrumental inspection of the overflow dam concrete structures and assessed their technical condition and the possibility of their further use based on the inspection results. The concrete carbonation depth from the side of the upper and lower basins and in the upper gallery was determined. The concrete strength was assessed by drilling cores and testing them in laboratory conditions in the SE NIISK.

According to the results of comparisons with the data of surveys performed in previous years, the

condition of all bulls of the dam has deteriorated, which manifested itself in an increase in the number of cracks, areas of corrosion of concrete and reinforcement. Operation of the facility may continue, but it is necessary to perform the reconstruction of bulls as part of the reconstruction of all hydraulic structures.

The studies show that the concrete strength has not decreased significantly over time, even though concrete was under the climatic factors influence for a long time, which indicates the ability of concrete structures to perform their functions after reconstruction and repair works on their restoration. **KEY WORDS:** safety, pier, spillway, hydroelectric power plant (HPP), hydrotechnical structures, carbonization, core, strength, reliability, inspection, assessment of technical condition.

ВСТУП

Гідротехнічні споруди (далі – ГТС) забезпечують надійну та безпечну роботу гідроелектростанцій (далі – ГЕС) та суттєво впливають на економічну, екологічну та соціальну ситуацію в регіоні їх розташування [1...3]. Вони постійно контактують з водою, солоною або прісною, яка знаходиться у спокої або русі і чинить на споруди механічні, фізико-хімічні та біологічні впливи.

ГЕС і ГАЕС відіграють важливу роль в роботі об'єднаної енергетичної системи України. Серед всіх гідроенергетичних об'єктів України найбільше значення має Дніпровський каскад ГЕС. Важко переоцінити його роль у забезпеченні надійної роботи об'єднаної енергетичної системи країни. Загальний виробіток електроенергії гідроелектростанціями Дніпровського каскаду становить до 90 % виробітку всіх ГЕС України. Во-досховища Дніпровського каскаду забезпечують комунально-побутові, промислові і сільськогосподарські потреби більш ніж половини території України. Тому питанням надійності і безпеки ГТС, а також надійної і безпечної експлуатації гідровузлів Дніпровського каскаду, розробці і удосконаленню методів оцінки їх надійності і безпеки приділяється значна увага.

Під час будівництва Дніпровської ГЕС-2 конструкція автодорожнього переїзду по греблі Дніпровської ГЕС була значно змінена для забезпечення нормативних показників в частині пропускної здатності мосту і несучої спроможності конструкцій. В теперішній час автодорожній переїзд потребує реконструкції для забезпечення довготривалої та надійної експлуатації споруд, тому виникла потреба перевірки технічного стану опор (биків) мосту та водозливної поверхні греблі. Це пов'язано також з тим, що міст розташовано на консолях, що спираються на бики, які були зведені в 1932 році і пережили часткове руйнування від вибухів у 1941 та 1943 роках та відновлення. Бетонні конструкції греблі зна-



ходяться в експлуатації майже 100 років, що відповідає нормативному граничному терміну їх експлуатації.

МЕТА РОБОТИ

Оцінка технічного стану бетону биків та водозливної греблі Дніпровської ГЕС, одного із головних гідроенергетичних об'єктів України, що дозволить забезпечити їх подальшу надійну і безпечну роботу, а також можливість реконструкції ав-тодорожнього мосту.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Візуальні обстеження, інструментальні дослідження стану бетону биків та водозливної греблі, що знаходяться тривалий час під впливом атмосферних чинників.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДНІПРОВСЬКОГО КАСКАДУ ГЕС

Основа гідроенергетики України складає Дніпровський каскад ГЕС (потужністю 3911,1 МВт), Дністровська ГЕС (потужністю 702 МВт) та діючі малі ГЕС (загальна потужність близько 100 МВт). Гідровузли Дніпровського каскаду ГЕС відносяться до об'єктів класу наслідків (відповідальності) ССЗ. Можливі аварії на цих потенційно небезпечних об'єктах будуть мати багатofакторний вплив на природне середовище, на життя людини та її господарську діяльність. Тому надійність і безпека цих гідровузлів повинні бути забезпечені на період експлуатації, а також при ремонті, реконструкції, консервації та ліквідації.

Саме ГЕС із крупними водосховищами комплексного призначення виконують задачі регулювання річкового витоку, утворюють водогосподарські комплекси. Це призводить до прискорення розвитку оточуючої інфраструктури й економічного зростання України.

Будівництво гідроелектростанцій Дніпровського каскаду дозволило забезпечити вироблення екологічно чистої пікової електроенергії, що створює сприятливі умови роботи енергосистеми України. В даний час здійснюється реконструкція ГЕС Дніпровського каскаду, яка дозволить підвищити безпеку основних споруд ГЕС каскаду, а також підвищити енергетичні характеристики. В результаті виконання реконструкції I та II черги сумарна встановлена потужність ГЕС Дніпровського каскаду буде підвищена на 554,5 МВт в генераторному режимі.

Експлуатація ГТС, що входять до складу гідровузлів Дніпровського та Дністровського каскадів ГЕС, здійснюється власником цих гідровузлів – ПрАТ «Укргідроенерго». Для підвищення оперативності та достовірності контролю за станом безпеки та надійності ГТС Дніпровського та Дністровського каскадів

(напружено-деформованим станом бетону, осіданнями споруд та основи, п'езометричним рівнем води та фільтраційними витратами в тілі, основі та в примиканнях до берегів земляних гребель тощо) вони оснащені автоматизованими системами контролю (АСК). Надійність та безпека ГТС цих гідровузлів забезпечуються на основі оцінки їх технічного стану шляхом аналізу та узагальнення даних натурних візуальних та інструментальних спостережень на основі АСК та системи моніторингу просторових зміщень споруд, проведенням комплексних досліджень поточного стану гідротехнічних споруд.

За період тривалої експлуатації ГТС гідровузлів Дніпровського та Дністровського каскадів ГЕС на них не було значних аварій, що свідчить про надійність і безпеку цих споруд та необхідність розробки спеціальних заходів щодо забезпечення їх подальшої надійної і безпечної роботи на відповідному рівні.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДНІПРОВСЬКОЇ ГЕС

До складу Дніпровського каскаду ГЕС входять 93 гідроагрегати потужністю 3911,1 МВт в складі шести гідроелектростанцій: Київська ГЕС (20 гідроагрегатів потужністю 412 МВт), Канівська ГЕС (24 гідроагрегати потужністю 451 МВт), Кременчуцька ГЕС (12 гідроагрегатів потужністю 625 МВт), Середньодніпровська ГЕС (8 гідроагрегатів потужністю 360,8 МВт), Дніпровська ГЕС-1 та ГЕС-2 (9+8 гідроагрегатів потужністю 1503,6 МВт) та Каховська ГЕС (6 гідроагрегатів потужністю 323,2 МВт, а також Київська ГАЕС (6 гідроагрегатів потужністю 235,5 МВт) [2, 3].

Термін будівництва: ГЕС-1 – 1927...1932 роки, ГЕС-2 – 1970...1980 роки. Встановлена потужність – 1503,6 МВт.

ДніпроГЕС-1 та ДніпроГЕС-2 входять до складу гідровузлів Дніпровського каскаду, ведуть добове і тижневе регулювання, беручи участь в покритті піку добового графіка навантажень енергосистеми України.

До складу основних гідротехнічних споруд гідровузла входять:

- водозливна гребля;
- щитові стінки ГЕС-1 та ГЕС-2;
- будівлі ГЕС-1 та ГЕС-2 з монтажними майданчиками;
- спрягаючі споруди;
- однокамерний і трикамерний судноплавні шлюзи;
- глухі бетонні греблі лівого та правого берегів.

У загальній компоновці основних споруд: ГЕС-1 розташована на правому березі, ГЕС-2 та судноплавні шлюзи – на лівому.

Основою споруд Дніпровської ГЕС є кристалічні породи запорізького блоку, представлені, в



основному, гранітами (рідше гранітогнейсами), слабо вивітрілими, які іноді мають підвищену тріщинуватість. Покрівля їх має вельми нерівну поверхню з перепадами відміток від мінус 12,00 м до +15,00 м.

ОСНОВНІ ОСОБЛИВОСТІ КОМПОНОВКИ ТА КОНСТРУКЦІЇ

ГЕС-1: будівля прямолінійна в плані, розбита температурно-усадковими швами на блоки довжиною 22 м, з верхової сторони приєднується до щитової стінки. Надводна частина з закритим машинним залом.

ГЕС-2: будівля криволінійна в плані, паралельно окресленню водозливної греблі, напірні залізобетонні водоводи розташовані на водозливній поверхні греблі. План розташування автодороги через водозливну греблю Дніпровську ГЕС наведено на рисунку 1.

ВОДОЗЛИВНА ГРАВИТАЦІЙНА БЕТОННА ГРЕБЛЯ

Ґрунти основи під водозливною греблею – гранітогнейси, граніт. Відмітка гребня – 54,80 м, максимальний напір – 38,7 м, будівельна висота – 62,0 м, довжина по гребню – 760,5 м. В плані гребля має форму дуги радіусом 600 м, ширина по гребню – 2,8 м, ширина по підшві – 39,7 м. Водозливний фронт складає 47 отворів шириною 13 м кожний. З них 25 отворів використовуються для пропуску повені, 16 для водозабору ГЕС – 2, 4 (забетоновані) і на ГЕС-1 2 шт., один (№ 29) – не використовується згідно з проектом у зв'язку з можливим затопленням машинного залу ГЕС-2. Відмітка порогу водозливу – 41,65 м. Кількість водозливних отворів і їх основні розміри: 25 отворів шириною 13 м і напором на водозливі 9,75 м. Сумарні розрахункові витрати води через водозливні отвори: при НПП – 21300 м³/с.

В тілі греблі є дві потерни на відмітках +14,400 м і +29,900 м. За водобій слугує скельний ґрунт річки. Протифільтраційні пристрої: цементацийна завеса в основі глибиною до 30 м. Дренажні пристрої: свердловини діаметром 100...150 мм в тілі греблі на відстані 6,6 м; свердловини в основі греблі діаметром 100...150 мм глибиною 4,0 м.

Об'єкти розташовані у примиканні – бетонний стоян зі сторони правого берегу, скельна основа зі сторони лівого берегу.

З історичних джерел відомо, що водозливна гребля зазнавала підриву у 1941 році, коли було зруйновано верхню її частину приблизно від 13 до 21 бика (рисунк 2), а також вибуху у 1943 році, коли було зруйновано верхню частину биків №№ 1, 2, 4, 6, 7, 16-18, 22-25, 36-44, інші бики мали дефекти від вибуху. Детально утворені дефекти від вибухів описані у [4].

Крім того у верхніх частинах биків під

автомобільним проїздом по греблі укладався бетон в 1999-2000 роках (так звана набетонка).

Таким чином, бетон греблі можна розділити на такі основні частини:

- бетон укладений в 1929-1932 роках (основна частина споруди);
- бетон укладений при ремонті в 1942 році після вибухів в 1941 році (верхня частина дамби від 13 до 21 бика);
- бетон укладений при ремонті в 1944-1947 роках після вибухів в 1943 році (верхня частина дамби в биках №№ 1, 2, 4, 6, 7, 16-18, 22-25, 36-44);
- набетонка у верхній частині биків (виконана в 1999-2000 роках).

По гідротехнічних спорудах Дніпровської ГЕС проходить автодорожній переїзд, що пов'язує правий та лівий береги р. Дніпро.

У 1974 р. розпочато реконструкцію автодорожнього переїзду через греблю, аванкамеру і шлюзи, яка була закінчена в 1977 р.

Був розроблений варіант з використанням металевих конструкцій старого мосту і установкою сталевих консольних ригелів з ортотропною плитою проїзної частини. Розробка робочої документації була виконана інститутом «Укрпроектстальконструкція» на базі затвердженого варіанту.

Автодорожній переїзд по спорудах Дніпровської ГЕС складається з комплексу нижчеперелічених споруд:

- 1 Естакада через шлюзи довжиною 352,0 м;
- 2 Естакада сполучення греблі з лівим берегом довжиною 111,5 м;
- 3 Автопереїзд по греблі довжиною 666,0 м;
- 4 Міст через аванкамеру довжиною 319,75 м;
- 5 Земляна вставка довжиною 136,6 м;

Загальна довжина автодорожнього переїзду 1585,9 м.

У 2005 році були проведені локальні дослідження з визначення фізико-механічних характеристик бетону, вибуреного в місці контакту бетонскеля водозливної греблі. Вибування проводилось із потерни. За результатами випробувань зразків було визначено, що міцність бетону орієнтовно коливається від 330 до 600 кг/см² [5].

Також були проведені випробування міцності бетонних зразків виготовлених із бетонних конструкцій греблі. Дослідженнями по визначенню фізико-механічних характеристик бетону та параметрів його корозійного стану встановлено, що середня міцність бетону на стиск в основному коливається від 244 до 476 кгс/см², що відповідає класу бетону за міцністю від С12/15 до С30/35 [6].

Візуальні обстеження та інструментальні дослідження технічного стану биків і поверхні водозливної греблі у 2021 році.

Візуальні обстеження та інструментальні дослідження технічного стану биків і поверхні

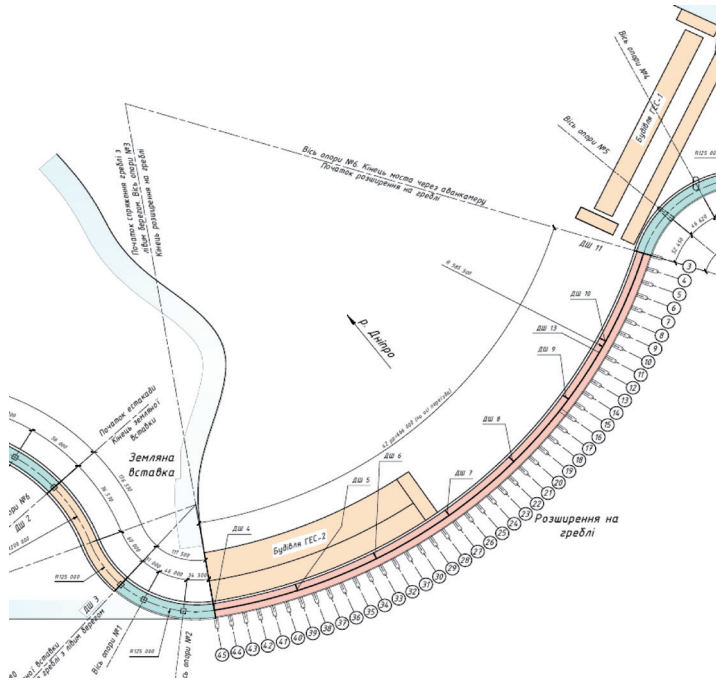


Рисунок 1 – План розташування автодорожнього переїзду через водозливну греблю Дніпровську ГЕС

водозливної греблі Дніпровської ГЕС, виконані у 2021 році, аналогічні роботам по обстеженню та дослідженню стану бетону недобудованих конструкцій на Дністровській ГАЕС, виконаним ДП НДІБК у 2020 році [7].

Візуальні обстеження технічного стану бетону біків та поверхні водозливної греблі проводилися з визначенням характеру та параметрів їх пошкоджень, фотофіксацією дефектів та пошкоджень. Візуальні обстеження верхніх частин поверхні всіх біків та водозливних поверхонь греблі проводилися з пішохідних підмостків та тротуару автодороги шляхом фотофіксації їх недоліків та пошкоджень (рисунок 3). Візуальні обстеження нижніх частин всіх біків та водозливних поверхонь греблі проводилися з човна з боку нижнього б'єфу шляхом фотофіксації недоліків та пошкод-

жень. При візуальному обстеженні розкриття оздоблювального шару конструкцій не виконувалося.

Інструментальні дослідження бетону біків проводилися шляхом вибурювання кернів з бетонних поверхонь в місцях, доступних до вибурювання. Місця вибурювання кернів вибиралися з урахуванням історії виконання бетонних робіт при будівництві і відновленні ДніпроГЕС після руйнувань в період II світової війни у 1941 і 1943 роках, а також можливості виконання робіт і дотримання техніки безпеки і узгоджувалися з представниками експлуатуючої організації.

Для визначення ступеня карбонізації бетону вирізалися керни $\varnothing 40$ мм і довжиною 30-50 мм в кількості 50 шт., які досліджувалися на місці хімічним методом. Місця проведення інструментальних досліджень стану бетону біків (місця вибурювання кернів) намічались після проведення та попереднього аналізу результатів візуальних обстежень біків. Для визначення міцності бетону з тіла конструкцій

вибурюються 16 кернів довжиною (350...400) мм та номінальним діаметром 100 мм, що випробовуються на стиск в лабораторних умовах в ДП НДІБК (рисунок 4). Керни вибурюватимуться за допомогою установки для вибурювання кернів на штативі та алмазної коронки. Установка дозволяє здійснювати вибурювання зразків як у вертикальному положенні, так в горизонтальному, а також штатив можна фіксувати під кутом.

Дослідження глибини карбонізації. Визначення глибини карбонізації бетону виконувалось в місцях, наведених на рисунку 4. Визначення корозійних пошкоджень (глибини карбонізації) бетону здійснювалось за методиками [8, 9] шляхом вибурювання зразка-керну, використовуючи ударну коронку (діаметр коронки 40 мм). За допомогою акумуляторного перфоратора вирізалися

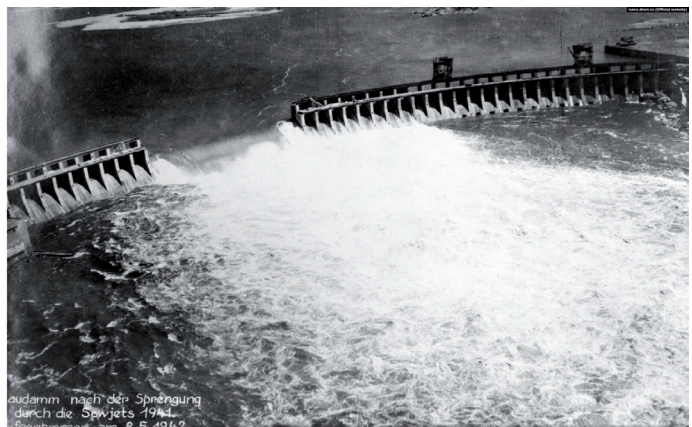


Рисунок 2 – Загальні види на Дніпровську ГЕС з лівого берега та на водозливну греблю після вибуху у 1941 р.



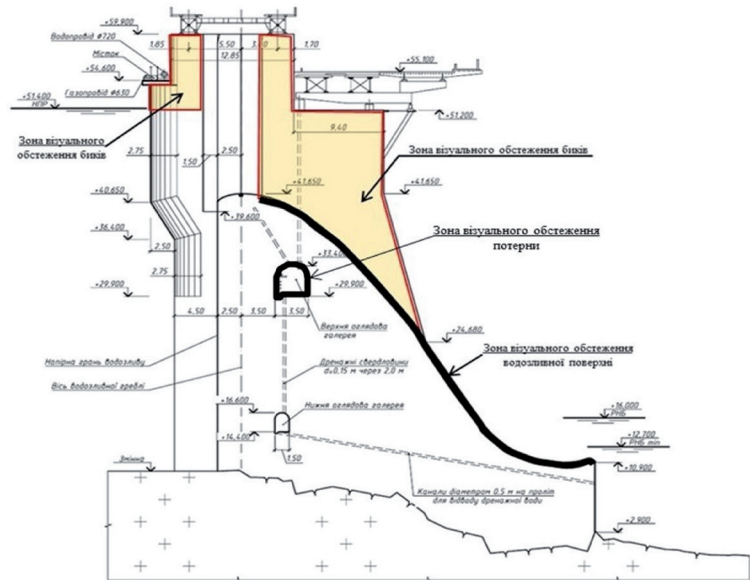
керна діаметром \varnothing 40 мм і довжиною 30-50 мм в кількості 5 кернів на 1 зону – всього 10 зон (рисунк 4). Після вилучення керну, його поверхню та місце вибурювання ретельно очищали від утвореного пилу, продуваючи повітрям.

Для визначення глибини карбонізації бетону застосовувався розчин фенолфталеїну згідно ДСТУ 7258 [10], який наносився на місце вибурювання. Через декілька секунд після нанесення розчину фенолфталеїну оцінювалась глибина карбонізації бетону конструкції за малиновим забарвленням розчину фенолфталеїну при його взаємодії з лужним середовищем бетону. В місцях де реакція не відбувалась фенолфталеїн не змінює свій колір на малиновий, що свідчить про карбонізацію бетону. Глибина карбонізації бетону вимірювалась штангенциркулем з точністю до 1 мм.

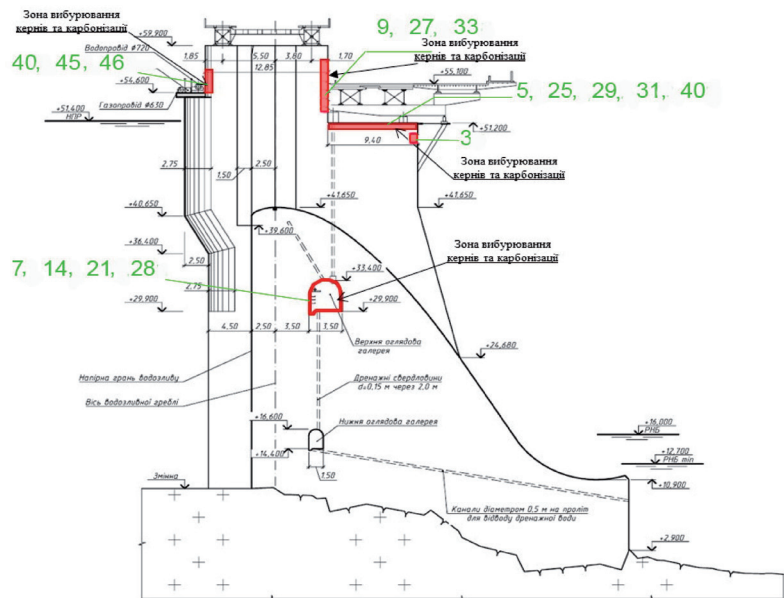
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Результати візуальних обстежень. При візуальному обстеженні бетону биків з боку верхнього (рисунк 5) та нижнього (рисунк 6) б'єфів, верхньої потерни (рисунк 7) та поверхні водозливної греблі (рисунк 8) зафіксовано такі дефекти та пошкодження:

- окремі тріщини та сітки тріщин шириною розкриття 0,1...20 мм в бетоні;
- сітки тріщин шириною розкриття 0,1...10 мм в оздобленні;
- руйнування захисного шару бетону та сколи бетону;
- недостатній захисний шар бетону, неякісне бетонування;
- оголення та корозія арматури;
- руйнування, відшарування оздоблювального шару;
- сліди замокання, висолу;
- площинне руйнування бетону поверхні водозливу на глибину до 3,0 см;
- локальні руйнування бетону поверхні водозливу на глибину до 10 см;
- сліди замокання, проростання рослинності на поверхні водозливу;
- фільтрація води крізь шви бетонування на водозлив;
- розкриття швів між блоками бетонування водозливу.



Рисунк 3 – Зони візуального обстеження біків та водозливної поверхні греблі



Рисунк 4 – Зони відбору кернів та номери біків, в яких проводилось вибурювання

Виявлені пошкодження біків та водозливної греблі виникли внаслідок зовнішнього впливу (фізико-механічних та динамічних дій води), погодно-кліматичних факторів, недостатньо якісного виконання будівельно-монтажних робіт під час відновлення експлуатаційної придатності греблі у 1947 році та відсутності своєчасних ремонтів, що негативно впливає на міцність та довговічність бетону біків та водозливної поверхні греблі.

Аналіз результатів візуальних обстежень дозволяє зробити наступні висновки:

- у порівнянні з результатами обстежень, виконаними в 2008, 2017 та 2021 [11] роках, стан всіх біків водозливної греблі погіршився, що



Рисунок 5 – Руйнування захисного шару бетону, оголення та корозія арматури, сколи, висоли, тріщини (відповідно бички №№ 10, 11, 12 з боку верхнього б'єфу)



Рисунок 6 – Руйнування захисного шару бетону, тріщини шириною розкриття до 5 мм, висоли, неякісне бетонування, фільтрація (бики №№ 46, 47, 48 з боку нижнього б'єфу)



Рисунок 7 – Руйнування захисного шару бетону потерни, оголення та пластинчаста корозія арматури, сліди замкання



проявилось в збільшенні кількості тріщин, ділянок корозії бетону та арматури і прогресуючого розвитку блочної структури;

- експлуатація биків може продовжуватися, проте потрібне виконання планового попереджувального ремонту, що передбачає відновлення захисного шару бетону биків і ліквідації тріщин (тампування ремонтними сумішами).

Оцінка технічного стану биків та водозливної греблі проводилася у відповідності з ДСТУ-Н Б В.1.2-18 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану» [12]. Загальний технічний стан бетонних конструкцій биків та поверхні водозливної греблі Дніпровської гідроелектростанції характеризується як задовільний.

Для забезпечення подальшої надійної експлуатації споруди необхідно розробити і виконати комплекс ремонтно-відновлювальних робіт з усуненням дефектів, виявлених під час обстеження.

РЕЗУЛЬТАТИ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Карбонізація бетону. Карбонізація є одним з видів корозії бетону, який приводить до зміни його фізико-механічних характеристик та, в результаті, до корозії арматури.

Найнебезпечніші пошкодження залізобетонних конструкцій в агресивних середовищах пов'язані, як правило, з корозією арматури внаслідок недостатньої товщини та щільності захисного шару бетону. Тривалість дії захисних властивостей бетону відносно арматури у вологій атмосфері визначається кінетикою його нейтралізації кислоти

ми газами і залежить від товщини захисного шару бетону, реакційної ємності відносно кислого газу і дифузійної проникності бетону. Слід контролювати глибину карбонізації бетону, щоби вона не була більше за товщину захисного шару бетону для уникнення корозії арматури.

Спостереження за бетонними та залізобетонними спорудами [13] показують, що вже через декілька місяців твердіння бетону на повітрі при підвищеній вологості карбонізований шар на конструкціях стає завтовшки в кілька міліметрів. Збільшення товщини карбонізованого шару при підвищеній вологості пояснюється тим, що вода має каталізуючий вплив на процес карбонізації [14]. Карбонізація може проходити лише за наявності певної кількості вологості в порах бетону (не менш 0,5...1,0 % загальної маси). В частинах споруд, які знаходяться під постійною дією води із вмістом агресивної вуглекислоти, карбонізований шар має незначну товщину. Це пояснюється перш за все руйнуванням карбонізованого шару на зовнішній поверхні під дією вуглекислоти внаслідок його вимивання водою, а також утворенням щільного карбонатного шару.

Глибину карбонізації бетону биків водозливної греблі визначали у п'яти поруч розташованих точках. Проведені дослідження показали, що середні показники глибини карбонізації бетону биків з боку нижнього б'єфу зменшується, бетону биків у потерні збільшується у напрямку від правого берега до лівого (рисунок 9).

На рисунку 9: об'єднані групи биків № 1 – бики №№ 1-18; № 2 – бики №№ 19-35; № 3 – бики №№ 35-49.

Найбільші значення глибини карбонізації бетону биків виявлені на бичу № 5, де середнє значення біля 20 мм, а максимальне сягає 45 мм. По



Рисунок 8 – Загальний вид на водозливну поверхню між биками № 3 і № 4. Руйнування захисного шару бетону, оголення та корозія арматури, сколи бетону биків №№ 18, 21



довжині водозливної греблі глибина карбонізації бетону знаходиться в межах від 8 мм (бик № 50) до 15 мм (бик № 40). Від бика № 40 і до краю греблі глибина карбонізації бетону знаходиться в межах від 3 до 13 мм.

У потерні глибина карбонізації бетону биків збільшується від 10 мм (бик № 7) до 19 мм (бик № 28). Максимальні значення виявлені на биках № 21 і № 28 – 32 мм і 30 мм, відповідно. Стінка потерни з боку верхнього б'єфу має досить рясні висолоутворення на поверхні бетону. В цих місцях тест на карбонізацію спочатку буде завжди показувати позитивний результат, оскільки сполуки кальцію (гідрокарбонати) вимиваються з тіла бетону на поверхню і індикатор реагує на лужне середовище. Бетон в таких місцях поступово втрачає свої характеристики та захисні властивості.

Визначення глибини карбонізації набетонки показало, що значення знаходяться у межах від 1 до 15 мм і відрізняються між собою по всій довжині водозливної греблі.

Значних відмінностей по відношенню до глибини карбонізації для різних видів основного бетону, що був укладений в різні роки, не виявлено.

Наявна на листопад 2021 р. глибина карбонізації бетону биків (10...45 мм) не є критичною, оскільки проєктний захисний шар має бути не менше 50 мм. Однак достовірно невідома глибина закладання металеві арматури в бетоні биків, що пов'язано з відсутністю матеріалів щодо товщини захисного шару при відновлювальних роботах по бетону-ванню биків після вибухів 1941 та 1943 років [4, с. 11...22]. Прогнозування строків безпечної експлуатації конструкцій без створення передумов для корозії арматури внаслідок поширення карбонізації не виконували. Розрахунок можна виконати за методикою [13].

Фізико-механічні дослідження. Для визначення міцності бетону на стиск з тіла конструкцій були вибурені керни довжиною від 350 мм до 400 мм. З кожного вибуреного керна, у відповідності з ДСТУ Б В.2.7-223 [15], виготовлено по три зразки. Визначення міцності виконували згідно з ДСТУ Б В.2.7-223 [15] та ДСТУ Б В.2.7-214 [15].

Зміну міцності бетону биків на різних ділянках биків водозливної греблі наведено на рисунку 10.

На рисунку 10: об'єднані групи биків № 1 –

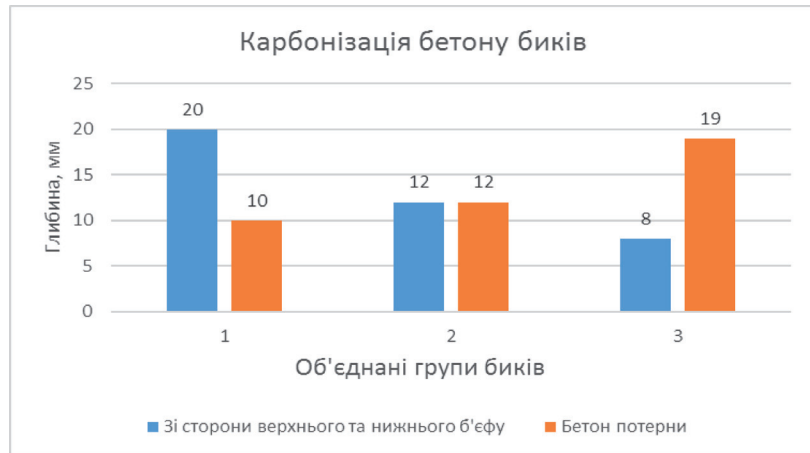


Рисунок 9 – Середні значення глибини карбонізації бетону биків по довжині водозливної греблі

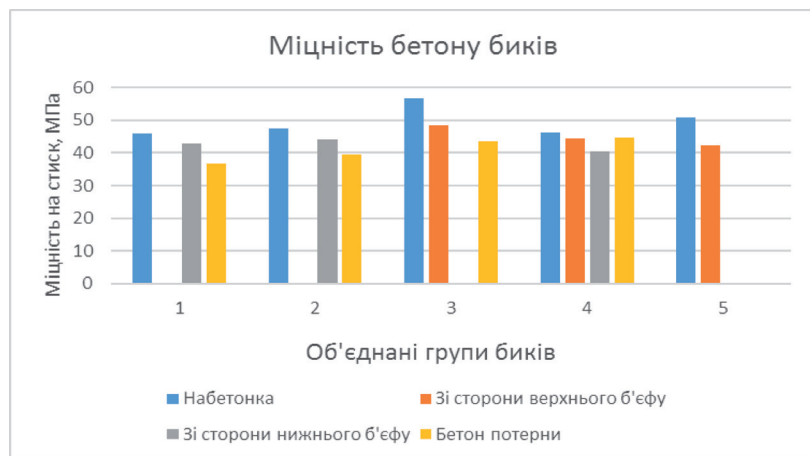


Рисунок 10 – Середні значення міцності бетону биків на стиск по довжині водозливної греблі

бика № 1-10; № 2 – бика № 11-20; № 3 – бика № 21-30; № 4 – бика № 31-40; № 5 – бика № 41-49.

Результати досліджень кернів в лабораторії ДП НДІБК показали, що міцність бетону на стиск становить: 42,7...62,1 МПа (клас бетону С30/35... С32/40) для набетонки (бика №№ 5, 25, 29, 31, 40); 37,7...47,7 МПа (клас бетону С20/25... С25/30) для бетону в потерні (бика №№ 7, 14, 21, 28); 33,3...51,1 МПа (клас бетону С25/30... С30/35) для бетону биків з боку верхнього б'єфу (бика №№ 9, 27, 33, 40, 45, 46).

Верхню частину бика № 40 було заново відновлено після вибуху 1943 року [4], тому бетон нижньої частини бика, не маючи дефектів від вибуху, має найвищі показники міцності серед «старого» бетону – до 51,1 МПа та відрізняється за кольором від бетону, укладеного під час будівництва.

Таким чином, міцність бетону в порівнянні із раніше встановленими значеннями не зменшилася, незважаючи на те, що він знаходиться тривалий час під впливом атмосферних чинників, а це свідчить про можливість биків виконувати функції опор мосту після реконструкції та ремонтних



робіт по відновленню стану пошкоджених ділянок бетону.

З урахуванням результатів виконаного натурного обстеження, а також результатів інструментальних та лабораторних випробувань, технічний стан бетону биків на ділянках, що обстежувались, згідно з п. 5.2 ДСТУ-Н Б В.1.2-18 [12] оцінюється як задовільний.

Подальші шляхи вдосконалення нормативного забезпечення проектування у галузі фундаментобудування, підземних споруд і геотехніки наведені в [17].

ВИСНОВКИ

1. За результатами порівняння з даними обстежень, виконаних в 2008 та 2017 роках, стан всіх биків водозливної греблі погіршився, що проявилось в збільшенні кількості тріщин, ділянок корозії бетону та арматури і прогресуючого розвитку блочної структури. Експлуатація споруди може продовжуватися, проте потрібно виконати реконструкцію биків в складі реконструкції всіх гідротехнічних споруд.
2. Міцність бетону в порівнянні із раніше встановленими значеннями не зменшилася, а це свідчить про можливість биків виконувати функції опор мосту після реконструкції. Бетон биків, станом на листопад 2021 р., переважно має клас за міцністю С25/30. Набетонка під мостовими конструкціями має клас за міцністю переважно С30/35.
3. Наявна на листопад 2021 р. глибина карбонізації бетону биків (10...45 мм) не є критичною, оскільки захисний шар має бути не менше 50 мм.
4. З урахуванням результатів виконаного натурного обстеження, а також даних інструментальних та лабораторних випробувань, технічний стан бетону биків та поверхні водозливної греблі згідно з ДСТУ-Н Б В.1.2-18 [12] оцінюється як задовільний.
5. В цілому конструкції биків та поверхні водозливної греблі відповідають нормативним вимогам, але для забезпечення їх надійності та безпечної експлуатації необхідно провести реконструктивні та відновлювані роботи.
6. Слід провести перевірочні розрахунки конструкцій биків за несучою здатністю як опоромосту, з врахуванням його реконструкції, згідно з чинними будівельними нормами.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Гідротехнічні споруди. Основні положення: ДБН В.2.4-3-2010. - [Чинні від 2011-01-01]. - Київ: ДП «Укравхбудінформ», 2010. - 37 с.

- (Державні будівельні норми України).

2. Фаренюк Г. Г., Вайнберг О. І., Хлапук М. М., Шумінський В. Д. Надійність та безпека гідротехнічних споруд в умовах тривалої експлуатації. Журнал «Наука та будівництво» № 2 (20). ДП НДІБК, 2019, С. 4-18.
3. Фаренюк Г. Г., Вайнберг О. І., Шумінський В. Д. Надійність та безпека гідротехнічних споруд Дніпровського та Дністровського каскадів ГЕС. Журнал «Наука та будівництво» № 3 (25). ДП НДІБК, 2020, С. 3-12.
4. Восстановление Днепровской гидроэлектростанции им. В.И. Ленина. Сборник статей. Под ред. начальника Днепростроя Ф.Г. Логинова – М. Л.: Государственное энергетическое издательство, 1947.
5. Отчет: Реконструкция ГЭС Днепровского каскада. СОБ ГТС. Днепровская ГЭС. Изучение состояния бетонного массива плотины Днепровской ГЭС. Физико-механические, физико-химические испытания образцов. Заключение о коррозионных и физико-механических характеристиках бетона, а также о современном состоянии внутренней части водосливной плотины Днепровской ГЭС. Шифр: 1396-1-Т02 – Харьков, Укргідропроєкт, 2005 р.
6. Отчет: Комплексное обследование сооружений водосливной плотины Днепровской ГЭС и конструкций автодорожного моста. Шифр 1530-1-Т1 – Харьков: Укргідропроєкт, 2010.
7. Assessment of technical state of unfinished structures of the Dnistrovska PSP. Y. Slyusarenko, O. Shevchyk, Ya. Dombrovskiy, V. Shuminskyi, O. Lisenyi. Журнал «Наука і будівництво», 2021, №2. с.28-40
8. Оцінка технічного стану залізобетонних конструкцій під час експлуатації в агресивних середовищах: СОУ ДП НДІБК В.2.6-02495431-003:2020 [Чинні від 2020-10-09]. – К.: ДП НДІБК, 2020. – 15 с. – (Стандарт організації України)
9. Рекомендации по оценке состояния железобетонных конструкций при эксплуатации в агрессивных средах. – М: НИИЖБ Госстроя СРСР, – 1984 г.
10. Хімічні реактиви. Методи готування розчинів для кислотно-лужного титрування та визначення їхньої молярної концентрації: ДСТУ 7258:2012. – [Чинні від 2013-03-01]. – К.: Мінекономрозвитку України, 2013. – 13 с. – (Державний стандарт України)
11. Звіт: Результати аналізу технічного стану опор та конструктивні заходи щодо посилення опорних конструкцій. Шифр: 1442-14-00-Т27 – Харьков: Укргідропроєкт, 2021 р.
12. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного



- стану: ДСТУ-Н Б В. 1.2-18:2016. – [Чинні від 2017-04-01]. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 43 с. – (Державний стандарт України)
13. Бліхарський З. Я. Дослідження карбонізації бетону в залізобетонних конструкціях. З. Я. Бліхарський, Р. Ф. Струк, Р. Є. Хміль. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2007. – № 600: Теорія і практика будівництва. – 583 с.
 14. Коррозия бетонных и железобетонных конструкций. В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Алексеев. Под ред. В.М. Москвина. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
 15. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за зразками, відібраними з конструкцій: ДСТУ Б В.2.7-223:2009. – [Чинні від 2010-09-01]. – К.: Мінрегіонбуд, 2010. – 23 с. – (Державний стандарт України)
 16. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками: ДСТУ Б В.2.7-214:2009. – [Чинні від 2010-09-01]. – К.: Мінрегіонбуд, 2010. – 43 с. – (Державний стандарт України)
 17. Нормативне забезпечення проектування у галузі фундаментобудування, підземних споруд і геотехніки. Слюсаренко Ю.С., Титаренко В.А., Шумінський В.Д. Журнал «Нові технології в будівництві», 2017, вип. 33/1, с. 41-52
- REFERENCES**
1. Hydraulic structures. Basic principles: DBN V.2.4-3-2010. (2010).
 2. Farenjuk, G., Vaynberg, O., Shuminskyi, V., & Khlapak, N. (2019). The reliability and safety of hydraulic engineering structures in conditions of long operation. *Science and Construction*, 2 (20), 4-18.
 3. Farenjuk, G., Vaynberg, O., & Shuminskyi, V. (2020). The reliability and safety of hydraulic engineering structures of the Dnieper and Dniester cascades of hydroelectric power plants. *Science and Construction*, 3 (25), 3-12.
 4. Recovery of the Dnieper hydroelectric power station of V.I. Lenin. Collection of articles. Ed. F.G. Loginov. Moscow; Leningrad: State Energy Edition, 1947.
 5. Report 1396-1 – t02. (2005). Reconstruction of the Dniproviskyi chain of hydroelectric power plants. Dniprovska HPP. Study of the condition of the concrete massif of the Dniprovska hydroelectric power station dam. Physical-mechanical, physical-chemical tests of samples. Conclusion on the corrosion and physical and mechanical characteristics of concrete, as well as on the current state of the internal part of the overflow dam of the Dnipro hydroelectric power station. Kharkiv: Ukrhydropro-ECT.
 6. Report 1530-1-T1. (2010). Comprehensive examination of constructions of overflow dam of the Dniprovska hydroelectric power station and designs of the road bridge. Kharkiv: Ukrhydroproekt.
 7. Slyusarenko, Y., Shevchyk, O., Dombrovskiy, Ya., Shuminskyi, V., & Lisenyi, O. (2021). Assessment of technical state of unfinished structures of the Dnistrovska PSP. *Science and Construction*, 2, 28-40.
 8. Assessment of the technical condition of reinforced concrete structures during operation in aggressive environments: V.2.6-02495431-003:2020. (2020). SOU SE NIISK.
 9. Recommendations for assessing the condition of reinforced concrete structures during operation in aggressive environments. Moscow: NIIZhB Gosstroy of the USSR, 1984.
 10. Chemical reagents. Methods of preparation of solutions for acid-base titration and determination of their molar concentration: DSTU 7258:2012. (2013).
 11. Report 1442-14-00-T27. (2021). Results of analysis of the technical condition of supports and structural measures to strengthen support structures. Kharkiv: Ukrhydroproekt.
 12. Guidelines for the survey of buildings and structures to determine and assess their technical condition: DSTU-N B V. 1.2-18:2016. (2017).
 13. Blikharsky, Z.Y., Struk, R.F., & Khmil, R.E. (2007). Research of concrete carbonization in reinforced concrete structures. *Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic", Theory and practice of construction*, 600.
 14. Moskvin, V.M. (ed.), Ivanov, F.M., Alekseev, S.N., & Guzeev, E.A. (1980). Corrosion of concrete and reinforced concrete structures. Moscow: Strojizdat.
 15. Building materials. Concrete. Methods for determining strength from samples taken from structures: DSTU B V. 2.7-223:2009. (2010).
 16. Building materials. Concrete. Methods for determining strength according to control samples: DSTU B V.2.7-214:2009. (2010).
 17. Slyusarenko, Yu. S., Titarenko, V. A., & Shuminsky, V. D. (2017). Regulatory support for design in the field of foundation construction, underground structures and geotechnics. *New Technologies in Construction*, 33/1, 41-52.

Стаття надійшла до редакції 15.01.2022 року