

УДК 69.05:699.8

Д.О. ЧЕРНИШЕВ

СУЧАСНІ ЗАСОБИ ПРОСТОРОВО-ТЕРИТОРІАЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОСИСТЕМ ІНЖЕНЕРНОГО ЗАХИСТУ

***Анотація.** Стаття присвячена розв'язанню актуального науково-прикладного проблемного питання – пошуку організаційно-технологічних рішень біосферосумісного будівництва на прикладі інженерного захисту території морського та річкового узбережжя в Україні.*

Захист берегів від розмиву і пов'язаного з ним зсувного руйнування берегових територій – найгостріша соціально-економічна та екологічна проблема, що стримує освоєння рекреаційних та інших ресурсів прибережної смуги.

Основними причинами недосконалості діяльності в галузі захисту прибережних територій є: здійснення робіт щодо захисту морського та річкового узбережжя без достатнього наукового обґрунтування; недостатнє врахування закономірностей природних процесів у прибережній смузі моря, водосховищ та річок при формуванні складу проектних рішень; некомплексність ведення робіт та незавершеність формування берегозахисних та берегорегулюючих споруд у локальні комплекси, що повністю охоплюють берегові природні системи, в яких існує високий рівень взаємозв'язків природних процесів, що не забезпечувало їх проектну ефективність.

При розгляді геодинамічних процесів з мінливими в часі вірогідними змінами станів (для вирішення задачі зі стабілізації ділянки зсувонебезпечної території із складним рельєфом) були використані програмні комплекси. В основу розрахунку цих програмних комплексів покладений метод скінченних елементів. Цей метод орієнтований на дослідження ортогональних функціональних базисів у просторах функції з обмеженою енергією, що відповідає фізичності одержуваних результатів з одного боку і сприяє появі спеціального виразу, що описує геологічні явища на кінцевому проміжку часу.

***Ключові слова:** технологічні процеси, біосферосумісність, організаційно-технологічні рішення, будівельне виробництво.*

Вступ

Морське узбережжя Чорного і Азовського морів займає значну частину південного кордону України. Воно охоплює п'ять адміністративних одиниць – Донецьку, Запорізьку, Херсонську, Миколаївську та Одеську області, а також Автономну Республіку Крим. Загальна довжина берегової лінії перевищує 3000 км. Окрім цього, значну частину території займають береги штучних морів: Київського, Канівського, Кременчуцького, Дніпродзержинського, Каховського водосховищ.

Одним з основних природних факторів, що формують берегову зону, є дія хвиль. Результатом такого впливу є абразія берегів (механічне руйнування берегів в результаті дії хвиль і прибою), що призводить до поширення небезпечних геологічних процесів уздовж усього узбережжя. Слід додати значний вплив наносів і виносів сезонними течіями, що призводить до тотального зменшення пляжів і, таким чином, підсилює дію хвиль на стабільність прибережних територій. Таким чином, понад 100 га землі

втрачається для різного використання щороку. Це призводить до зменшення територій для містобудування і розвитку туризму, має згубний вплив на берегову екосистему.

Аналіз вітчизняних та закордонних літературних джерел показує, що на сучасному етапі розвитку науки і техніки недостатньо мати лише кількісну оцінку процесу деформування (напружено-деформованого стану) ґрунтового масиву, а треба ще мати якісний прогноз розвитку небезпечних геодинамічних процесів. Крім цього, особлива увага приділяється застосуванню екологічних систем інженерного захисту прибережних територій шляхом використання конструкцій та превентивних заходів із забезпечення стабільності узбережжя.

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій

Останнім часом з'явилися спроби, в яких фігурує нове поняття – біосферосумісності будівництва. Автори науково-технічних розробок і реальних проєктів, а саме О.А. Тугай [1], Д.А. Крамер [2], Д.Б. Одліс [3], Т.Ю. Бистрова [4], О.В. Демідова [5], В.В. Савйовський [6], І.П. Бойко [7] та інші під біосферосумісністю розуміють локальне ліквідування наслідків попередніх забруднень з одночасною зміною призначення об'єктів – реконструкцію або глибоку модернізацію наявних об'єктів промислового та цивільного призначення, міської забудови. У таких умовах особливої актуальності набувають інноваційні механізми управління будівельними проєктами та програмами, які базуються на модернізації інвестиційно-будівельного циклу та системи організації будівництва на принципах біосферної сумісності.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми

Впровадження вимог міжнародного стандарту версії ISO 14001:2015 на основі структурованих і саморегульованих процесів системи екологічного менеджменту сприяє забезпеченню превентивного попередження негативних наслідків техногенного впливу на навколишнє середовище. На відміну від підходу щодо ліквідування наслідків попередніх забруднень з одночасною зміною призначення об'єктів, у даному дослідженні під застосуванням принципів біосферосумісного будівництва розуміється цілеспрямоване оздоровлення будівельного виробництва, що виключає причини його негативного впливу на навколишнє середовище в проєктах інженерного захисту прибережних територій та ґрунтується на використанні екологічних систем інженерного захисту із застосуванням природних матеріалів та врахуванням закономірностей природних процесів у прибережній смузі при формуванні складу проєктних рішень.

Мета статті – розробка інноваційної платформи застосування екосистем інженерного захисту територій морського та річкового узбережжя (як взаємодії конструкцій захисту від дії геодинамічних процесів з ґрунтовим масивом) на принципах біосферосумісності.

Досягнення даної мети потребує пошуку організаційно-технологічного рішення, що ґрунтується на використанні екологічних систем інженерного захисту із застосуванням природних матеріалів, заглиблених підводних споруд, які гасять енергію хвиль, захищають прибережну смугу та довкілля.

Виклад основного матеріалу

З позиції біосферосумісності будівництва екосистем інженерного захисту територій основна увага в таких проектах повинна приділятися глобальному впливу будівельної продукції на навколишнє середовище. В якості основної техногенної одиниці приймається готовий будівельний об'єкт, для якого визначається кінцева безліч факторів, що мають істотний вплив на екосистему.

Берегозахисні споруди включаються до комплексу заходів щодо раціонального використання і охорони берегів, які об'єднуються терміном „заходи щодо інженерного захисту берегів і прибережних територій від шкідливої дії вод водосховищ”. Реалізація цього комплексу заходів на територіях населених пунктів і господарських об'єктів відноситься до „інженерної підготовки території”. Вона мінімізує прояви берегового процесу (транзитні течії води і потоки наносів, стоячі хвилі, розмив дна на відмілинах і акумуляцію наносів) або сприяє перетворенню абразійного чи ерозійного берега в аналог денудаційного берега в скельних породах.

Поза межами населених пунктів і господарських об'єктів берегозахисні заходи на водосховищах обмежуються, як правило, адміністративно-організаційними (регулювання режиму використання прибережних територій) і агро-лісотехнічними (залуження і заліснення прибережних територій, біологічне кріплення схилів і відмілин). Інженерний захист берегів і прибережних територій при цьому виконується лише в особливих випадках (захист цінних лісових і земельних угідь, пам'яток природи, рекреаційних об'єктів тощо).

Зсувні процеси можливо прогнозувати. Для цього необхідні ретельні інженерні, геологічні і гідрологічні дослідження. Для прогнозу виникнення зсувів необхідно враховувати наступні умови: наявність схилу та достатньої маси порід, яка має тангенціальний напрямок до поверхні.

На сьогодні існує декілька методів прогнозу зсувів:

- довгостроковий (на роки),
- короткостроковий (на місяці, тижні),
- терміновий (на години).

Для здійснення довгострокового прогнозу використовується метод ритмічності, який базується на врахуванні випадання опадів та інших метеорологічних елементів.

Короткостроковий і терміновий прогнози базуються на використанні геодинамічних вимірів і побудові на їх основі прогнозної моделі зсувного процесу методом регресивного аналізу, при цьому враховується стійкість схилу, яка визначається відношенням сил удержання і сил зсуву.

Більшій частині потенційних зсувів можна запобігти, якщо своєчасно вжити заходів у початковій стадії їхнього розвитку.

Так, підвищення урізу води в р. Дніпро у верхніх б'єфах кожного з водосховищ призвело до різкого і значного підняття відповідних місцевих базисів ерозії. Утворилась нова берегова лінія загальною протяжністю близько 3,5 тис. км. Третина периметру нового урізу води у водосховищах зазнає активного руйнування денудаційними, особливо абразійними і ерозійними процесами, і потребує захисту [8].

Населені пункти і господарські об'єкти, розташовані вздовж берегової лінії водосховищ, після наповнення кожного з них потрапляють в зони активізації

негативних процесів і явищ. Ці зони відносяться до територій з особливим режимом користування. В юридичній і технічній літературі вони отримали назву «зон заборони чи обмеження нового капітального будівництва», «зон виносу будівель і обов'язкового переселення населення». Користування такими територіями можливе лише за умови ліквідації або обмеження несприятливих процесів у береговій зоні водосховищ чи планового управління ними. Особливо актуальні ці питання в межах населених пунктів [9, с. 26].

Берегові зони водосховищ в межах міст захищають від шкідливої дії вод (затоплення, підтоплення, руйнування прибережних земель). Найбільш капітальними (а отже, і найдорожчими) берегозахисними спорудами є укріплення типу вертикальних укісних і ступінчатих набережних, причальних і підпірних стінок, дамб обвалування з дренажами тощо.

Сучасний рівень розгляду таких проблем передбачає комп'ютерне моделювання процесів взаємодії у системі «основа – конструкції інженерного захисту» узбережжя морів та берегів річок. Значні успіхи, досягнуті останнім часом в гідродинаміці, пов'язані в першу чергу з розвитком методів математичного моделювання. Сучасне математичне моделювання кожного фізичного процесу передбачає вирішення кількох завдань:

- 1) формулювання математичної моделі конкретного фізичного процесу (або групи процесів);
- 2) формулювання алгоритму вирішення цього завдання;
- 3) відображення чисельного алгоритму на архітектуру обчислювальної системи, що використовується для розрахунків.

Всі зазначені завдання тісно пов'язані між собою. Перш ніж досліджувати математичними методами будь-які природні процеси, необхідно виділити ті основні принципи і визначальні моменти, які дозволяють досить задовільно і просто описати в кількісному і якісному відношеннях їх перебіг, тобто створити модель. Дійсна будова ґрунтової основи набагато складніша, ніж ті прості об'єкти, які доступні для дослідження методами сучасної теорії. Гідродинамічні явища описуються рівняннями, заснованими на законах збереження маси і кількості руху, рівняннями стану та законами термодинаміки. Всі ці рівняння є наближеними.

Вирішення низки завдань для випадкових процесів будь-якого виду представляє великі труднощі. При розгляді геодинамічних процесів з мінливими в часі вірогідними змінами станів можна вказати конкретний метод дослідження – прями́й динамічний метод. Цей метод орієнтований на дослідження ортогональних функціональних базисів у просторах функцій з обмеженою енергією, що відповідає фізичності одержуваних результатів з одного боку і сприяє появі спеціального виразу, що описує геологічні явища на кінцевому проміжку часу. Природа одержуваних співвідношень така, що в якості носіїв інформації про процеси використовуються матричні представлення лінійних операторів. У цих випадках стає можливим залучення процедур чисельного моделювання, що допускають реалізацію на рівні сучасних комп'ютерних програм. Особливий інтерес викликає той ряд обставин, який пов'язаний з ослабленням часових залежностей моделей, які в області операторних уявлень зводяться до параметричних зв'язків. Таким чином досягається не тільки можливість вирішення завдань з більш великого класу, але і можливість накопичення інформації, що особливо важливо для геологічних додатків.

Для вирішення задачі зі стабілізації ділянки зсувонебезпечної території із складним рельєфом були використані програмні комплекси. В основу розрахунку цих програмних комплексів покладений метод скінченних елементів. Усі розрахунки були виконані в плоскій постановці.

При виконанні чисельного моделювання в плоскій постановці дуже важливим є коректне введення жорсткості ряду паль підірної стіни, так як програма не враховує наявності паль та проміжки між ними, а сприймає конструкцію підірної стіни як суцільну.

Жорсткість кожного ряду паль приведена до жорсткості суцільної залізобетонної конструкції прямокутного перерізу з постійною приведеною шириною b^* . Приведена на 1 п.м. підірної стінки площа паль складає:

$$A^* = A / k ,$$

де: A – площа однієї палі, k – крок паль в ряду.

Приведений модуль деформації ґрунтового масиву:

$$E^* = \frac{E \cdot \pi \cdot d}{\sqrt{12} \cdot k} . \quad (1)$$

Тут: E – модуль деформації бетону, d – діаметр палі.

Вираз для визначення приведенного модуля ґрунтового масиву визначений за умови, що модуль деформації ґрунту, в якому розташовані палі, дорівнює 0. Тобто, у зв'язку з відносно незначним значенням модуля деформації ґрунту, у порівнянні з модулем бетону, його значенням нехтується в запас міцності. Із врахуванням значення приведенного модуля деформації та приведенної площі, після всіх математичних перетворень приведена ширина перерізу $b^* = \sqrt[3]{3/4 \cdot d}$.

Звідси приведена жорсткість на згин, що вводиться у програмний комплекс, складає:

$$EI = \frac{E^* \cdot b^{*3}}{12} . \quad (2)$$

Та приведена жорсткість на осьовий стиск:

$$EA = E^* \cdot b^* \cdot l . \quad (3)$$

Значення, отримані у виразах (2) та (3), використовуються в якості жорсткісних характеристик самої конструкції підірних стін, і, як наслідок, від них значною мірою залежить величина переміщення голови палі.

Для отримання коректних результатів при розрахунку підірних стін обов'язковим є врахування поетапності зведення споруди.

Задача була поставлена в нелінійній постановці. Розрахунок проводився з врахуванням як фізичної, так і конструктивної нелінійності. Конструктивна нелінійність реалізована за рахунок моделювання поетапного зведення утримуючих конструкцій та поступової розробки та планування ґрунту. На

першому етапі введення розрахункової схеми у програмний комплекс змодельовано ґрунтовий масив з врахуванням похилого нашарування ґрунтів.

Ділянка являє собою майданчик у підніжжі схилу із абсолютними відмітками поверхні землі, що коливаються від 110,00 до 132,50 м. На даній ділянці будівництва планується спорудження житлово-офісного комплексу з центром дозвілля та торгівлі, спортивно-оздоровчими приміщеннями та паркінгом. З метою збільшення площі житлово-офісного комплексу для нового будівництва необхідно виконати підрізку зсувонебезпечного схилу та забезпечити його стійкість. При проектуванні передбачено рішення двох'ярусної підпірної стіни та буде влаштоване заглиблене приміщення підземного паркінгу.

Для зменшення вартості робіт та скорочення терміну будівництва захисних утримуючих конструкцій розроблено та проаналізовано два варіанти конструкцій підпірних стін.

В першому варіанті було запроєктоване рішення двох'ярусної підпірної стіни, що складається з верхньої та нижньої підпірних стін. Верхня підпірна стінка ПС-1 виконана з буронабивних паль діаметром 820 мм, що розташовані у 2 ряди в шаховому порядку та жорстко з'єднані між собою залізобетонним ростверком. Таким чином, на розрахунковій схемі отримуємо рамну конструкцію. Крок паль в ряді – 1 м, крок між рядами паль – 1,2 м, довжина паль складає 30 м. Висота ростверку складає 1200 мм. Розробка котловану здійснюється з відмітки 129,80 до відмітки 115,80, що створює перепад 14,0 м.

Нижня підпірна стіна ПС-2 також виконана з буронабивних паль діаметром 820 мм, що розташовані в 1 ряд та жорстко з'єднані між собою залізобетонним ростверком. Крок паль в ряді – 1,0 м, довжина паль складає 22,5 м відповідно до рисунку 1. Палі з'єднані між собою залізобетонним ростверком висотою 800 мм. Позначка верху паль 115,33, позначка низу – 92,83. Розробка котловану на 6,85 м до позначки 109,20 (скінченно-елементна схема наведена на рис. 1).

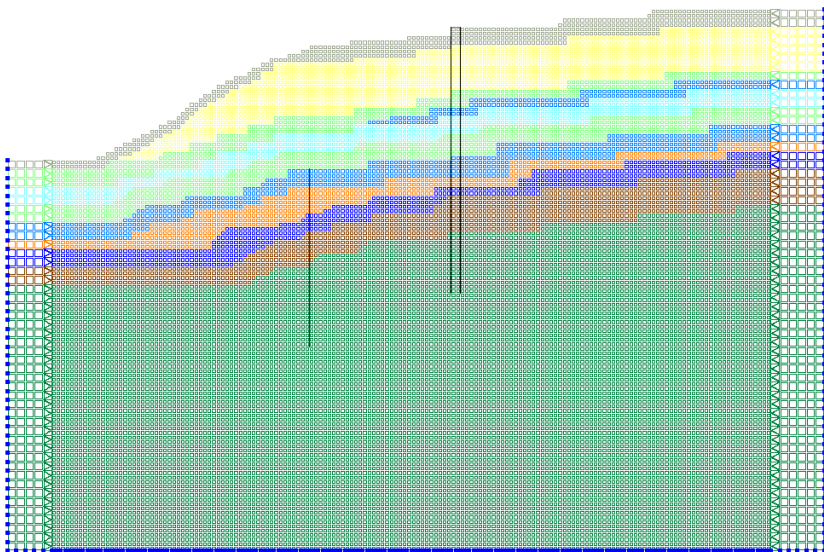


Рис. 1 – Скінченно-елементна схема утримуючих конструкцій за першим варіантом

В другому варіанті було запроєктоване рішення двох'ярусної підпірної стіни, що складається з верхньої та нижньої підпірних стін. Верхня підпірна стінка ПС-1 виконана з буронабивних паль діаметром 820 мм, що розташовані у 2 ряди в шаховому порядку із контрфорсами з паль та жорстко з'єднані між собою залізобетонним ростверком. Таким чином, на розрахунковій схемі отримуємо рамну конструкцію. Крок паль в ряді – 1 м, крок між рядами паль – 1,2 м, крок контрфорсів – 6,2 м, довжина паль складає 30 м. Висота ростверку складає 1200 мм. Розробка котловану здійснюється з відмітки 129,80 до відмітки 115,80, що створює перепад 14,0 м.

Нижня підпірна стіна ПС-2 також виконана з буронабивних паль діаметром 820 мм, що розташовані в 1 ряд із контрфорсами з паль та жорстко з'єднані між собою залізобетонним ростверком. Крок паль в ряді – 1,0 м, крок контрфорсів – 6,2 м, довжина паль складає 22,5 м відповідно до рисунку 2. Палі з'єднані між собою залізобетонним ростверком висотою 800 мм. Позначка верху паль 115,33, позначка низу – 92,83. Розробка котловану на 6,85 м до позначки 109,20 (скінченно-елементна схема наведена на рис. 2).

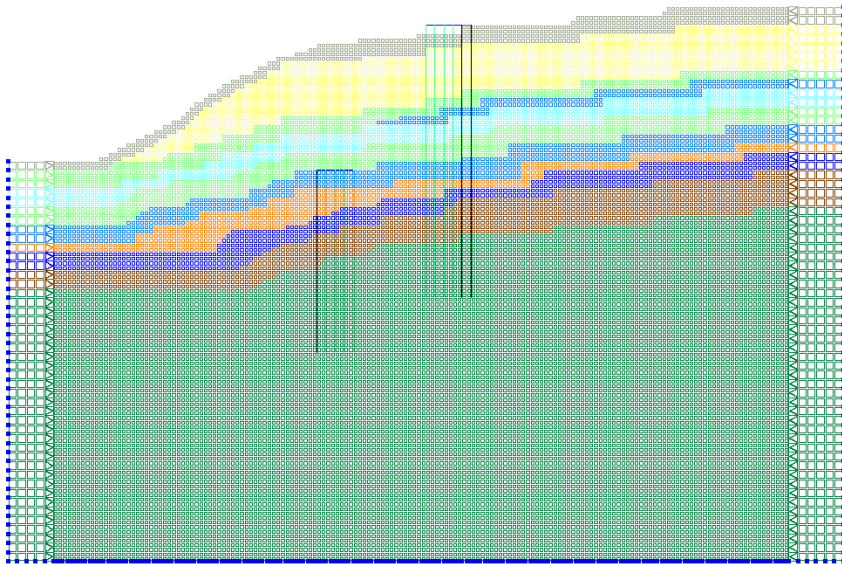


Рис. 2 – Скінченно-елементна схема утримуючих конструкцій за другим варіантом

Підпірна стіна ПС-0, що запроєктована в верхній частині схилу, не буде сприймати вертикального навантаження від підземного паркінгу, що знаходиться між підпірними стінами ПС-1 та ПС-2, а в процесі експлуатації комплексу буде виконувати функцію огороження стилістичної частини будинку.

Конструкція підпірної стіни ПС-0 виконана з буронабивних паль діаметром 420 мм, що розташовані в 1 ряд та жорстко з'єднані між собою залізобетонним ростверком. Крок паль в ряді – 0,8 м, довжина паль складає 10,0 м. Палі з'єднані між собою залізобетонним ростверком висотою 800 мм. Позначка верху паль 132,08, позначка низу – 122,08. Розробка котловану на 3,8 м до позначки 129,80.

Послідовність влаштування підпірних стін ПС-0, ПС-1, ПС-2 виконується зверху вниз з поетапним відкопуванням та плануванням схилу. Після влаштування підпірних стін влаштовуються несучі конструкції підземного паркінгу, що знаходяться між підпірними стінами ПС-1 та ПС-2. Особливістю цього інженерного рішення є те, що перекриття підземного паркінгу, з одного боку, передають навантаження через закладні деталі, які встановлені в арматурному каркасі паль підпірної стіни ПС-1, а з іншого боку, на монолітні стіни, які опираються на ростверк підпірної стіни ПС-2. Таким чином, підземний паркінг працює в складі підпірних стін та дає додаткову жорсткість конструкціям підпірних стін для забезпечення стійкості та надійності утримуючих конструкцій.

Висновки

З метою підвищення надійності захисту екосистем на узбережжях морів і річок подальші дослідження слід орієнтувати на отримання інформації про напружено-деформований стан ґрунтового масиву під дією геодинамічних процесів та технологічних впливів, яку можна отримати шляхом чисельного моделювання таких систем з використанням сучасних розрахунково-програмних комплексів (наприклад АСНД VESNA). Для реалізації поставленої мети необхідно насамперед провести ряд досліджень з виявлення впливу абразії моря на стабільність території, складеної переважно лесовими ґрунтами, які внаслідок зволоження, з одного боку, та дії моря, з іншого боку, зумовлюють деформаційні процеси у вигляді зсувів та обвалів, що свідчить про необхідність вживання превентивних заходів з метою забезпечення стабільності території.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тугай О.А. Передумови вдосконалення організаційно-технологічних рішень ревіталізації технологічних процесів будівельного виробництва [Текст] / О.А. Тугай, А.О. Осипова // Управління розвитком складних систем. – 2017. – № 29. – С. 200–204.
2. Крамер Д.А. Европейский опыт ревитализации малых рек / Д.А. Крамер, М. Неруда, И.О. Тихонова. // Научный диалог. – 2012. – №2. – С. 112–128.
3. Быстрова Т.Ю. Парк Эмшер: принципы и приемы реабилитации промышленных территорий / Татьяна Юрьевна Быстрова. // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2014. – №2. – С. 9–14.
4. Быстрова Т.Ю. Реабилитация промышленных территорий городов: теоретические предпосылки, проектные направления (Ч. 1) / Т.Ю. Быстрова // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2013. – №3. – С. 21–24.
5. Демидова Е.В. Реабилитация промышленных территорий как части городского пространства / Е.В. Демидова // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2013. – №1. – С. 8–13.
6. Савйовський В.В. Ревіталізація – екологічна реконструкція міської забудови / В.В. Савйовський, А.П. Броневіцький, О.Г. Каржинерова // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2014. – № 8. – С. 47–52. – Режим доступу до ресурсу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vpabia_2014_8_10.
7. Бойко І.П., Арешкович О.О. Аналіз причин зсувних процесів та розробка інженерних захисних заходів з їх стабілізації // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник. – Київ: НДІБК, 2004. – Вип. 61, том 2. – С. 279–282.

8. Дубняк С.С., Коробка А.А. Динаміка вод як абіотичний фактор функціонування прибережних зон дніпровських водоймищ та засіб управління їх станом // Тези доповідей Другого з'їзду гідроекологічного товариства України. – Київ, 2017. – Том 2. – С. 202–203.
9. Дубняк С.С. Методологія дослідження структурно-функціональних особливостей рівнинних водосховищ // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2006. – Т. 10. – С. 20–35.
10. ДБН В.І.І-3-97 Інженерний захист територій, будинків і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення / Держбуд України – К., 1998. – 40 с.

Стаття надійшла до редакції 11.09.2017