

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Мозгового Андрія Олексійовича

«Імовірнісна оцінка надійності і безпеки гідротехнічних споруд каскадів гідроелектростанцій»,

представлену в спеціалізовану вчену раду Д64.820.02 при Українському державному університеті залізничного транспорту на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Дисертація викладена на 592 сторінках і містить 304 – сторінки основного тексту, 47 – таблиць, 56 – рисунків, 504 – найменувань літератури, 23 додатка на 216 сторінках.

Дисертація складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків.

Актуальність роботи. Виробництво електроенергії гідроелектростанціями за рахунок використання відновлюваних гідроенергетичних ресурсів належить до важливих природоохоронних, ресурсозберігаючих технологій і дозволяє запобігти забрудненню навколишнього середовища. Гідровузли Дніпровського каскаду гідроелектростанцій мають виключно важливе значення для забезпечення надійної роботи об'єднаної енергетичної системи України. Підсумковий виробіток електроенергії гідроелектростанціями Дніпровського каскаду становить до 90% виробітку усіх гідроелектростанцій України. Водосховища Дніпровського каскаду забезпечують комунально-побутові, промислові і сільськогосподарські потреби більше ніж 50% території України.

Гідротехнічні споруди, гідровузли і каскади гідровузлів є технічно складними інженерними об'єктами.

Проблема забезпечення надійності і безпеки гідротехнічних споруд зумовлена широким їх розповсюдженням, високим рівнем відповідальності, складністю і значною потенційною небезпекою.

Чинні в Україні норми проектування гідротехнічних споруд регламентують здійснювати оцінювання надійності і безпеки споруд за допомогою методу граничних станів у напівімовірнісній чи детерміністичній постановці, а також – на основі розрахунків імовірнісними методами. Обидва методи є нормативними. Крім того, у закордонних нормах проектування гідротехнічних споруд значний акцент робиться на урахування ризиків від випадкового характеру гідрологічних режимів водотоку і сейсмічних впливів.

Імовірнісні методи дають більш об'єктивну оцінку ресурсу узагальненої несучої здатності, а відповідно – надійності і безпеки гідротехнічних споруд каскадів гідроелектростанцій. Вони здатні урахувувати навантаження і впливи в усьому діапазоні їх дії. Також, при використанні імовірнісних методів, з'являється можливість урахування кореляційних зв'язків між природними факторами, визначальними з точки зору впливу на гідротехнічні споруди.

Виходячи з вище означеного, дана дисертаційна робота спрямована на розробку алгоритму імовірнісного оцінювання надійності і безпеки

гідротехнічних споруд каскаду гідроелектростанцій в рамках системної теорії надійності з урахуванням кореляційних зв'язків між природними факторами є актуальною з наукової та практичної точки зору.

Роботу виконано відповідно до **загальнодержавної програми** Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», яка затверджена Кабінетом Міністрів України (розпорядження № 605-р від 18.08.2017 р.) та в рамках тематики кафедри гідротехнічного будівництва Харківського національного університету будівництва та архітектури за 2013 – 2018 рр.: «Удосконалення способів розрахунку конструктивних елементів гідротехнічних споруд» (№ ДР 0115U005723) «Удосконалення методів статичного і динамічного розрахунків гідротехнічних споруд у детерміністичній та імовірнісній постановках» (№ ДР 0116U003337).

Метою роботи є розроблення моделі імовірнісного оцінювання надійності і безпеки гідротехнічних споруд каскадів гідроелектростанцій в рамках системної теорії надійності.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

вперше:

- здійснено підбір функцій розподілів природно-кліматичних явищ, визначено їх параметри для географічних місць розташування гідровузлів Дніпровського каскаду гідроелектростанцій;
- побудовано узагальнене дерево відмов і несправностей Дніпровського каскаду гідроелектростанцій;
- розроблено та застосовано алгоритм імовірнісного оцінювання надійності гідротехнічних споруд каскаду гідроелектростанцій в рамках системної теорії надійності з урахуванням кореляційних зв'язків між природними факторами;

удосконалено:

- кореляційні зв'язки між природно-кліматичними явищами: щорічними максимальними паводковими витратами у створах гідровузлів Дніпровського каскаду, щорічною максимальною товщиною льоду у водосховищах гідровузлів цього каскаду, щорічними максимально низькими середньомісячними температурами, а також щорічними максимальними амплітудами середньомісячних температур у створах гідровузлів Дніпровського каскаду;

отримало подальший розвиток:

- дослідження випадкового характеру природно-кліматичних явищ, а саме: щорічних максимальних бальностей землетрусів, щорічних максимально низьких середньомісячних температур, щорічних максимальних амплітуд середньомісячних температур, щорічних максимальних швидкостей вітру, щорічної максимальної товщини льоду;
- методика імовірнісного оцінювання надійності загальних і спеціальних водопідпірних гідротехнічних споруд гідровузлів Дніпровського каскаду гідроелектростанцій в рамках параметричної теорії надійності.

Практичне значення роботи полягає у отриманні чисельного значення ризику виникнення надзвичайного стану на Дніпровському каскаді гідроелектростанцій. У результаті впровадження підходів, регламентованих у даному дослідженні, очікується підвищення технічного рівня розрахунку складних природно-технічних систем, зокрема, гідровузлів каскадів гідроелектростанцій, а також підвищення надійності існуючих гідротехнічних споруд гідровузлів каскаду.

Матеріали дисертаційної роботи **впроваджені** в практику експлуатації та навчальний процес ЗВО.

Достовірність отриманих в роботі результатів забезпечується співставленням результатів власних досліджень із дослідженнями вітчизняних та зарубіжних авторів, даними чисельного моделювання роботи гідротехнічних споруд та порівнянням їх з результатами натурних досліджень стану гідротехнічних споруд Дніпровського каскаду; обґрунтуванням передумов використаних для визначення параметрів функцій розподілів природно-кліматичних явищ, які приймалися на основі опрацювання статистичних даних із відкритих джерел. При розробленні імовірнісних математичних моделей надійності і безпеки застосовано методи механіки деформівного твердого тіла, метод імітаційного моделювання навантажень і впливів на гідротехнічні споруди, методи теорії імовірності і математичної статистики, а також апробацією результатів роботи на науково-технічних конференціях різного рівня.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації доповідалися: науково-технічних конференціях професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів ХДТУБА – ХНУБА (м. Харків, 2009 – 2019 рр.); IV-й Міжнародній науковій конференції «Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель і споруд» (м. Харків, ХДТУБА, 2009 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві» (м. Харків, ХДТУБА, 2011 р.); Науково-технічній конференції «Гідротехнічні та гідроенергетичні об'єкти України» (м. Рівне, НУВГП, 2011 р.); V-й Міжнародній науковій конференції «Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель і споруд» (м. Харків, ХДТУБА, 2011 р.); 6-й Міжнародній науково-практичній конференції гідроенергетиків «Світові тенденції й перспективи розвитку гідроенергетики України» (м. Рівне, Асоціація «УКРГІДРОЕНЕРГО», 2013 р.); Міжнародній науково-технічній конференції, присвяченій 100-річчю з дня народження професора І. Є. Прокоповича «Проблеми теорії і практики будівельних конструкцій» (м. Одеса, ОДАБА, 2013 р.); VI-й Міжнародній науковій конференції «Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель і споруд» (м. Харків, ХНУБА, 2013 р.); VI-му Всеукраїнському науковому семінарі «Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур», присвяченому 100-річчю створення Харківської каналізації (м. Харків, ХНУБА, 2014 р.); IV-й міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Будівництво,

реконструкція і відновлення будівель міського господарства» (м. Харків, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2014 р.); VII-й Міжнародній науковій конференції «Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель і споруд» (м. Харків, ХНУБА, 2015 р.); VII-му Всеукраїнському науковому семінарі «Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур» (м. Харків, ХНУБА, 2016 р.); VI-й Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (м. Харків, УкрДУЗТ, 2017 р.); Міжнародній виставці «Інтер-Транспорт» і міжнародній науково-технічній конференції «Гідротехнічне і транспортне будівництво» (м. Одеса, ОДАБА, 2017 р.); VIII-й Міжнародній науковій конференції «Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель і споруд» (м. Харків, ХНУБА, 2017 р.); VII-й Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (Трансбуд-2018), (м. Харків, УкрДУЗТ, 14-16 2018 р.).

Дисертаційна робота в цілому розглядалася на: науково-технічній раді Харківського національного університету будівництва та архітектури, (м. Харків, ХНУБА, 12 грудня 2018 р.); розширеному засіданні кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки Національного університету водного господарства та природокористування, (м. Рівне, НУВГП, 19 березня 2019 р.); розширеному засіданні кафедри геотехніки та підземних споруд Харківського національного університету будівництва та архітектури, (м. Харків, ХНУБА, 12 квітня 2019 р.).

Важливість отриманих результатів дисертації. Результати, отримані автором в ході проведених досліджень, дали можливість вирішити наукову проблему для будівельної галузі, а саме розробити модель імовірнісної оцінки надійності і безпеки гідротехнічних споруд каскадів гідроелектростанцій в рамках системної теорії надійності.

Рекомендації відносно використання результатів дисертації. Пропозиції, розроблені здобувачем на підставі власних досліджень та аналізу досліджень інших авторів щодо імовірнісного оцінювання надійності і безпеки гідротехнічних споруд каскадів гідроелектростанцій з урахуванням їх реальної роботи та фактичних розподілів навантажень і впливів, а також їх сумісного впливу, які наведені в дисертації, пропонується використовувати під час проектування споруд, розробленні регламенту їх експлуатації та порядку проведення планово-попереджувальних ремонтів та підсилення, а також в ході експлуатації систем з метою забезпечення їх надійної роботи, а також при розробці нормативних документів щодо надійної експлуатації конструкцій та їх систем і в навчальному процесі ЗВО будівельного профілю.

Повнота викладу положень дисертації в опублікованих працях. За темою дисертаційної роботи опубліковано 28 наукових праць, з них 27 статей у фахових виданнях, рекомендованих МОН України, у тому числі 10 – у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз; 2 статті у зарубіжних періодичних виданнях, що входять до міжнародних

наукометричних баз; 1 додаткова публікація; 11 публікацій апробаційного характеру, з яких 1 у матеріалах конференції, що індексується в Scopus.

Оцінка змісту дисертації. Тема та зміст роботи відповідають вимогам, що відносяться до спеціальності 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди.

У *вступі* (9 сторінок) представлена загальна характеристика роботи, наведено актуальність, зв'язок із науковими темами, сформульовано мету та задачі досліджень, представлено практичне значення роботи та наукову новизну.

В *першому розділі* дисертації на 26 сторінках проаналізовано роль гідроенергетики в сучасних умовах і перспективи розвитку гідроенергетики в Україні. Розглянуто особливості роботи каскадів гідроелектростанцій і основні фактори, що впливають на їх надійність і безпеку, статистичні дані аварій гідротехнічних споруд. Наведено стан розвитку теорії надійності гідротехнічних об'єктів, а саме залучення математичного апарату теорії випадкових функцій, теорії випадкових процесів до методів розрахунку надійності конструкцій і споруд. Розглянуто основні аспекти параметричної і системної теорій надійності, які використовуються для оцінки надійності і безпеки гідротехнічних об'єктів. Проаналізовано методи параметричної і системної теорій надійності які використовуються для оцінювання надійності і безпеки гідротехнічних об'єктів, конструкцій і споруд.

Проаналізовано сучасні підходи щодо оцінювання надійності бетонних гребель, гребель із ґрунтових матеріалів, водоскидних споруд гідровузлів, судноплавних шлюзів, будівель гідроелектростанцій, монтажних майданчиків, статистичні методи аналізу їх стану з урахуванням натурних даних критеріїв їх надійності.

З'ясовано, що в існуючих нормативних документах відсутні імовірнісні методики моделювання поведінки гідросистем, оцінювання надійності і безпеки складних природно-технічних систем, а саме – каскадів гідроелектростанцій. Показано, що поза увагою сучасних літературних джерел залишились, притаманні саме каскадам гідроелектростанцій, кореляційні зв'язки між природними факторами впливу. Виходячи з вище зазначеного були сформульовані основні задачі дослідження.

У *другому розділі* (21 сторінка) автором здійснено збір і аналіз статистичних даних сейсмічної активності на території України, отримано залежності між макросейсмічною бальністю, енергетичним класом землетрусу і магнітудою. Підібрано функції розподілів та обчислено їх параметри. За оцінкою точності результатів розрахунків встановлено, що найбільш повно відображає характеристики мінливості сейсмічної активності логарифмічно-нормальний розподіл.

Такі ж процедури були проведені відносно інших значущих навантажень та впливів, а саме: щорічної максимально низької середньомісячної температури і щорічної максимально амплітуди середньомісячних температур; максимальних швидкостей вітру; щорічної максимально товщини льоду.

Вибір типу аналітичної функції розподілу здійснюється на підставі порівняльної оцінки відповідності аналітичних кривих імовірностей емпіричним кривим за рекомендаціями міжнародного посібника з методів розрахунку основних гідрологічних характеристик.

Третій розділ (21 сторінка) присвячений отриманню кореляційної залежності щорічних максимальних паводкових витрат, обчисленню функції лінійної регресії для щорічних максимальних витрат. Автором обчислено коефіцієнти кореляції двох вибірок для пар гідровузлів, коваріацію вибірок, оцінено стандартну похибку.

Здобувачем проведені аналогічні дослідження щодо щорічної максимальної товщини льоду, щорічних максимальних амплітуд середньомісячних температур, щорічної максимально низької середньомісячної температури зовнішнього повітря.

У четвертому розділі (95 сторінок) здійснено детерміністичне оцінювання надійності загальних водопідпірних гідротехнічних споруд каскаду гідроелектростанцій на підставі методу граничних станів, а також імовірнісну оцінку надійності в рамках параметричної теорії надійності за критеріями, регламентованими нормами проектування.

Імовірнісна оцінка надійності гребель із ґрунтових матеріалів за критеріями стійкості верхового та низового укосів в рамках параметричної теорії надійності передбачає побудову залежності між позначками рівнів верхнього і нижнього б'єфів, значеннями розрахункових коефіцієнтів запасу стійкості верхових і низових укосів гребель. Для визначення коефіцієнтів запасу стійкості укосів при різних позначках рівнів води використано чисельний метод скінчених елементів, реалізований у програмному комплексі Midas GTS NX.

Результати імовірнісної оцінки надійності гребель із ґрунтових матеріалів гідровузлів Дніпровського каскаду в рамках параметричної теорії надійності свідчать, що розрахункові значення щорічних імовірностей настання граничних станів гребель із ґрунтових матеріалів Київського гідровузла знаходяться в допустимих нормах меж. Результати імовірнісних розрахунків надійності гребель корелюються із результатами, що отримані за детерміністичною методикою.

Крім того, в рамках параметричної теорії надійності здійснено імовірнісне оцінювання надійності гребель із ґрунтових матеріалів на нескельовій основі за критеріями: переливу води через гребінь греблі; вичерпання фільтраційної міцності тіла греблі; вичерпання фільтраційної міцності основи; руйнування кріплення укосу.

В рамках параметричної теорії надійності виконано імовірнісне оцінювання надійності: бетонної водозливної греблі на нескельовій основі за критеріями: вичерпання механічної міцності тіла греблі, вичерпання фільтраційної міцності основи, втрати стійкості проти зсуву, втрати стійкості проти перекидання, втрати стійкості проти спливання, відмови затвору водозливу; бетонної водозливної греблі на скельовій основі за критеріями:

вичерпання механічної міцності тіла греблі, вичерпання механічної міцності основи, втрати стійкості проти зсуву, втрати стійкості проти перекидання, відмови затвору водозливу; гравітаційних стоянів на нескельовій основі за критеріями: вичерпання механічної міцності, вичерпання механічної міцності основи, втрати стійкості проти зсуву; гравітаційних стоянів на скельовій основі за критеріями: вичерпання механічної міцності, вичерпання механічної міцності основи, втрати стійкості проти зсуву, втрати стійкості проти перекидання.

Ураховано випадковий характер гідрологічного режиму р. Дніпро, сейсмічних, температурних і вітрових впливів, льодового режиму, властивостей основи.

П'ятий розділ (64 сторінки) присвячений детерміністичному оцінюванню надійності спеціальних водопідпірних гідротехнічних споруд каскаду гідроелектростанцій на підставі методу граничних станів, а також здійснено імовірнісну оцінку надійності: будівель гідроелектростанцій і монтажних майданчиків гідроелектростанцій на нескельовій та скельовій основі; камер і голів шлюзів на не скельовій та скельовій основі за відповідними критеріями.

Ураховано випадковий характер гідрологічного режиму р. Дніпро, сейсмічних, температурних і вітрових впливів, властивостей основи.

Сейсмічний вплив на споруди задається у вигляді сукупностей таких навантажень: інерційні сили, сейсмічний гідродинамічний тиск води в обернених засипках, сейсмічний тиск ґрунту обернених засипок.

У шостому розділі (55 сторінок) розроблено дерева відмов і несправностей гідротехнічних споруд гідровузлів на підставі аналізу компонувальних і конструктивних рішень гідровузлів Дніпровського каскаду. Пропонуються підходи, які дозволяють ураховувати кореляційні зв'язки між випадковими величинами, що описують різноманітні впливи на гідротехнічні споруди пар гідровузлів каскаду гідроелектростанцій. Розглядаються такі випадкові величини: щорічні максимальні паводкові витрати, щорічна максимальна товщина льоду, щорічні максимальні низькі середньомісячні температури, максимальні амплітуди середньомісячних температур.

За результатами імовірнісного оцінювання надійності гідротехнічних споруд гідровузлів Дніпровського каскаду гідроелектростанцій в рамках параметричної теорії надійності із застосуванням принципу слабкої ланки розроблено блок-схему підсистем розрахункового узагальненого дерева відмов і несправностей, а також узагальнене дерево відмов і несправностей Дніпровського каскаду гідроелектростанцій.

У загальних висновках за роботою (3 с.) викладені основні результати роботи.

Автореферат повністю відображає основні положення, які викладені в дисертаційній роботі.

Зауваження за змістом роботи:

1. У випадку, коли мова іде про конструкції, будівлі та споруди слід вживати термін «несуча здатність» замість «міцність» (с. 2 і далі за текстом).
2. Виходячи зі змісту анотації, (с. 4) розділи 4 та 5 слід було об'єднати.
3. В дисертації досить багато русизмів: «оцінка» (як процес) замість «оцінювання»; «являються» замість «є»; «в залежності від» замість «залежно від», «діючі норми» замість «чинні норми», а також, тавтології.
4. Об'єктом та предметом досліджень, згідно вимог АК має бути процес або явище (с. 29).
5. В методах досліджень анонсовано «математичне моделювання напружено-деформованого стану гідротехнічних споруд та їх основ із залученням механіки методів суцільного середовища» (с. 31). В дослідженнях цей метод не використовувався.
6. Наукова новизна (с. 31) не відображає повністю проведених досліджень та отриманих результатів.
7. Впровадження результатів досліджень, як для докторської дисертації, недостатнє. Бажано розробити (або впровадити) рекомендації в норми проектування чи експлуатації.
8. В першому розділі відсутній широкий та критичний огляд проведених раніше досліджень. Так, на с. 41–46 наведені статистичні дані з одних джерел. Це є довідковий матеріал та необхідний для проведення досліджень. Тим більше немає необхідності виносити вимоги норм (табл. 1.2 на с. 51).
9. Задачі досліджень на с. 29 (10 пунктів) не корелюються з задачами на с. 60 (11 пунктів) та зовсім не відповідають загальним висновкам (7 пунктів) (с. 320), які декларують «що зроблено», а не результати досліджень.
10. Місто Вранча не знаходиться на території України (с. 62 та далі за текстом).
11. Огляд раніше проведених досліджень з розділу 2 (с. 62 та далі за текстом) і з інших розділів слід перенести в розділ 1.
12. В огляді літератури та в подальшому не розглядаються відомі роботи сучасних дослідників, а саме: Єгупова К.В. «Сейсмостійкість каркасних будівель та споруд», 2009 р., Кінаша Р.І. «Методи нормування тимчасових навантажень та оцінювання будівельних конструкцій за умов неповної інформації», 2001 р., Пашинського В.А. «Методологія нормування навантажень на будівельні конструкції», 1999 р. та інших.
13. В дисертації наведені детальні характеристики будівель і споруд, а також гідровузлів, які розглядалися як об'єкт апробації розробленої автором методології або джерело для отримання певної інформації для її створення. Вважаю, що таких детальних характеристик наводити не варто або їх слід було віднести до додатків.

14. Оскільки дисертаційна робота присвячена «Імовірнісній оцінці надійності і безпеки...», то «детерміністична оцінка надійності...» (с. 138 і далі за текстом) (що саме по собі звучить дивно) не є предметом даних досліджень.
15. Рис. 4.9–4.13 не інформативні оскільки відсутня легенда графіків.
16. В дисертації зустрічаються позначення, що використовувалися у відмінених нормах (с. 139, 141 і далі за текстом).
17. В тексті дисертації трапляється наведення банальних речей, наприклад, вирази 4.52, 4.53 (с. 143 тощо).
18. Висновки за розділами 4 (с. 198), 5 (с. 263), 6 (с. 319) перераховують, «що зроблено», а не «отримані результати».
19. На рис. 6.1 (с. 265) показані водосховища, а не гідроелектростанції, як свідчить підпис рисунку.

Висновок

На підставі досліджень, які провів автор, можна зробити висновок, що дисертаційна робота здобувача Мозгового Андрія Олексійовича «Імовірнісна оцінка надійності і безпеки гідротехнічних споруд каскадів гідроелектростанцій» є завершеною науковою працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують наукову проблему для будівельної галузі. Вона має наукову новизну та практичну цінність, професійно сформульована і правильно оформлена. Зміст автореферату повністю відображає зміст дисертації.

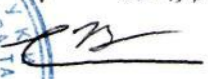
В результаті проведеного аналізу представлених матеріалів вважаю, що дисертаційна робота Мозгового Андрія Олексійовича відповідає п.п. 9 та 10 «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого Кабінетом Міністрів України, та вимогам до докторських дисертацій, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук.

Офіційний опонент, доктор технічних наук,
професор, Заслужений діяч науки і техніки України,
завідувач кафедри залізобетонних конструкцій та
транспортних споруд Одеської державної академії
будівництва та архітектури


Є.В. Клименко
7.10.1991

Підпис д.т.н., професора Клименка Є.В. завіряю:



Директор ОДАБА

Шевлюков С.О.