

ПИТАННЯ ЗАПОБІГАННЯ НАДЗВИЧАЙНИМ СИТУАЦІЯМ ТЕРОРИСТИЧНОГО ТА ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ, ЩО ПОВ'ЯЗАНІ З ДІЯЛЬНІСТЮ ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН (ПІДРОЗДІЛІВ) ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

DOI 10.33099/2786-7714-2025-2-9-96-107

УДК 351.861:620.9+627.8(477)

Гаврись Андрій Петрович (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0003-2527-7906>

Філіппова Вікторія Володимирівна

<https://orcid.org/0000-0003-0771-1975>

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів, Україна

ІНТЕГРАЛЬНЕ РАНЖУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ І ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД УКРАЇНИ НА ОСНОВІ ІНДЕКСУ НЕБЕЗПЕКИ

У статті представлено результати дослідження щодо комплексної оцінки та ранжування енергетичних і гідротехнічних споруд, зокрема гідроелектростанцій, гідроакумулювальних електростанцій, теплових електростанцій, дамб і гребель, розташованих на території України. Важливою спільною характеристикою зазначених об'єктів є експлуатація значних обсягів води – як у вигляді водосховищ, що формуються при гідро- та гідроакумулювальних електростанціях і дамбах, так і у процесах охолодження енергоблоків теплових електростанцій. Саме накопичення та техногенне утримання великих мас води створює додаткові ризики. Метою роботи є розробка підходу до визначення пріоритетності об'єктів для впровадження організаційно-технічних заходів безпеки, орієнтованих на мінімізацію наслідків можливих аварій.

Оцінювання здійснювалося за такими ключовими критеріями як встановлена потужність (для гідроелектростанцій, гідроакумулювальних електростанцій та теплоелектростанцій) та об'єм водосховища (для дамб і гребель). Методика дослідження базувалася на аналізі технічних характеристик об'єктів та встановленні відповідності між цими характеристиками, класифікації об'єктів за сукупними показниками ризику, а також ранжування з точки зору безпеки на прикладі просторового моделювання в програмному забезпеченні ArcGIS. У результаті створено ранжовані таблиці з переліком об'єктів за рівнем небезпеки та визначено черговість реалізації заходів безпеки. Візуально представлено просторову модель розміщення об'єктів на карті України.

Результати дослідження можуть бути використані в системах управління ризиками критичної інфраструктури, зокрема у плануванні державної політики, модернізації об'єктів і формуванні планів локалізації та ліквідації наслідків аварій та надзвичайних ситуацій.

Ключові слова: критична інфраструктура, гідротехнічні споруди, цивільний захист, ризик, індекс небезпеки, ранжування.

Вступ

Сучасні трансформаційні процеси, що відбуваються в Україні, супроводжуються низкою викликів, які істотно впливають на рівень безпеки функціонування об'єктів критичної інфраструктури (далі - ОКИ). Особливу небезпеку становлять цілеспрямовані атаки на інфраструктурні об'єкти. З 2022 року систематичні ракетні й дроніві обстріли енергетичних підприємств України призводили до руйнування теплоелектростанцій (ТЕС), трансформаторних підстанцій і мереж, а також до критичних перебоїв в енергопостачанні цілих регіонів. Особливо небезпечними є удари по гідротехнічних спорудах: прикладом стала руйнація Каховської гідроелектростанції (ГЕС) у червні 2023 року, що спричинила масштабне затоплення, екологічні збитки та гуманітарну кризу. Такі події підтверджують, що енергетичні та гідротехнічні

об'єкти, до яких відносяться гідроелектростанції, гідроакумулювальні електростанції (ГАЕС), теплові електростанції, а також дамби та греблі, стали одними з головних цілей у сучасній війні.

Одночасно глобальні кліматичні процеси – зростання середньорічних температур, нерівномірний розподіл опадів, збільшення частоти екстремальних погодних явищ (повені, паводки, посухи) – створюють додаткове навантаження на гідротехнічні споруди, прискорюючи їх фізичне старіння та підвищуючи ймовірність аварій [1].

У такій ситуації особливої ваги набуває формування науково обґрунтованого підходу до оцінювання та ранжування об'єктів критичної інфраструктури. Його ключовим завданням є визначення пріоритетності заходів із модернізації, захисту та оперативного реагування на надзвичайні події. Проте на сьогодні в Україні відсутня

уніфікована система класифікації та пріоритизації об'єктів енергетичної й гідротехнічної інфраструктури. Це істотно ускладнює планування заходів безпеки з боку державних органів, Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС України), операторів критичної інфраструктури та інших зацікавлених сторін [2].

Слід підкреслити, що наявні методики оцінювання здебільшого не враховують просторово-географічний контекст, що обмежує можливості стратегічного управління ризиками на регіональному та національному рівнях. Відсутність інтегрального рейтингу, заснованого на поєднанні технічних, просторових і соціально-економічних критеріїв, ускладнює формування послідовності реалізації організаційно-технічних заходів, спрямованих на зменшення наслідків аварій та підвищення стійкості інфраструктури.

Проблематика безпеки гідротехнічних споруд та енергетичних об'єктів активно розробляється в українській та зарубіжній науковій школі. Зокрема, Г.Г. Фаренюк, О.І. Вайнберг, М.М. Хлапук, В.Д. Шумінський (2019) у своїх працях акцентують увагу на питаннях надійності гідротехнічних споруд в умовах тривалої експлуатації, підкреслюючи роль моніторингу технічного стану та удосконалення нормативно-методичної бази контролю. Їхні результати підтверджують, що більшість гідроспоруд в Україні експлуатуються понад проектні терміни, що збільшує ймовірність виникнення аварійних ситуацій [7].

Дослідження П.М. Санькова, О.В. Дзюбана, О.В. Пилипенка, Н.О. Ткач, В.О. Сидорки (2022) поглиблює аналіз питань експлуатаційної безпеки гідротехнічних споруд, наголошуючи на необхідності створення єдиної системи оцінювання їхнього технічного стану та впровадження превентивних заходів щодо попередження руйнувань. Автори пропонують інтеграцію результатів інженерного моніторингу з геоінформаційними базами даних, що співзвучно із підходами, викладеними в даному дослідженні [8].

Сучасні українські дослідники Ю.П. Стародуб, А.П. Гаврись, В.В. Філіппова (2022) наголошують на важливості моделювання зон паводкового затоплення для запобігання надзвичайним ситуаціям та удосконалення системи управління ризиками гідрологічного походження. У подальшій роботі Гаврись, Філіппова, Тур (2024) розвинули цю ідею в контексті інформаційного аналізу систем захисту об'єктів критичної інфраструктури в період воєнного стану, що підтверджує актуальність поєднання технічних і просторових методів оцінювання небезпеки [9-11].

Зарубіжні дослідники також приділяють значну увагу питанням ризиків та стійкості гідротехнічних систем. Так, R. A. Daniel і T. M. Paulus (2019) у своїй праці "Managing accidents and failures of hydraulic structures" розробили модель управління аваріями та відмовами гідроспоруд, де підкреслено значення прогнозування наслідків через GIS-технології та інтегральні індекси ризику. Аналогічно, M. A. Tadda, A. Ahsan, M. Imteaz та ін. (2020) запропонували

підхід до оцінки ризику з урахуванням кліматичних змін і старіння інфраструктури, наголошуючи на міждисциплінарності підходів до забезпечення стійкості енергетичних систем [12, 13].

Більш новітні дослідження, такі як Y. Mohamed, K. Alla, L. Liu (2021), зосереджуються на просторовому моделюванні впливу руйнування дамб на прилеглі території, підкреслюючи необхідність інтеграції картографічних моделей у процес ухвалення управлінських рішень. Подібні висновки роблять автори звіту Центру безпекових досліджень ETH Zurich (2024), які визначають геоінформаційний моніторинг як ключовий елемент сучасного управління критичною інфраструктурою [14-16].

Разом із тим значна частина наявних досліджень залишається фрагментарною – зосереджуючись або на окремих типах споруд (наприклад, лише на ГЕС), або на вузьких технічних чи екологічних аспектах. Недостатньо розробленим залишається інтегральний підхід, який би поєднував оцінювання різних типів споруд за критеріями потужності, геопросторових характеристик, рівня небезпеки та стратегічної важливості. Крім того, бракує візуалізаційних інструментів (картографічних моделей, інтегральних рейтингів), які могли б стати практичною основою для ухвалення управлінських рішень у системі національної безпеки [17-20].

Саме на вирішення цих проблем спрямоване дане дослідження, у якому запропоновано інтегральний метод оцінки та ранжування енергетичних і гідротехнічних споруд України із залученням геоінформаційних технологій, що поєднує технічні, просторові та аналітичні критерії для підвищення ефективності управління ризиками в енергетичному секторі.

Матеріали та методи

Метою дослідження є формування інтегрального підходу до комплексної оцінки та ранжування енергетичних та гідротехнічних споруд України (гідроелектростанцій, гідроакумулювальних електростанцій, теплових електростанцій, дамб і гребель) з точки зору безпеки на основі аналізу їхньої встановленої потужності та об'єму водосховищ. Такий підхід дозволяє визначити рівень потенційної небезпеки кожного об'єкта, оцінити масштаби можливих наслідків надзвичайних ситуацій та обґрунтувати пріоритетність провадження організаційно-технічних заходів безпеки.

Завдання дослідження полягають в:

аналізі технічних та просторових характеристик енергетичних і гідротехнічних споруд України (ГЕС, ГАЕС, ТЕС, дамб і гребель) з метою визначення ключових параметрів, що впливають на рівень потенційної небезпеки.

розробленні інтегральної методики оцінювання та ранжування об'єктів за критеріями встановленої потужності й об'єму водосховища із визначенням вагових коефіцієнтів та шкали рівнів небезпеки.

здійсненні класифікації та просторової візуалізації об'єктів критичної інфраструктури на

основі запропонованої методики, формуванні інтегрального індексу небезпеки та визначенні пріоритетності організаційно-технічних заходів для підвищення рівня безпеки.

Об'єктами дослідження є об'єкти енергетичної та гідротехнічної інфраструктури України: гідроелектростанції, гідроакумулювальні електростанції, теплові електростанції, дамби та греблі.

Предметом дослідження є методика ранжування об'єктів енергетичної та гідротехнічної інфраструктури за такими ключовими показниками як встановлена потужність об'єкта (для ГЕС, ГАЕС та ТЕС) та об'єм водосховища (для дамб, гребель і ГЕС/ГАЕС, які утворюють великі водні масиви).

Додатково враховуються можливі соціально-економічні наслідки аварій, які визначаються масштабом об'єкта та територіальним контекстом його розташування.

Методологія дослідження.

Методика комплексного оцінювання та ранжування енергетичних і гідротехнічних споруд України ґрунтується на поетапному підході. На першому етапі здійснено збір і систематизацію даних щодо основних характеристик об'єктів (місце розташування, потужність, об'єм водосховища) на основі офіційних джерел, наукових публікацій і відкритих баз даних.

Другим етапом було визначення критеріїв оцінки: для енергетичних об'єктів – встановлена потужність (МВт), для гідротехнічних – об'єм водосховища (км³). У випадку комбінованих споруд (ГЕС, ГАЕС) застосовано інтегральний підхід, що враховує обидва параметри.

На третьому етапі проведено класифікацію та ранжування об'єктів за рівнями небезпеки (низький, середній, високий) з поділом за потужністю та об'ємом водосховища.

Результати оцінювання візуалізовано за допомогою геоінформаційних технологій (ArcGIS), що дало змогу визначити просторові закономірності розташування об'єктів і зони концентрації ризиків.

На завершальному етапі здійснено аналітичну інтерпретацію отриманих даних із формуванням рекомендацій щодо пріоритетності організаційно-технічних заходів безпеки.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання різними суб'єктами системи захисту критичної інфраструктури:

центральними органами виконавчої влади, уповноваженими у сфері цивільного захисту та енергетичної безпеки (зокрема, Державною службою України з надзвичайних ситуацій, Міністерством енергетики України) – для планування заходів з моніторингу техногенних ризиків, оцінювання рівнів критичності та визначення пріоритетних об'єктів для реалізації заходів безпеки;

органами державної влади та місцевого самоврядування – при розробленні регіональних програм підвищення стійкості критичної інфраструктури, удосконаленні планів реагування на

надзвичайні ситуації та планів локалізації і ліквідації аварій;

суб'єктами господарювання – операторами об'єктів критичної інфраструктури – для підвищення рівня експлуатаційної безпеки, запровадження превентивних технічних заходів, удосконалення систем моніторингу та оцінювання стану споруд;

науковими установами та аналітичними центрами – як аналітичної бази для розроблення моделей прогнозування ризиків, оцінювання впливу воєнних і кліматичних чинників на безпеку об'єктів енергетичної та гідротехнічної інфраструктури, а також для створення інформаційно-аналітичних систем підтримки управлінських рішень.

Наукова новизна роботи полягає у розробленні інтегрованої методики оцінки ризиків, що поєднує технічні, просторові та нормативні критерії, а також у створенні картографічної моделі розподілу небезпек, орієнтованої на практичне застосування в державній системі захисту критичної інфраструктури.

Результати

1. Загальна характеристика об'єктів дослідження

Енергетичні та гідротехнічні споруди України становлять основу критичної інфраструктури держави, забезпечуючи стабільність енергопостачання, водного балансу та захист від гідрологічних ризиків. До цієї категорії належать гідроелектростанції, гідроакумулювальні електростанції, теплові електростанції, а також дамби й греблі, які виконують взаємопов'язані функції у загальнодержавній енергетичній і водогосподарській системі.

За даними на 2022 рік, в Україні функціонувало понад 1000 гідроелектростанцій різної потужності, з яких 7 відносилися до великих, 3 – до середніх, решта – до малих, міні- та мікроГЕС. Сумарна встановлена потужність гідроелектростанцій становила близько 6,2 ГВт, що дорівнювало приблизно 9-10 % загального електрогенеруючого потенціалу країни. У 2023 році внаслідок руйнування Каховської ГЕС встановлена потужність знизилася до 5,86 ГВт, а частка гідроенергетики у виробництві електроенергії скоротилася до 8 %.

Гідроакумулювальні електростанції посідають важливе місце у структурі енергетичного комплексу України, забезпечуючи оперативне регулювання режимів роботи Об'єднаної енергетичної системи. Їх головна функція полягає у накопиченні надлишкової електроенергії в години мінімального споживання та подальшому відпуску під час пікових навантажень, що підвищує гнучкість і надійність енергопостачання. В Україні експлуатуються три гідроакумулювальні електростанції – Дністровська, Ташлицька та Київська, які виконують ключову роль у стабілізації енергетичного балансу держави. Наймасштабнішим об'єктом є Дністровська ГАЕС, проєктна потужність якої після завершення будівництва перевищить 2,2 ГВт, що дозволяє

віднести її до числа найбільших гідроаккумулятивних комплексів Європи.

Теплові електростанції залишаються одним із провідних елементів національної енергетичної системи України, забезпечуючи генерацію електроенергії. Станом на 2022 рік частка ТЕС у загальному енергетичному балансі перевищувала 30 %, що свідчить про їх суттєве значення у структурі енергетичного сектору. На території держави експлуатується близько 15 великих теплоелектростанцій, розташованих переважно у промислових регіонах центральної, східної та західної частини України.

Дамби й греблі є важливими гідротехнічними спорудами, призначеними для регулювання річкового стоку, утворення водосховищ, накопичення та розподілу водних ресурсів. Вони забезпечують стабільне функціонування водогосподарських систем, підтримують рівень води в річках і каналах, сприяють зрошенню, водопостачанню та захисту територій від паводків. Їхня надійна робота має вирішальне значення для енергетики, сільського господарства й безпеки населених пунктів.

Сукупність енергетичних і гідротехнічних споруд України формує критичну інфраструктурну мережу, від стабільності якої залежить енергетична, екологічна та продовольча безпека держави. В умовах воєнних дій, системних кібератак та кліматичних змін вразливість цих об'єктів зростає, що зумовлює необхідність їх комплексної оцінки та ранжування за рівнем небезпеки й пріоритетністю впровадження заходів захисту.

2. Ранжування за категоріями об'єктів

Незважаючи на наявність законодавчої бази для визначення об'єктів критичної інфраструктури, зокрема Закону України «Про критичну інфраструктуру» від 16 листопада 2021 р. № 1882-IX та Постанови Кабінету Міністрів України «Деякі питання об'єктів критичної інфраструктури» від 09 жовтня 2020 р. № 1109, у яких передбачені загальні критерії категоризації об'єктів (за впливом на життєво важливі функції, надання життєвих послуг тощо). Проте ці критерії не адаптовані до особливостей енергетичних і гідротехнічних споруд – таких як водосховища, гідродинамічні навантаження, потенційні затоплення та інші водогосподарські фактори. Вони дають змогу віднести об'єкт до категорії критичності, але не забезпечують глибинного порівняння споруд за рівнем техногенних ризиків.

Відповідно до статті 10 пункту 2 Закону України «Про критичну інфраструктуру» від 16 листопада 2021 р. № 1882-IX, установлюються такі категорії критичності об'єктів:

I категорія критичності – особливо важливі об'єкти, які мають загальнодержавне значення, значний вплив на інші об'єкти критичної інфраструктури та порушення функціонування яких призведе до виникнення кризової ситуації державного значення;

II категорія критичності – життєво важливі об'єкти, порушення функціонування яких призведе

до виникнення кризової ситуації регіонального значення;

III категорія критичності – важливі об'єкти, порушення функціонування яких призведе до виникнення кризової ситуації місцевого значення;

IV категорія критичності – необхідні об'єкти, порушення функціонування яких призведе до виникнення кризової ситуації локального значення.

Наведена класифікація визначає базову структуру для ідентифікації об'єктів критичної інфраструктури, проте не деталізує технічні критерії, які дозволяють проводити порівняльну оцінку небезпеки в межах енергетичної та гідротехнічної галузей. Зокрема, у чинних нормативних підходах не враховано такі ключові параметри, як потужність об'єкта та об'єм водосховища, що безпосередньо визначають масштаб можливих наслідків у разі аварій або руйнування споруд. Саме тому в даному дослідженні категорії критичності адаптовано до особливостей енергетичних і гідротехнічних об'єктів та використано як основу для формування інтегральної шкали рівнів небезпеки.

У галузевих нормативних актах, зокрема ДСТУ 7501:2014 «Гідроенергетика. Гідроелектростанції малі. Терміни та визначення понять», ГКД 34.20.507-2003 «Правила технічної експлуатації електричних станцій і мереж» та інших документах, що регламентують технічну експлуатацію об'єктів енергетичної інфраструктури, основну увагу приділено забезпеченню надійності функціонування та проведенню технічного контролю окремих споруд. Водночас ці нормативи не містять єдиної методологічної основи для системного порівняння рівнів ризику між різними типами енергетичних і гідротехнічних об'єктів, що обмежує можливості комплексного управління безпекою в масштабах усієї інфраструктури.

Таким чином, існуюча нормативна класифікація не дає змоги визначати пріоритетні споруди для реалізації заходів безпеки всередині груп енергетичних і гідротехнічних об'єктів. Саме через це в цій роботі запропоновано методику інтегрального ранжування ГЕС, ГАЕС, ТЕС, дамб і гребель з урахуванням специфіки водогосподарської та енергетичної діяльності. Такий підхід може доповнити державні механізми категоризації, створивши інструмент для обґрунтованого управління ризиками й визначення пріоритетів модернізації та захисту. Розглянемо кожен групу цих об'єктів.

Гідроелектростанції

Гідроелектростанції є одним із ключових елементів енергетичної системи України, оскільки забезпечують виробництво електроенергії за рахунок використання водних ресурсів та формують великі водосховища, що мають стратегічне значення для енергетики, водопостачання та зрошення. Найпотужніші ГЕС зосереджені на річці Дніпро (Київська, Канівська, Кременчуцька, Дніпровська, Каховська, Середньодніпровська), а також на Дністрі (Дністровська ГЕС).

Для оцінювання рівня небезпеки враховувалася встановлена потужність станцій та об'єм

водосховищ, оскільки саме ці показники визначають масштаби можливих наслідків у разі аварії чи руйнування споруди. Результати наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Визначення рівнів небезпеки для ГЕС та ГАЕС враховуючи потужність об'єкта та об'єм водосховища

Потужність \ Об'єм	Малі <0.01	Невеликі 0.01-0.1	Середні 0.1-1	Великі 1-10	Дуже великі 10-50	Найбільші >50
Малі <10 МВт	● Низький	● Низький	■ Середній	■ Середній	▲ Високий	▲ Високий
Середні 10-30 МВт	● Низький	■ Середній	■ Середній	▲ Високий	▲ Високий	▲ Високий
Великі >30 МВт	■ Середній	■ Середній	▲ Високий	▲ Високий	▲ Високий	▲ Високий

Авторами запропонована наступна шкала рівнів небезпеки:

● Низький рівень небезпеки: малі ГЕС з малими водоймами, що не становлять значної загрози при аварії та можуть обійтись мінімальним контролем.

■ Середній рівень небезпеки: Можлива загроза для навколишнього середовища або

населених пунктів поблизу, тому потрібен регулярний моніторинг і готовність реагувати.

▲ Високий рівень небезпеки: це великі або середні за потужністю ГЕС із великими водосховищами, що у разі аварії створюють катастрофічні наслідки, це зумовлює необхідність планів евакуації, автоматичного сповіщення та посилення технічного контролю. Відповідно до рівнів небезпеки було сформовано табл. 2.

Таблиця 2

Ранжування гідроелектростанцій України

№ з/п	Назва ГЕС	Місцезнаходження	Потужність (МВт)	Назва водосховища	Об'єм (км³)	Рівень небезпеки
1.	Дніпровська	Запорізька	1579	Дніпровське	3,32	▲
2.	Дністровська	Чернівецька	702	Дністровське	2,0	▲
3.	Кременчуцька	Кіровоградська	686	Кременчуцьке	13,5	▲
4.	Канівська	Черкаська	472	Канівське	2,63	▲
5.	Київська	Київська	440	Київське	3,73	▲
6.	Середньодніпровська	Дніпропетровська	352	Кам'янське	2,45	▲
7.	Каховська	Херсонська	334,8	Каховське	18,2	▲
8.	Нижньодністровська	Чернівецька	40,8	Дністровське (буферне)	44,9	▲
9.	Теребле-Ріцька	Закарпатська	27	Вільшанське	0,024	■
10.	Олександрівська	Миколаївська	11,5	Олександрівське	0,114	■

Виходячи з результатів ранжування гідроелектростанцій України (таб. 2) найбільш небезпечними є великі ГЕС із водосховищами, об'ємом понад 10 км³ (Каховська, Кременчуцька, Київська), оскільки потенційні наслідки їхнього руйнування матимуть катастрофічний характер – затоплення значних територій, руйнування інфраструктури, загрозу життю населення. Середні та малі ГЕС із меншими водоймами становлять локальну небезпеку, та їх аварії не мають таких масштабних наслідків.

Гідроакмулювальні електростанції

ГАЕС є унікальними об'єктами енергетичної інфраструктури, оскільки поєднують ознаки енергогенерувальних і гідротехнічних споруд. Це зумовлює необхідність урахування комбінованих критеріїв безпеки під час їхнього оцінювання – як

технічних (встановлена потужність), так і просторових (об'єм водосховищ). Такий підхід дає змогу комплексно визначати рівень потенційної небезпеки та формувати інтегральні показники ризику. Результати ранжування ГАЕС наведені в табл. 3. Для ранжування ГАЕС використовувались дані з табл. 1.

Усі три ГАЕС віднесено до категорії високого рівня небезпеки, оскільки вони поєднують значну встановлену потужність та великі об'єми водосховищ. У разі аварії можливе виникнення масштабних наслідків для енергосистеми, локальних населених пунктів і промислових об'єктів. Найбільшу небезпеку становить Дністровська ГАЕС як за потужністю, так і за стратегічною роллю в енергетичному балансі держави.

Таблиця 3

Ранжування гідроакумуляційних електростанцій України						
№ з/п	Назва ГАЕС	Місцезнаходження	Потужність (МВт)	Водосховище	Об'єм (млн.м ³)	Рівень небезпеки
1	Київська	Київська	235	Київське	3,7	▲
2	Ташлицька	Миколаївська	302	Ташлицьке	0,86	▲
3	Дністровська	Чернівецька	972	Дністровське	3,0	▲

Теплові електростанції

ТЕС залишаються основою генерації електроенергії в Україні, особливо у зимовий період та за умов зменшення виробництва з боку відновлюваних джерел. Для ранжування ТЕС було враховано їхню потужність і джерела охолодження (водосховища або водойми). Найбільші ТЕС

зосереджені у східних, центральних та західних областях – Запорізька, Бурштинська, Трипільська, Ладизинська, Зміївська тощо. Для теплоелектростанцій авторами запропоновано визначення рівнів небезпеки, які наведені в табл. 4. На основі цих рівнів небезпеки, результати ранжування наведені в табл. 5.

Таблиця 4

Визначення рівнів небезпеки для ТЕС враховуючи потужність об'єкта та об'єм водосховища

Потужність \ Об'єм	Малі <0,01	Невеликі 0,01-0,1	Середні 0,1-1	Великі 1-10	Дуже великі 10-50	Найбільші >50
Малі <100 МВт	● Низький	● Низький	■ Середній	■ Середній	▲ Високий	▲ Високий
Середні 100-250	● Низький	■ Середній	■ Середній	▲ Високий	▲ Високий	▲ Високий
Середні/Великі 250-1000	■ Середній	■ Середній	▲ Високий	▲ Високий	▲ Високий	▲ Високий
Великі >1000	■ Середній	▲ Високий	▲ Високий	▲ Високий	▲ Високий	▲ Високий

Таблиця 5

Ранжування теплоелектростанцій України						
№ з/п	Назва ТЕС	Місцезнаходження	Потужність (МВт)	Водосховище / джерело охолодження	Об'єм (км ³)	Рівень небезпеки
1.	Запорізька	Запорізька	3650	Каховське	18,2	▲
2.	Криворізька	Дніпропетровська	2 820	Зеленодольське	0,074	▲
3.	Бурштинська	Івано-Франківська	2 400	Бурштинське	0,5	▲
4.	Зміївська	Харківська	2 200	Лиман	0,011	▲
5.	Старобешівська	Донецька	2 010	Старобешівське	0,044	▲
6.	Трипільська	Київська	1 800	Канівське	2,63	▲
7.	Ладизинська	Вінницька	1 800	Ладизинське	0,15	▲
8.	Придніпровська	Дніпропетровська	1 765	Дніпровське	3,32	▲
9.	Курахівська	Донецька	1 527	Курахівське	0,062	▲
10.	Зуївська	Донецька	1 245	Озеро-охолоджувач	0,005	■
11.	Луганська	Луганська	1 220	Сіверський Донець	0,008	■
12.	Вуглегірська	Донецька	1200	Вуглегірське	0,16	▲
13.	Слов'янська	Донецька	880	Сіверський Донець	–	●
14.	Добротвірська	Львівська	500	Добротвірське	14,65	▲
15.	Миронівська	Донецька	115	Миронівське	4,76	▲

Найбільш небезпечними є великі ТЕС із потужністю понад 1000 МВт, особливо ті, що використовують великі водосховища (Запорізька, Придніпровська, Трипільська). Їх аварія чи руйнування може призвести до втрати значної частини генерації та масштабних перебоїв в енергопостачанні. Середні ТЕС (500-1000 МВт)

створюють регіональний ризик, тоді як малі мають переважно локальний вплив.

Дамби та греблі

В Україні налічується понад 1200 дамб і гребель, більшість з яких розташована у басейнах великих річок – Дніпра, Дністра, Південного Бугу та Сіверського Дінця. Ці споруди формують систему водосховищ і каналів, що відіграють

ключову роль у забезпеченні енергетики, зрошенні та водопостачанні. Проте значна частина з них функціонує понад проектні терміни, має підвищений рівень фізичного зносу, що створює потенційні ризики аварій і потребує системного моніторингу технічного стану.

У чинних нормативних документах України відсутня офіційна класифікація водосховищ за об'ємом або рівнем потенційної небезпеки. Єдине визначення подано у Водному кодексі України від 06 червня 1995 р. №213/95-ВР, де водосховище трактується як штучна водойма місткістю понад 1 мільйон кубічних метрів, збудована для створення запасу води та регулювання її стоку. Тому для даного дослідження класифікаційні межі прийнято із узагальнення положень наукових і галузевих джерел, зокрема рекомендацій щодо оцінки гідродинамічної безпеки та масштабів можливих наслідків аварій.

Для оцінки рівня небезпеки дамб і гребель використано показники об'єму водосховища, що дають змогу диференціювати споруди за потенційними наслідками у разі руйнування та визначити пріоритетність заходів безпеки. Результати наведені в табл. 6.

Таблиця 6

Категорії об'єму водосховищ (для дамб і гребель)

Категорія об'єму	Об'єм (км³)	Рівень небезпеки
Малі	до 0,01	● Низький
Невеликі	0,01 – 0,1	● Низький
Середні	0,1 – 1	■ Середній
Великі	1 – 10	▲ Високий
Дуже великі	10 – 50	▲ Високий
Найбільші	понад 50	▲▲ Дуже високий

У межах проведеного аналізу було здійснено ранжування водосховищ України за об'ємом, що перевищує 0,01 км³. Відповідно до прийнятої класифікації, рівень небезпеки визначався на основі потенційних наслідків у разі руйнування гідротехнічних споруд, які утворюють ці водойми.

Більшість проаналізованих водосховищ (зокрема Чорнорічине, Сімферопольське, Фронтоне, Партизанське, Загірське, Станційне, Турське озеро, Південне, Златоустівське СН № 2, Шолоховське № 14, Кам'янське СН № 3, Миколаївське, Голубе озеро, Баглійське (верхнє), Кресівське, Макортівське, Карлівське, Верхнє Карлівське, Клебан-Бицьке, Велике Кальміуське, Павлопільське, Старокримське, Миколаївське, Вільхівське, Ханжонківське, Волинцівське, Грабівське, Денишівське, Відсічне, Житомирське, Іршанське, Малинське, Лісове, Вільшанське, Бердянське, Чечвинське, Білоцерківське (верхнє), Великий Супій, Малий Супій, Малий Супій № 3, Новоархангельське, Іскрівське, Ісаківське, Кам'янське, Сватівське, Щербанівське, Софіївське, Катеринівське, Степівське, Жовтневе, Озеро Картал, Кучурганське, Барабойське, Хаджидерське,

Погребівське, Карабутівське, Тернопільське, В'ялівське, Великобурлуцьке, Муромське, Рогозянське, Трав'янське, Орільське, Сергіївське, Олександрівське, Ярошинське) мають об'єм у межах від 0,01 до 0,1 км³, що відповідає низькому рівню небезпеки (●). У разі їхнього прориву наслідки матимуть локальний характер – підтоплення прилеглих сільських територій, незначні втрати водогосподарських об'єктів або короточасні екологічні зміни. До цієї групи належить переважна більшість водосховищ у АР Крим, Дніпропетровській, Донецькій, Житомирській, Київській, Миколаївській, Луганській, Одеській, Харківській та інших областях. Їхня спільна характеристика – обмежений масштаб водойми та відсутність значних населених пунктів у зоні можливого затоплення.

До середнього рівня небезпеки (■) (об'єм у межах 0,1-1 км³) віднесено невелику частку водойм, серед яких: Карачунівське (0,308 км³) в Дніпропетровській області, озеро Ялпуг-Кугурлуй (0,888 км³), Сасик (0,459 км³), озеро Кагул (0,250 км³), Катлабух (0,131 км³) Китай (0,111 км³), в Одеській області, Краснопавлівське (0,410 км³) та Печенізьке (0,383 км³) у Харківській області, а також водойма-охолоджувач Хмельницької АЕС (0,120 км³). Такі об'єкти мають регіональне значення, і в разі аварії можуть спричинити підтоплення або порушення водопостачання для прилеглих населених пунктів, однак не створюють загальнонаціональної загрози.

Зазначені результати пояснюються тим, що великі водосховища з об'ємом понад 1 км³ (Кременчуцьке, Київське, Дніпровське, Дністровське, Каховське) уже були враховані в межах ранжування гідроелектростанцій, гідроакумуляційних електростанцій і теплових електростанцій, які безпосередньо експлуатують ці водойми. Тому у межах цього ранжування розглянуто локальні та середні водосховища, що пояснює відсутність об'єктів із високим (▲) або дуже високим рівнем небезпеки (▲▲).

Виходячи з вищезазначеного, низький і середній рівні небезпеки свідчать про локальний характер потенційних ризиків для більшості водосховищ України. Проте навіть ці об'єкти потребують систематичного технічного нагляду, адже їхній вік, стан гідроспоруд і відсутність належного обслуговування можуть підвищити ризики локальних аварій, особливо у періоди паводків або інтенсивних опадів.

Обговорення

1. Порівняння та інтегральна оцінка ризиків

На основі отриманих результатів ранжування здійснено порівняльний аналіз рівнів небезпеки між різними типами енергетичних і гідротехнічних об'єктів та проведено їх інтегральну оцінку за сукупними показниками потужності й об'єму водосховищ.

Зокрема:

Гідроелектростанції із великими водосховищами (Каховська, Кременчуцька, Київська) становлять надзвичайно високий рівень небезпеки, оскільки поєднують значну енергетичну потужність із ризиком катастрофічного затоплення великих територій.

Теплоелектростанції великої потужності (Запорізька, Бурштинська, Трипільська) здатні спричинити масштабні енергетичні кризи у разі аварії, однак їхні екологічні та соціальні наслідки, як правило, мають локальний характер порівняно з ГЕС.

Гідроакумуляційні електростанції посідають проміжне місце: вони критично важливі для балансування енергосистеми, однак через відносно менші об'єми водойм їхні аварії не призведуть до таких катастрофічних затоплень, як у випадку великих ГЕС.

Дамби та греблі різняться за ступенем небезпеки залежно від об'єму водосховища та технічного стану споруди. Малі й середні водойми несуть локальний ризик, тоді як великі (понад 10 км³) можуть створювати загрозу регіонального масштабу.

Задля об'єктивного співставлення результатів авторами було застосовано інтегральний індекс небезпеки (ІН), що враховує два основних критерії:

P – встановлена потужність об'єкта (у відносних балах, залежно від діапазону потужності);

V – об'єм водосховища (у відносних балах, залежно від класифікації за розмірами).

З метою інтегральної оцінки ризику використано показник інтегрального індексу небезпеки, який обчислюється за формулою:

$$ІН = P \times w_1 + V \times w_2$$

де w_1 та w_2 – вагові коефіцієнти.

У межах цього дослідження для енергетичних об'єктів прийнято вагові

коефіцієнти $w_1=0,6$ і $w_2=0,4$ тоді як для гідротехнічних – у зворотному співвідношенні, що відображає домінуючий вплив потужності або об'єму водосховища відповідно. Отримані значення ІН співвідносяться з категоріями критичності, визначеними статтею 10 пунктом 2 Закону України «Про критичну інфраструктуру» від 16 листопада 2021 р. № 1882-ІХ.

Приклад інтерпретації:

об'єкти із високою потужністю та малим об'ємом водосховища характеризуються середнім рівнем небезпеки.

об'єкти із середньою потужністю, але з великим водосховищем відносяться до високого рівня небезпеки.

найбільш критичними є енергетичні та гідротехнічні об'єкти, що поєднують високу потужність та великі об'єми водосховища, для них інтегральний індекс небезпеки досягає максимальних значень.

З урахуванням положень статті 10 пункту 2 Закону України «Про критичну інфраструктуру» від 16 листопада 2021 р. № 1882-ІХ, отримані результати інтегральної оцінки ризиків співвіднесено з категоріями критичності об'єктів. Об'єкти з високими значеннями ІН (>2,6) відповідають I категорії критичності, тобто мають загальнодержавне значення та створюють ризик кризових ситуацій державного масштабу. До II категорії віднесено споруди середнього рівня небезпеки (1,6-2,5), порушення роботи яких спричиняє регіональні наслідки. Об'єкти з низьким рівнем ІН (1,0-1,5) відповідають III-IV категоріям критичності, що мають локальний характер впливу (табл. 7). Така адаптація дозволяє поєднати технічну оцінку ризиків із нормативною категоризацією критичної інфраструктури та сформулювати єдину шкалу для пріоритезації заходів безпеки.

Таблиця 7

Інтегральна класифікація рівнів небезпеки та категорій критичності об'єктів енергетичної й гідротехнічної інфраструктури

Категорія критичності	Значення ІН	Рівень небезпеки	Характеристика та можливі наслідки
I категорія	2,6 – 4,0	▲ Високий	Об'єкти загальнодержавного значення (великі ГЕС, ТЕС, ГАЕС) та/або об'єкти з дуже великими водосховищами (>10 км ³). У разі аварії можливі катастрофічні наслідки: затоплення міст, руйнування інфраструктури, масові евакуації, втрата стратегічних енергетичних потужностей.
II категорія	1,6 – 2,5	■ Середній	Об'єкти регіонального значення – середні ГЕС і ТЕС, а також гідротехнічні споруди з водосховищами 0,1-10 км ³ . Наслідки можуть охоплювати регіональний рівень, з ризиком затоплення населених пунктів чи перебоїв в енергопостачанні.
III-IV категорії	1,0 – 1,5	● Низький	Об'єкти малої потужності (ТЕС<100 МВт, ТЕС/ГАЕС<10МВт) та/або з невеликими водоймами (<0,1 км ³). Локальні наслідки у разі аварії, мінімальний вплив на населення та інфраструктуру.

Інтерпретація таблиці.

Запропонована шкала інтегрального індексу небезпеки дозволяє систематизувати оцінку

об'єктів критичної інфраструктури та наочно відобразити різницю між ними за потенційними наслідками аварій. До категорії низького ризику

віднесені малі ГЕС, локальні дамби та ТЕС малої потужності, наслідки пошкодження яких обмежуються місцевим рівнем. Середній рівень небезпеки характерний для об'єктів середньої потужності або таких, що мають водосховища середнього об'єму; у разі аварії вони можуть створювати регіональні кризові ситуації з порушенням енергопостачання чи затоплення населених пунктів. Найвищим рівнем ризику характеризуються великі ГЕС і ТЕС, а також гідротехнічні споруди з об'ємами водосховищ понад 10 км³. Їх руйнування може призвести до катастрофічних наслідків державного масштабу,

включаючи втрату значної частки енергетичних потужностей, масштабне затоплення територій та необхідність масових евакуацій.

2. Просторова візуалізація результатів

Важливою складовою комплексної оцінки об'єктів енергетичної та гідротехнічної інфраструктури є їх геопросторова візуалізація, яка дозволяє оцінити просторову концентрацію ризиків на території держави. Для цього у програмному середовищі ArcGIS було виконано картографічне моделювання розміщення гідроелектростанцій, гідроакумуляційних електростанцій та теплових електростанцій України (рис. 1) відповідно.

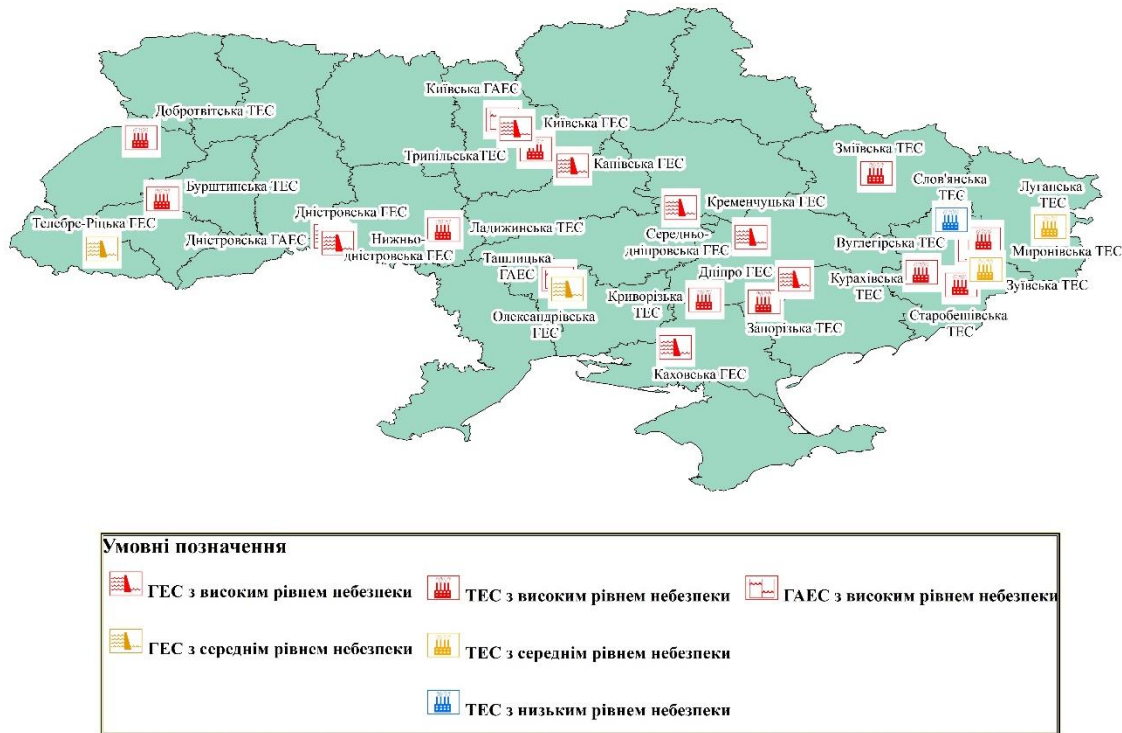


Рисунок 1 – Розміщення гідроелектростанцій, гідроакумуляційних електростанцій та теплових електростанцій на території України

На рисунку 1 представлено просторову модель розташування зазначених об'єктів, класифікованих за рівнями небезпеки:

- ▲ високий рівень небезпеки – великі за потужністю ГЕС, ГАЕС та ТЕС;
- середній рівень небезпеки – середні за потужністю ГЕС і ТЕС;
- низький рівень небезпеки – локальні споруди малої потужності.

Кожен тип об'єкта відображено окремим символом, що дозволяє візуально порівняти просторовий розподіл різних категорій енергетичних споруд.

Регіональні особливості розташування:

- найбільша концентрація об'єктів високого рівня небезпеки спостерігається у басейні річки Дніпро (Київська, Черкаська, Кіровоградська, Дніпропетровська, Запорізька, Херсонська області), де розташовані каскади великих ГЕС та потужних ТЕС. Цей регіон є зоною підвищеної небезпеки національного масштабу;

- значний рівень небезпеки виявлено у басейні річки Дністер (Чернівецька область) через розміщення Дністровської ГЕС і Дністровської ГАЕС;

- у східних областях України (Донецька, Луганська, Харківська) основну загрозу становлять великі ТЕС, які, окрім техногенного навантаження, перебувають у зоні активних воєнних дій;

- у західних регіонах (Івано-Франківська, Львівська області) переважають ТЕС середньої потужності та малі ГЕС, що створюють локальні, але не катастрофічні наслідки.

Просторове картографування показало, що найбільш небезпечними є регіони з високою щільністю потужних енергетичних і гідротехнічних споруд та великими водосховищами. Отримана візуалізація дає змогу ідентифікувати зони пріоритетного контролю й ефективно планувати заходи безпеки з урахуванням територіальної концентрації потенційних загроз.

Висновки

У результаті проведеного дослідження сформовано інтегральний підхід до комплексної оцінки та ранжування енергетичних і гідротехнічних споруд України за рівнем безпеки, що ґрунтується на поєднанні технічних, просторових та аналітичних критеріїв.

Запропонована методика дозволяє об'єктивно визначати пріоритетність реалізації організаційно-технічних заходів безпеки для кожного типу споруд, враховуючи їхню потужність, обсяг водосховищ і просторову концентрацію ризиків.

Систематизовано інформацію про основні типи об'єктів критичної інфраструктури України – гідроелектростанції, гідроакумулювальні електростанції, теплові електростанції, дамби та греблі та визначено, що найбільшу потенційну небезпеку становлять об'єкти, пов'язані з експлуатацією великих обсягів води – як у процесах виробництва електроенергії, так і у водогосподарських функціях.

Розроблено методику ранжування об'єктів за двома базовими показниками – встановленою потужністю та об'ємом водосховища. Такий підхід забезпечує універсальну оцінку рівня небезпеки незалежно від типу споруди та дає змогу порівнювати різні категорії енергетичних і гідротехнічних об'єктів в єдиній системі координат.

Встановлено інтегральну шкалу рівнів небезпеки, що відповідає категоріям критичності, визначеним Законом України «Про критичну інфраструктуру» від 16.11.2021 року № 1882-IX, що дозволило пов'язати технічні характеристики споруд із нормативною системою оцінювання, що робить результати дослідження придатними для практичного використання органами державного управління.

Запропоновано інтегральний індекс небезпеки, який враховує вагові коефіцієнти потужності та об'єму водосховища. Цей індекс забезпечує кількісне визначення категорії критичності кожного об'єкта і може стати основою для побудови національної бази даних оцінки ризиків у сфері енергетичної та гідротехнічної безпеки.

Виконано просторове картографування результатів у середовищі ArcGIS, що демонструє територіальну концентрацію ризиків і дозволяє виділити зону найвищої небезпеки, регіональні осередки ризику та локальні зони техногенного навантаження. Така візуалізація є ефективним інструментом для стратегічного планування безпеки та моніторингу.

Отримані результати становлять наукове підґрунтя для подальших досліджень, спрямованих на удосконалення системи управління ризиками в умовах воєнних дій, кліматичних змін та зростання навантаження на енергетичну інфраструктуру. У подальшому результати проведеного ранжування будуть використані для формування та оптимізації комплексу організаційно-технічних заходів із захисту енергетичних і гідротехнічних об'єктів,

визначення їхньої пріоритетності та посилення стійкості до надзвичайних ситуацій.

Також отримані результати мають важливе практичне значення, оскільки можуть бути використані органами державної влади, операторами об'єктів критичної інфраструктури та науковими установами для планування та реалізації заходів із підвищення стійкості енергетичних і гідротехнічних систем, удосконалення моніторингу ризиків, забезпечення оперативного реагування на надзвичайні ситуації та підтримки прийняття управлінських рішень у сфері національної безпеки.

Отже, запропонований підхід дає змогу перейти від фрагментарного до системного управління безпекою енергетичної та гідротехнічної інфраструктури, підвищуючи рівень готовності держави до запобігання і мінімізації наслідків техногенних і воєнних загроз.

Список використаних джерел

1. Україна. Водний кодекс України № 213/95-ВР, 6 черв. 1995. Дата звернення: 07 липня 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-vr>
2. Україна. Закон України № 1882-IX, Про критичну інфраструктуру, Дата звернення: 07 липня 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20#Text>
3. Україна. Кабінет Міністрів України. Постанова № 415, Про затвердження Порядку ведення Реєстру об'єктів критичної інфраструктури, включення таких об'єктів до Реєстру, доступу та надання інформації з нього, Дата звернення: 07 липня 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/415-2023-п#Text>
4. Україна. Кабінет Міністрів України. Постанова № 1109, Деякі питання об'єктів критичної інфраструктури, Дата звернення: 07 липня 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1109-2020-п#Text>
5. ДСТУ 7501:2014. Гідроенергетика. Гідроелектростанції малі. Терміни та визначення понять. Київ, Україна: ДП «УкрНДНЦ», 2014.
6. ГКД 34.20.507-2003. Правила технічної експлуатації електричних станцій і мереж. Київ, Україна: Міненерго України, 2003.
7. G. Farenjuk, O. Vaynberg, M. Khlapuk, and V. Shuminskyi, "Надійність та безпека гідротехнічних споруд в умовах тривалої експлуатації," Наука та будівництво, т. 20, № 2, с. 4-18, 2019. doi:10.33644/scienceandconstruction.v20i2.91. Дата звернення: 17 липня 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://journal-niisk.com/index.php/scienceandconstruction/article/view/91>.
8. P. Sankov, O. Dzyuban, O. Pylypenko, N. Tkach, and V. Sydorka, "Гідротехнічні споруди: надійність і безпека існування та експлуатації," Collection of Scientific Papers "SCIENTIA", Stockholm, Sweden, с. 108-111, 27 трав. 2022. Дата звернення: 17 липня 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://previous.scientia.report/index.php/archive/article/view/79>.
9. Ю. П. Стародуб, А. П. Гаврись, В. М. Ковальчук, А. О. Рогуля та В. В. Філіппова, "Досягнення стабільного розвитку територій шляхом реалізації проєкту визначення зон паводкового затоплення в Україні," Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація, № 1, с. 103-114, 2022. Дата звернення: 10 липня 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2022.6.1.103-114>

10. A. Havrys, V. Filippova, and N. Tur, "Інформаційний аналіз систем захисту об'єктів критичної інфраструктури в період дії воєнного стану," Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, т. 30, с. 173–187, 2024. doi: 10.32447/20784643.30.2024.17. Дата звернення: 12 липня 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://journal.ldubgd.edu.ua/index.php/Visnuk/article/view/2780>.
11. A. Havrys, R. Veselivsky, O. Pekarska, O. Liubovetskyi, and V. Filippova, "Support system for management decision-making by heads of hydrological emergency situations liquidation using geo-information technologies," Municipal Economy of Cities, т. 1, с. 416–427, 2025. doi: 10.33042/2522-1809-2025-1-189-416-427. Дата звернення: 12 липня 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/handle/123456789/15824>.
12. R. A. Daniel and T. M. Paulus, "Managing accidents and failures of hydraulic structures," MATEC Web of Conferences, т. 284, 08003, 2019. doi: 10.1051/mateconf/201928408003. Дата звернення: 12 липня 2025. [Онлайн]. Доступно: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2019/33/mateconf_icsf2019_08003/mateconf_icsf2019_08003.html.
13. M. A. Tadda, A. Ahsan, M. Imteaz, A. Shitu, U. A. Danhassan, and A. I. Muhammad, "Operation and maintenance of hydraulic structures," IntechOpen, 2020. doi: 10.5772/intechopen.91949. Дата звернення: 12 липня 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://www.intechopen.com/chapters/72208>.
14. Y. M. Khir Alla and L. Liu, "Impacts of dams on the environment: A review," Int. J. Environ. Agric. Biotechnol., т. 6, № 1, с. 64–74, 2021. doi: 10.22161/ijeab.61.9.
15. Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Risk and Resilience Report: Critical Infrastructure Resilience in Ukraine: Energy, Transportation, and Communication. Center for Security Studies (CSS), 2024. Дата звернення: 15 липня 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/gess/cis/center-for-securities-studies/pdfs/RR-Report-2024-Critical-Infrastructure-Resilience.pdf>.
16. A. B. Patel, "Remote sensing and GIS application in flood risk mapping and disaster mitigation," Int. J. Sci. Res. Mod. Technol., т. 4, № 5, с. 45–55, 2025. doi: 10.38124/ijrmt.v4i5.529. Дата звернення: 15 липня 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://ijrmt.com/index.php/ijrmt/article/view/529>.
17. W. N. H. Wan Ariffin, "Strengthening Dam Safety Under Climate Change: A Risk-Based Assessment for the Batu Dam," Water, vol. 17, no. 19, art. 2856, 2025. doi:10.3390/w17192856. Дата звернення: 15 липня 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://www.mdpi.com/2073-4441/17/19/2856>.
18. N. Silva-Cancino, F. Salazar, J. Irazábal, and J. Mata, "Adaptive Warning Thresholds for Dam Safety: A KDE-Based Approach," Infrastructures, vol. 10, no. 7, art. 158, 2025. doi:10.3390/infrastructures10070158. Дата звернення: 15 липня 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://www.mdpi.com/2412-3811/10/7/158>.
19. R. Murasov, "The method of risk assessment for critical infrastructure in the conditions of hostilities, taking into account their destructive and cumulative potential", JSPSDS, vol. 13, no. 1, pp. 152-160, Feb. 2023. <https://doi.org/10.33445/sds.2023.13.1.13> Дата звернення: 17 липня 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://paperssds.eu/index.php/JSPSDS/article/view/514>.
20. V. Kotsyuruba and ProshchynI., "Methodology for calculating the consequences of breakthroughs (destruction) of hydraulic structures of critical infrastructure", JSPSDS, vol. 14, no. 6, pp. 127-137, Dec. 2024. Дата звернення: 17 липня 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://paperssds.eu/index.php/JSPSDS/article/view/761>.

Andrii Havrys (PhD, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0003-2527-7906>

Viktoriia Filippova

<https://orcid.org/0000-0003-0771-1975>

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

INTEGRATED RANKING OF ENERGY AND HYDRAULIC STRUCTURES OF UKRAINE BASED ON THE HAZARD INDEX

This paper presents the results of a comprehensive assessment and ranking of major energy and hydraulic structures in Ukraine, including hydroelectric power plants, pumped storage power plants, thermal power plants, dams, and barrages. A key common feature of these facilities is the operation and management of large volumes of water—both in the form of reservoirs associated with hydro and pumped storage plants and in cooling processes at thermal power plants. The accumulation and technogenic containment of significant water masses create additional safety and environmental risks.

The purpose of this study is to develop an approach for determining the prioritization of facilities for the implementation of organizational and technical safety measures aimed at minimizing the consequences of potential accidents.

The evaluation was conducted using key criteria such as installed capacity (for hydroelectric, pumped storage, and thermal power plants) and reservoir volume (for dams and barrages). The methodology was based on an analysis of the technical characteristics of the facilities, identification of interrelations between parameters, classification of objects according to integrated risk indicators, and subsequent safety-based ranking using spatial modeling in the ArcGIS software environment. As a result, ranked tables of facilities by hazard level were generated, and the sequence for implementing safety measures was determined. A spatial model illustrating the distribution of these facilities across Ukraine was also developed.

The results of the study can be applied in critical infrastructure risk management systems, particularly for policy development, modernization of facilities, and the preparation of contingency and emergency response plans.

Keywords: critical infrastructure, hydraulic structures, civil protection, risk, hazard index, ranking

References

1. Ukraine. Vodnyi kodeks Ukrainy No. 213/95-VR, 6 cherv. 1995. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-вр>. [Accessed: July 07, 2025].
2. Ukraine. Zakon Ukrainy No. 1882-IX, Pro krytychnu infrastrukturu. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20#Text>. [Accessed: July 07, 2025].
3. Ukraine. Kabinet Ministriv Ukrainy. Postanova No. 415, Pro zatverdzhennia Poriadku vedennia Reiestru ob'ektiv krytychnoi infrastruktury, vkluchennia takykh ob'ektiv do Reiestru, dostupu ta nadannia informatsii z noho. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/415-2023-п#Text>. [Accessed: July 07, 2025].
4. Ukraine. Kabinet Ministriv Ukrainy. Postanova No. 1109, Deiaki pytannia ob'ektiv krytychnoi infrastruktury. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1109-2020-п#Text>. [Accessed: July 07, 2025].
5. DSTU 7501:2014. Hidroenerhetyka. Hidroelektrostantsii mali. Terminy ta vyznachennia poniat. Kyiv, Ukraina: DP "UkrNDNTs", 2014.
6. HKD 34.20.507-2003. Pravyła tekhnichnoi ekspluatatsii elektrychnykh stantsii i merezh. Kyiv, Ukraina: Minenerho Ukrainy, 2003.
7. G. Farenjuk, O. Vaynberg, M. Khlapuk, and V. Shumynskyi, "Nadiinst ta bezpeka hidrotekhnichnykh sporud v umovakh tryvaloï ekspluatatsii," *Nauka ta budivnytstvo*, vol. 20, no. 2, pp. 4–18, 2019. doi:10.33644/scienceandconstruction.v20i2.91. [Online]. Available: <https://journal-niisk.com/index.php/scienceandconstruction/article/view/91>. [Accessed: July 17, 2025].
8. P. Sankov, O. Dzyuban, O. Pylypenko, N. Tkach, and V. Sydorka, "Hidrotekhnichni sporudy: nadiinst i bezpeka isnuvannia ta ekspluatatsii," *Collection of Scientific Papers "SCIENTIA"*, Stockholm, Sweden, pp. 108–111, May 27, 2022. [Online]. Available: <https://previous.scientia.report/index.php/archive/article/view/79>. [Accessed: July 17, 2025].
9. Yu. P. Starodub, A. P. Havrys, V. M. Kovalchuk, A. O. Rohulia, and V. V. Filippova, "Dosiagnennia stabilnoho rozvytku terytorii shliakhom realizatsii proiektu vyznachennia zon pavodkovoho zatoplennia v Ukraini," *Nadzvychnaii sytuatsii: poperedzhennia ta likvidatsiia*, no. 1, pp. 103–114, 2022. doi:10.31731/2524.2636.2022.6.1.103-114. [Online]. Available: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2022.6.1.103-114>. [Accessed: July 10, 2025].
10. A. Havrys, V. Filippova, and N. Tur, "Informatsiinyi analiz system zakhystu ob'ektiv krytychnoi infrastruktury v period dii voiennoho stanu," *Visnyk Lvivskoho derzhavnoho universytetu bezpeky zhyttiediialnosti*, vol. 30, pp. 173–187, 2024. doi:10.32447/20784643.30.2024.17. [Online]. Available: <https://journal.ldubgd.edu.ua/index.php/Visnyk/article/view/2780>. [Accessed: July 12, 2025].
11. A. Havrys, R. Veselivsky, O. Pekarska, O. Liubovetskyi, and V. Filippova, "Support system for management decision-making by heads of hydrological emergency situations liquidation using geo-information technologies," *Municipal Economy of Cities*, vol. 1, pp. 416–427, 2025. doi:10.33042/2522-1809-2025-1-189-416-427. [Online]. Available: <https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/handle/123456789/15824>. [Accessed: July 12, 2025].
12. R. A. Daniel and T. M. Paulus, "Managing accidents and failures of hydraulic structures," *MATEC Web of Conferences*, vol. 284, art. 08003, 2019. doi:10.1051/mateconf/201928408003. [Online]. Available: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2019/33/mateconf_icsf2019_08003/mateconf_icsf2019_08003.html. [Accessed: July 12, 2025].
13. M. A. Tadda, A. Ahsan, M. Imteaz, A. Shitu, U. A. Danhassan, and A. I. Muhammad, *Operation and Maintenance of Hydraulic Structures*. IntechOpen, 2020. doi:10.5772/intechopen.91949. [Online]. Available: <https://www.intechopen.com/chapters/72208>. [Accessed: July 12, 2025].
14. Y. M. Khir Alla and L. Liu, "Impacts of dams on the environment: A review," *Int. J. Environ. Agric. Biotechnol.*, vol. 6, no. 1, pp. 64–74, 2021. doi:10.22161/ijeab.61.9.
15. Swiss Federal Institute of Technology Zurich, *Risk and Resilience Report: Critical Infrastructure Resilience in Ukraine: Energy, Transportation, and Communication*. Center for Security Studies (CSS), 2024. [Online]. Available: <https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/gess/cis/center-for-securities-studies/pdfs/RR-Report-2024-Critical-Infrastructure-Resilience.pdf>. [Accessed: July 15, 2025].
16. A. B. Patel, "Remote sensing and GIS application in flood risk mapping and disaster mitigation," *Int. J. Sci. Res. Mod. Technol.*, vol. 4, no. 5, pp. 45–55, 2025. doi:10.38124/ijrsmt.v4i5.529. [Online]. Available: <https://ijrsmt.com/index.php/ijrsmt/article/view/529>. [Accessed: July 15, 2025].
17. W. N. H. Wan Ariffin, "Strengthening Dam Safety Under Climate Change: A Risk-Based Assessment for the Batu Dam," *Water*, vol. 17, no. 19, art. 2856, 2025. doi:10.3390/w17192856. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2073-4441/17/19/2856>. [Accessed: July 15, 2025].
18. N. Silva-Cancino, F. Salazar, J. Irazábal, and J. Mata, "Adaptive Warning Thresholds for Dam Safety: A KDE-Based Approach," *Infrastructures*, vol. 10, no. 7, art. 158, 2025. doi:10.3390/infrastructures10070158. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2412-3811/10/7/158>. [Accessed: July 15, 2025].
19. R. Murasov, "The method of risk assessment for critical infrastructure in the conditions of hostilities, taking into account their destructive and cumulative potential," *JSPSDS*, vol. 13, no. 1, pp. 152–160, Feb. 2023. doi:10.33445/sds.2023.13.1.13. [Online]. Available: <https://paperssds.eu/index.php/JSPSDS/article/view/514>. [Accessed: July 17, 2025].
20. V. Kotsyuruba and I. Proshchyn, "Methodology for calculating the consequences of breakthroughs (destruction) of hydraulic structures of critical infrastructure," *JSPSDS*, vol. 14, no. 6, pp. 127–137, Dec. 2024. [Online]. Available: <https://paperssds.eu/index.php/JSPSDS/article/view/761>. [Accessed: July 17, 2025].