

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Навчально-науковий інститут інноватики, природокористування
та інфраструктури
Кафедра економічної експертизи та землепорядкування

МОНДЛЯК Андрій Андрійович
Використання земель водного фонду для малої
гідроенергетики: оцінка потенціалу та обмежень / Use of water fund
land for small hydropower: Assessment of potential and limitations
спеціальність: 193 – Геодезія та землеустрій
освітньо-професійна програма – Експертна оцінка землі та нерухомого
майна

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи ГЕО3-42
А. А. Мондляр

Науковий керівник:
к.т.н., доцент, О. М. Лопушанський

Кваліфікаційну роботу допущено
до захисту:

" ____ " _____ 20 ____ р.

Завідувач кафедри

_____ **Б. О. Язлюк**

ТЕРНОПІЛЬ – 2026

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1 ПРАВОВІ ТА ПРИРОДООХОРОННІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ ВОДНОГО ФОНДУ ДЛЯ МАЛОЇ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ.....	6
1.1. Правовий режим земель водного фонду в Україні.....	6
1.2. Обмеження використання: водоохоронні зони, прибережні захисні смуги, заповідні території.....	12
1.3. Дозвільні процедури та ключові погодження для реалізації проєктів	18
Висновки до розділу 1.....	23
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ОЦІНКИ ПОТЕНЦІАЛУ ТЕРИТОРІЙ ДЛЯ МАЛОЇ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ.....	24
2.1. Вихідні дані: гідрологічні характеристики, рельєф, гідромережа, структура землекористування та існуючі обмеження.....	24
2.2. Критерії придатності територій: технічні, екологічні та правові аспекти.....	29
2.3. ГІС-модель оцінки: побудова карти придатності та верифікація результатів.....	33
Висновок до розділу 2.....	41
РОЗДІЛ 3 ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ ТА АНАЛІЗ ОБМЕЖЕНЬ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ ВОДНОГО ФОНДУ ДЛЯ МАЛОЇ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ.....	42
3.1. Визначення перспективних ділянок та їх ранжування.....	42
3.2. Аналіз обмежень і ризиків: екологічні, правові та соціально-економічні чинники	49
3.3. Рекомендації щодо мінімізації впливів та оптимізації дозвільних процедур	54
Висновок до розділу 3.....	59
ВИСНОВКИ	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	65
ДОДАТКИ.....	72

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний стан глобальної енергетики характеризується стрімким переходом до відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), що зумовлено необхідністю декарбонізації економіки та зміцнення енергетичної безпеки держав. Для України, в умовах воєнних викликів та дефіциту генеруючих потужностей, розвиток малої гідроенергетики (МГЕС) набуває стратегічного значення як чинник децентралізації енергосистеми. Гідроенергетичний потенціал малих річок є значним, проте його освоєння нерозривно пов'язане з використанням земель водного фонду - категорії земель з особливим правовим та екологічним статусом [1]. Конфлікт між необхідністю нарощування енергетичних потужностей та потребою збереження цілісності водних екосистем створює складну наукову та практичну проблему. Використання земель під МГЕС часто межує з територіями природно-заповідного фонду та Смарагдової мережі, вимагає жорсткого дотримання процедур оцінки впливу на довкілля (ОВД). Більше того, законодавчі обмеження щодо прибережних захисних смуг та водоохоронних зон створюють високі юридичні бар'єри для інвесторів. Саме тому оцінка потенціалу територій у поєднанні з аналізом екологічних та правових обмежень є вкрай актуальною для формування стратегії сталого розвитку гідроенергетичного сектору.

Стан наукової розробки проблеми. Питання використання гідроенергетичного ресурсу малих річок України досліджувалися у працях провідних науковців Інституту відновлюваної енергетики НАНУ, зокрема під керівництвом С. О. Кудрі, де визначено технічні параметри та регіональний розподіл потенціалу [3]. Питання гідроморфологічного стану річок та методології оцінки їхнього падіння ґрунтовно висвітлені у роботах Ободовського та Кривця [14]. Водночас, екологічні ризики та загрози фрагментації річкових систем детально проаналізовані у працях закордонних дослідників, таких як Lange et al. та Couto et al., які наголошують на кумулятивному ефекті впливу малих ГЕС на біорізноманіття [24; 32; 33].

Проблематика соціально-економічних конфліктів та «енергетичної неефективності» за рахунок аграрного сектору піднімається у дослідженнях Skrypnyk et al. та Яковець [21; 36]. Попри значну кількість праць, інтегрований підхід, який би поєднував ГІС-моделювання придатності територій із детальним аналізом правового режиму земель водного фонду, залишається недостатньо розробленим, що й зумовило вибір теми даної роботи.

Метою роботи є комплексна оцінка потенціалу використання земель водного фонду для малої гідроенергетики в Україні з урахуванням екологічних, правових та соціально-економічних обмежень, а також розробка рекомендацій щодо оптимізації дозвільних процедур та мінімізації негативних впливів.

Для досягнення поставленої мети визначено такі **завдання**:

1. Проаналізувати нормативно-правову базу, що регулює правовий режим земель водного фонду в Україні.
2. Дослідити систему територіальних обмежень, визначивши особливості використання земель у межах водоохоронних зон, прибережних захисних смуг та об'єктів природно-заповідного фонду.
3. Систематизувати етапи дозвільних процедур, необхідних для реалізації проєктів МГЕС.
4. Сформувати базу вихідних даних
5. Розробити систему критеріїв придатності територій, класифікувавши їх за технічними, екологічними та правовими показниками.
6. Побудувати ГІС-модель оцінки потенціалу, що дозволяє автоматизувати процес створення карт придатності земель водного фонду та провести верифікацію отриманих результатів.
7. Провести ідентифікацію та ранжування перспективних ділянок для будівництва МГЕС.
8. Здійснити комплексний аналіз ризиків, зосередившись на екологічних наслідках, правових колізіях та соціально-економічних чинниках впливу на місцеві громади.

9. Сформулювати науково обґрунтовані рекомендації щодо мінімізації негативного впливу на довкілля та шляхи оптимізації чинних дозвільних процедур для стимулювання сталої гідроенергетики.

Об'єкт дослідження - процес використання земель водного фонду України для будівництва та експлуатації об'єктів малої гідроенергетики.

Предмет дослідження - сукупність технічних можливостей, правових норм та еколого-економічних обмежень, що визначають потенціал та бар'єри розвитку малої гідроенергетики на землях водного фонду.

Методи дослідження. У роботі використано комплекс наукових методів: теоретичний аналіз нормативно-правової бази (для дослідження режиму земель водного фонду); порівняльно-географічний метод (для аналізу регіонального розподілу потенціалу); картографічний та ГІС-методи (для побудови карт придатності та ранжування ділянок).

Наукова новизна полягає у розробці інтегрованої моделі оцінки придатності земель водного фонду, яка поєднує технічні параметри енергоефективності з динамічними екологічними обмеженнями та кліматичними ризиками.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання органами державної влади та інвесторами для стратегічного планування розміщення МГЕС, що дозволить мінімізувати конфлікти із суміжними землекористувачами та забезпечити збереження біорізноманіття малих річок України.

Робота складається зі вступу, 3 розділів та 9 підрозділів до них, висновків, списку використаних джерел та додатків.

РОЗДІЛ 1

ПРАВОВІ ТА ПРИРОДООХОРОННІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ ВОДНОГО ФОНДУ ДЛЯ МАЛОЇ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ

1.1. Правовий режим земель водного фонду в Україні

Правовий режим земель водного фонду в Україні являє собою складну міжгалузеву конструкцію, що базується на синергії норм земельного, водного та екологічного законодавства. В умовах сучасного курсу на декарбонізацію економіки та розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), питання використання цих земель для потреб малої гідроенергетики (МГЕС) набуває особливої гостроти. Як зазначає Левіна, правове регулювання в цій сфері спрямоване на балансування двох інтересів: господарського використання енергетичного потенціалу річок та збереження цілісності водних екосистем [12].

Відповідно до статті 58 Земельного кодексу України та статті 4 Водного кодексу України, до земель водного фонду належать території, зайняті поверхневими водами (річками, озерами, водосховищами), прибережними захисними смугами, смугами відведення, а також гідротехнічними спорудами. Для малої гідроенергетики ключовим є те, що об'єкти МГЕС за своєю функціональною природою інтегровані безпосередньо у водні об'єкти. Це створює специфічний правовий статус: земельна ділянка під станцією не може розглядатися окремо від водного ресурсу, який вона експлуатує.

Важливою складовою правового режиму є розподіл земель за типами об'єктів. Стефанишин та Власюк підкреслюють, що на відміну від великих ГЕС, об'єкти малої гідроенергетики зазвичай розташовуються на малих річках, де правовий режим прибережних захисних смуг є більш диференційованим [17]. Ширина таких смуг, згідно із законодавством, залежить від довжини річки: 25 метрів для малих річок (до 10 км), 50 метрів - для середніх (до 100 км) і 100 метрів - для великих. Оскільки МГЕС за визначенням потребує будівництва гребель, дериваційних каналів та машинних залів безпосередньо у

береговій зоні, законодавство передбачає виключення: у прибережних захисних смугах дозволяється будівництво гідротехнічних споруд, до яких і належать споруди МГЕС.

Землі водного фонду можуть перебувати у державній, комунальній або приватній власності, проте їх цивільний оборот суттєво обмежений. Васько та ін. зазначають, що більшість земель, на яких розташовані або плануються до будівництва МГЕС, належать до державної або комунальної власності [2]. Це зумовлює необхідність проходження тривалої процедури відведення земельних ділянок в оренду. Процес отримання прав на земельну ділянку для МГЕС включає кілька критичних етапів. Першим є розроблення проєкту землеустрою щодо відведення ділянки зі зміною її цільового призначення. Як вказує Левіна, критично важливою є ідентифікація ділянки саме як земель водного фонду за категорією, але з функціональним призначенням «для будівництва та експлуатації об'єктів енергетики» [12].

Окремим аспектом є правовий режим земель під водосховищами та ставками, які використовуються як акумулюючі ємності для МГЕС. Закорчевна та Нагорнева зауважують, що правовий режим земель під штучно створеними водними об'єктами часто є предметом суперечок, оскільки вони можуть належати до земель водного фонду, але перебувати в оренді для потреб рибництва [8]. Це створює юридичну колізію «перетину інтересів», коли на одну й ту саму водну площу претендують різні землекористувачі (енергетики та аграрії). Skrypnyk et al. доповнюють цей аналіз, вказуючи, що інтереси фермерських господарств часто ігноруються на користь енергетичних компаній, що створює соціальну напругу та потребує чіткішої правової регламентації пріоритетності водокористування [36].

У сучасному правовому полі України правовий режим земель водного фонду не може розглядатися у відриві від процедури оцінки впливу на довкілля (ОВД). Відповідно до Закону України «Про оцінку впливу на довкілля», будівництво гідротехнічних споруд та МГЕС належить до видів діяльності, що можуть мати значний вплив на довкілля. Стефанишин та ін. наголошують, що

ОВД є юридичним інструментом, який визначає, чи можливе взагалі використання конкретної ділянки земель водного фонду для енергетичних потреб [18]. Без позитивного висновку ОВД право на оренду землі не може бути реалізоване.

Особливого значення цей аспект набуває при транскордонному використанні водних ресурсів. Як зазначає Рор, у Закарпатському регіоні використання земель водного фонду має враховувати міжнародні договори щодо басейнів річок [35]. Це накладає додаткові правові обмеження на режим земель, вимагаючи дотримання європейських екологічних стандартів. Зінь та Підгайний зауважують, що екологічні проблеми розвитку МГЕС часто ігноруються через пріоритетність «зеленого» тарифу, що створює дисбаланс між економічною вигодою та екологічною стійкістю [10].

Міжнародний досвід підтверджує ці виклики. Couto та Olden вказують, що поширення МГЕС часто випереджає оновлення законодавства, що призводить до фрагментації річкових систем [25]. Lange et al. підкреслюють вплив таких об'єктів на біорізноманіття басейнів річок, що вимагає впровадження жорстких правових норм щодо збереження екологічного стоку [32]. Kelly доповнює, що «малий» статус МГЕС часто дозволяє їм уникати суворого нагляду, хоча їхній кумулятивний вплив на землі водного фонду може бути критичним [29].

Правовий режим земель водного фонду також нерозривно пов'язаний із правом загального водокористування. Відповідно до статті 47 Водного кодексу, громадяни мають право безперешкодного доступу до берегів. При проектуванні МГЕС інвестори часто намагаються обмежити доступ до територій, що є прямим порушенням закону. Юридично, оренда землі під МГЕС не дає права на перекриття річки чи її берегів для населення.

Більше того, економічні перспективи МГЕС повинні корелювати з раціональним використанням земель [20]. Яковець зазначає, що мотиваційні чинники впровадження МГЕС часто мають суто фінансовий характер, ігноруючи ландшафтні обмеження [21]. Данильченко та Кисорець додають, що

історія становлення галузі в Україні показує важливість інтеграції МГЕС у місцеву інфраструктуру без вилучення цінних земель у громад [5].

На сучасному етапі використання земель водного фонду для МГЕС вимагає застосування інноваційних підходів. Коваль та Зінь пропонують використання низьконапірних турбін, які мінімізують площу затоплення, що є ключовим для збереження правового режиму прибережних смуг [11]. Ткач та ін. наголошують, що інноваційний потенціал галузі дозволяє забезпечити енергетичну безпеку без деградації водних екосистем [19].

Глобальний досвід, представлений у працях Manzano-Agugliaro et al. та Kishore et al., свідчить про перехід до стратегічного планування розміщення МГЕС [30; 34]. В Україні це питання також стає актуальним у контексті оновлення Атласу енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії [1]. Ободовський та Кривець наголошують на необхідності проведення ґрунтовних геологічних та гідрологічних досліджень перед наданням земель у користування [14].

Захист мігруючих видів риб та збереження екосистем басейнів річок стають невід'ємною частиною правового режиму земель водного фонду [24]. Як зазначають Kelly-Richards et al., перехід до відновлюваної енергії потребує зваженої політики, де використання земель під МГЕС не суперечить цілям сталого розвитку [28]. Zhou et al. пропонують концепцію синергії води, їжі та енергії (water-food-energy nexus), що має стати основою для майбутнього реформування земельного та водного законодавства України [40].

У підсумку, правовий режим земель водного фонду під МГЕС в Україні характеризується високим ступенем регуляції, але водночас наявністю значних конфліктних зон. Подальший розвиток галузі потребує чіткого законодавчого розмежування інтересів енергетики, екології та місцевих громад, а також імплементації міжнародних стандартів охорони біорізноманіття безпосередньо у процедури землевідведення.

Механізм набуття права користування землями водного фонду для потреб малої гідроенергетики є одним із найскладніших у земельному праві України.

Як зазначає Левіна, процедура оренди таких ділянок обов'язково супроводжується отриманням права на користування самим водним об'єктом, що часто призводить до правових колізій [12]. Згідно з чинним законодавством, надання в оренду земельних ділянок під МГЕС здійснюється за рішенням органів виконавчої влади або місцевого самоврядування, проте на практиці інвестори стикаються з проблемою перетину повноважень між Державним агентством водних ресурсів та органами Держгеокадастру.

Судова практика в Україні свідчить про значну кількість спорів, пов'язаних із порушенням процедури землевідведення в прибережних захисних смугах. Найпоширенішими є позови органів прокуратури щодо скасування рішень про надання земель під МГЕС через відсутність належної оцінки впливу на довкілля або через обмеження прав громадян на загальне водокористування. Юридична складність полягає в тому, що згідно зі статтею 89 Водного кодексу, будівництво в таких зонах дозволене лише для гідротехнічних споруд, проте суди часто трактують допоміжні споруди МГЕС (машинні зали, підстанції) як промислові об'єкти, будівництво яких у прибережних смугах заборонено.

Конфліктний потенціал землекористування підсилюється конкуренцією за ресурс. Skrypnyk et al. аналізують випадки, коли оренда земель водного фонду для енергетики призводила до зниження рівня води в іригаційних каналах, що завдавало збитків аграрному сектору [36]. З правової точки зору це створює прецедент для позовів щодо відшкодування збитків, спричинених неефективним управлінням водними ресурсами. Стефанишин та Власюк наголошують на необхідності впровадження математичного моделювання при обґрунтуванні меж землевідведення, щоб мінімізувати ризики затоплення суміжних ділянок, що є частою причиною судових позовів від власників сусідніх земель [18].

Міжнародний досвід пропонує різні моделі регулювання земель під об'єктами відновлюваної енергетики. У країнах Європейського Союзу правовий режим таких земель жорстко регламентується Водною Рамковою Директивою. Manzano-Agugliaro et al. зазначають, що в Європі право на землю

під МГЕС надається лише за умови дотримання «доброго екологічного стану» водного об'єкта [34]. Це означає, що орендар зобов'язаний не лише платити за землю, а й інвестувати в ревіталізацію русла річки.

У Чилі та Бразилії спостерігається інша правова тенденція. Kelly описує конфлікти навколо земель корінних народів, де будівництво МГЕС розглядається як інструмент відчуження земель водного фонду під виглядом «зеленого» розвитку [29]. Це перегукується з українським контекстом у частині ігнорування інтересів місцевих громад при виділенні ділянок. Натомість досвід Малайзії демонструє успішну інтеграцію МГЕС у сільські території, де землі водного фонду використовуються спільно для енергетики та місцевого водозабезпечення без зміни їх цільового призначення [38].

Критичний огляд глобальної політики показує, що найбільш ефективним є підхід «басейнового планування» [25; 28]. У такому випадку правовий режим окремої ділянки визначається не локальним рішенням, а стратегією розвитку всього річкового басейну. Для України це означає необхідність переходу від хаотичної оренди окремих ділянок до системного розподілу потенціалу малих річок, що відображено в оновленому Атласі енергетичного потенціалу ВДЕ [1]. Ободовський та Кривець резюмують, що лише поєднання геологічного моніторингу та прозорого земельного кадастру дозволить уникнути правових помилок, які зараз накопичуються в секторі малої гідроенергетики [14].

Отже, Правовий режим земель водного фонду в Україні для потреб МГЕС залишається перехідним і конфліктним. Попри законодавчу можливість розміщення гідротехнічних споруд у прибережних захисних смугах, процедурна складність оренди, необхідність проходження ОВД та конкуренція з іншими водокористувачами створюють значні обмеження для реалізації енергетичного потенціалу. Використання міжнародного досвіду басейнового управління та інноваційних низьконапірних технологій є ключовим для трансформації правового поля у бік сталого розвитку.

1.2. Обмеження використання: водоохоронні зони, прибережні захисні смуги, заповідні території

Розвиток малої гідроенергетики (МГЕС) в Україні відбувається в умовах жорсткої законодавчої регламентації, що зумовлено особливим екологічним статусом водних об'єктів. Правовий режим обмежень базується на концепції сталого природокористування, де пріоритет надається збереженню екосистемної цілісності над економічною вигодою. Як зазначає Левіна, обмеження щодо використання земель водного фонду не є статичними; вони трансформуються залежно від гідрологічних характеристик річки та масштабу планованого втручання [12].

Основними інструментами обмеження господарської діяльності в межах земель водного фонду є водоохоронні зони (ВОЗ), прибережні захисні смуги (ПЗС) та території природно-заповідного фонду (ПЗФ). Зінь та Підгайний підкреслюють, що для МГЕС ці зони виступають одночасно і як територіальна база для розміщення споруд, і як головний юридичний бар'єр, оскільки будь-яке порушення режиму цих зон тягне за собою скасування дозвільної документації [9].

Водоохоронна зона є територією значної площі, що прилягає до водного об'єкта, на якій встановлюється спеціальний режим господарської діяльності з метою запобігання забрудненню та виснаженню вод. Відповідно до Водного кодексу України, межі ВОЗ визначаються проектами землеустрою. Для об'єктів МГЕС водоохоронна зона створює комплекс обмежень, пов'язаних із заборонаю розміщення складів паливно-мастильних матеріалів, накопичувачів стічних вод та інших об'єктів, що можуть становити загрозу водній екосистемі.

Однак, як зазначають Стефанишин та Власюк, основна проблема використання ВОЗ для МГЕС полягає в трансформації гідрологічного режиму [17]. Створення водосховищ або руслових підпорів змінює рівень ґрунтових вод у межах всієї водоохоронної зони, що може призводити до підтоплення сільськогосподарських угідь. Skrypnyk et al. акцентують увагу на тому, що дешева гідроенергія часто стає «дорогою» для місцевих фермерів саме через

порушення режиму використання земель у ВОЗ, де зміна водного балансу робить неефективним традиційне агровиробництво [36].

Прибережні захисні смуги є частиною водоохоронних зон з ще суворішим режимом обмежень. Для малих річок, які є основною базою для МГЕС, ширина ПЗС становить 25–50 метрів (Водний кодекс України, ст. 88). Будівництво в цих зонах заборонено, за винятком гідротехнічних споруд.

Незважаючи на цю законодавчу «пільгу» для енергетиків, реалізація проектів стикається з низкою обмежень. Зокрема:

Зміна ландшафту: будівництво дериваційних каналів та гребель неминуче руйнує цілісність ПЗС. Зінь та Підгайний зазначають, що сучасні тенденції розвитку МГЕС вимагають мінімізації площі відчуження земель у ПЗС через використання компактних енергоустановок [10].

Збереження рослинного покриву: ПЗС виконують роль біологічного фільтра. Будь-яке вирубування прибережної рослинності під час будівництва МГЕС є порушенням, що вимагає розробки складних планів рекультивації.

Режим доступу: стаття 47 Водного кодексу гарантує вільний доступ громадян до води через ПЗС. Конфлікт між приватним інвестором МГЕС та громадськістю щодо «закриття» берегової лінії є найбільш поширеною причиною соціальної напруги та судових розглядів.

Таблиця 1.1

Порівняльна характеристика обмежень у межах земель водного фонду для об'єктів МГЕС

Категорія обмеження	Ширина/Масштаб	Основні заборони для МГЕС	Дозволені види діяльності
1	2	3	4
Водоохоронна зона (ВОЗ)	Визначається проектом (до декількох км)	Розміщення звалищ, тваринницьких комплексів, інтенсивне хімічне оброблення земель.	Експлуатація споруд, обмежене лісове та сільське господарство.
Прибережна захисна смуга (ПЗС)	25 м (малі річки), 50 м (середні), 100 м (великі)	Будівництво будь-яких об'єктів, крім гідротехнічних, стоянка автотранспорту, розорювання.	Будівництво гребель, водозаборів, рибоходів, укріплення берегів.

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4
Смуга відведення	Згідно з проектом будівництва	Діяльність, що не пов'язана з експлуатацією гідровузла.	Охорона об'єкта, технічне обслуговування гідроагрегатів.
ПЗФ (Заповідні зони)	Межі заповідника / заказника	Будь-яка зміна гідрологічного режиму, руйнування екотопів.	Наукова діяльність, моніторинг (будівництво МГЕС зазвичай заборонено).

Найвищий рівень обмежень на використання земель водного фонду встановлюється у межах територій та об'єктів природно-заповідного фонду (ПЗФ). Як зазначає Діхтяр, гідроенергетика виступає потужним чинником трансформації географічного середовища, що входить у прямий конфлікт із завданнями охорони природи [6]. Відповідно до Закону України «Про природно-заповідний фонд України», на територіях природних заповідників, заповідних зон національних природних парків та біосферних заповідників будь-яке будівництво, включаючи МГЕС, повністю заборонено.

Особливу увагу в сучасних умовах привертає Смарагдова мережа (Emerald Network) - мережа територій особливого природоохоронного значення. Lange et al. підкреслюють, що вплив малих ГЕС на біорізноманіття має басейновий масштаб, що особливо критично для об'єктів Смарагдової мережі [32]. Будівництво МГЕС на таких землях водного фонду обмежене не лише національним правом, а й міжнародними зобов'язаннями України (Бернська конвенція).

Стефанишин, Власюк та Бенатов наголошують, що оцінка впливу на довкілля (ОВД) для об'єктів у межах або поблизу заповідних зон повинна враховувати кумулятивний ефект [18]. Навіть якщо МГЕС розташована поза межами заповідника, її вплив на гідрологічний режим (зміна рівня води, швидкості течії, температурного режиму) може призвести до деградації заповідних екосистем нижче за течією. Couto та Olden застерігають, що глобальне процвітання малих ГЕС часто відбувається за рахунок фрагментації саме тих річкових ділянок, які є ключовими для збереження рідкісних видів [25].

Одним із найскладніших аспектів обмеження використання земель водного фонду для МГЕС є необхідність збереження шляхів міграції іхтіофауни. Будівництво греблі, навіть малої висоти, створює фізичний бар'єр, що перетинає русло річки - критичну частину земель водного фонду.

Couto et al. у своєму дослідженні наголошують на важливості стратегічного планування для захисту мігруючих риб [24]. В Україні це питання регулюється нормативами щодо обов'язкового спорудження рибоходів та підтримання екологічного стоку. Екологічний сток - це мінімальна кількість води, яка повинна безперешкодно проходити через гідровузол для підтримання життєдіяльності річкової екосистеми. Зінь та Підгайний зазначають, що недотримання норм екологічного стоку є найбільш частим порушенням, яке призводить до юридичних санкцій та обмеження експлуатації станцій [9].

Крім того, Lange et al. вказують на проблему «неперевіреного» розвитку МГЕС, де дрібні об'єкти сукупно знищують біопродуктивність річок [33]. Це створює правову основу для обмеження щільності розміщення МГЕС на одній річці - так зване обмеження на каскадне розміщення, яке активно обговорюється в українському науковому середовищі [14].

Сучасний підхід до використання земель водного фонду вимагає врахування концепції синергії води, їжі та енергії. Zhou et al. доводять, що встановлення МГЕС має базуватися на оптимальному розподілі води між усіма користувачами [40]. Це накладає на енергетиків обмеження в періоди маловоддя, коли пріоритет у використанні земель та води переходить до комунального господарства та аграрного сектору.

Kelly-Richards et al. у своєму огляді політики розвитку МГЕС підкреслюють, що управління переходом до відновлюваної енергії часто ігнорує соціальні обмеження [28]. У багатьох регіонах використання берегів річок є традиційним правом місцевих громад. Обмеження доступу до цих земель під приводом будівництва МГЕС створює «зони відчуження», що суперечить принципам сталого розвитку. Kelly додає, що «маскування» реальних впливів малими масштабами проєктів часто призводить до втрати

контролю над використанням земель, що вимагає впровадження нових інструментів моніторингу та громадського нагляду [29].

Узагальнюючи, можна стверджувати, що система обмежень формує «коридор можливостей» для малої гідроенергетики. Якщо технічний потенціал, описаний в Атласі енергетичного потенціалу ВДЕ, є значним, то екологічні та правові обмеження суттєво звужують територію, придатну для реального будівництва [1].

Сучасний розвиток малої гідроенергетики в Україні та світі демонструє поступовий перехід від стратегії «підкорення природи» до стратегії адаптації. Технічні обмеження, що накладаються правовим режимом земель водного фонду, стимулюють пошук рішень, які дозволяють генерувати енергію без радикальної трансформації ландшафту. Як зазначають Коваль та Зінь, одним із найбільш перспективних напрямків є впровадження низьконапірних мікроГЕС з трубними осьовими гідротурбінами [11]. Такі установки потребують мінімального землевідведення та не створюють великих водосховищ, що дозволяє монтувати їх навіть у межах жорстко обмежених прибережних захисних смуг без порушення їхнього екологічного статусу.

Важливим інструментом дотримання екологічних обмежень є цифровізація управління стоком. Hammid et al. описують досвід використання штучних нейронних мереж для прогнозування виробітку енергії, що дозволяє балансувати між потребами енергосистеми та необхідністю підтримання екологічного стоку в реальному часі [26]. Впровадження інтелектуальних стратегій управління мікромережами (microgrids), як пропонують Zhang et al., дозволяє МГЕС працювати в автономному режимі, мінімізуючи потребу в будівництві розгалужених ліній електропередач через заповідні території або водоохоронні зони [39].

Інноваційний підхід також передбачає використання існуючої інфраструктури. Ткач та ін. наголошують на значному потенціалі переобладнання занедбаних гідротехнічних споруд, що вже інтегровані в ландшафт [19]. Це дозволяє уникнути процедури зміни цільового призначення

нових ділянок земель водного фонду та мінімізує опір з боку екологічних організацій і місцевих громад. Використання насосів у режимі турбін (PAT - Pump as Turbine), згідно з Ali et al., є ще одним «смарт-рішенням», яке дозволяє створювати енергетичні вузли на іригаційних каналах без втручання у природні русла малих річок [22].

Для глибшого розуміння того, як вибір технології впливає на можливість використання земель у межах обмежень, доцільно розглянути результати порівняльних досліджень. Sritram та Suntivarakorn доводять, що ефективність турбін при низькому напорі води безпосередньо корелює зі зменшенням площі затоплення земель [37]. Це має критичне значення для України, де значна частина гідроенергетичного потенціалу зосереджена на рівнинних річках з низьким напором.

Оцінка вартості та продуктивності МГЕС показує, що хоча екологічно безпечні технології можуть мати вищу питому вартість на етапі будівництва, вони є більш економічно стійкими в довгостроковій перспективі завдяки відсутності штрафних санкцій за порушення екологічного режиму земель та швидшому проходженню процедур ОВД. Такий підхід узгоджується з висновками Natata et al., які підкреслюють необхідність врахування «екологічної вартості» землі при техніко-економічному обґрунтуванні проектів МГЕС [27].

Отже, розвиток малої гідроенергетики в Україні відбувається в умовах суворих екологічних та правових обмежень, що спрямовані на збереження цілісності водних екосистем і регулюють використання земель водного фонду. Основними інструментами такого регулювання виступають водоохоронні зони, прибережні захисні смуги та території природно-заповідного фонду, які значно обмежують можливості господарської діяльності. Водночас реалізація проектів МГЕС супроводжується низкою екологічних, соціальних і правових конфліктів, зокрема через зміну гідрологічного режиму, обмеження доступу населення до водних об'єктів та конкуренцію між користувачами ресурсів. Сучасні підходи до розвитку галузі передбачають впровадження інноваційних технологій, що

мінімізують вплив на довкілля та дозволяють ефективніше використовувати наявну інфраструктуру. У перспективі забезпечення сталого розвитку МГЕС можливе лише за умови поєднання екологічних вимог, технологічних інновацій та збалансованого управління водними і земельними ресурсами.

1.3. Дозвільні процедури та ключові погодження для реалізації проєктів

Реалізація проєктів малої гідроенергетики в Україні потребує проходження багатоетапної дозвільної процедури, що охоплює земельні, водні, архітектурно-будівельні та екологічні аспекти. Як зазначає Левіна, складність системи зумовлена тим, що МГЕС є об'єктом подвійного впливу: як інженерна споруда вона підпадає під регулювання містобудівного законодавства, а як об'єкт, що використовує природний ресурс - під дію екологічного та ресурсного права [12].

Загальний алгоритм дозвільних процедур можна розділити на три великі фази:

- допроєктна фаза: набуття прав на земельну ділянку та проходження оцінки впливу на довкілля;
- проєктно-дозвільна фаза: отримання технічних умов, розробка та експертиза проєкту, отримання дозволу на виконання будівельних робіт;
- введення в експлуатацію та ліцензування: сертифікація об'єкта, отримання дозволу на спеціальне водокористування та ліцензії на виробництво електроенергії з подальшим встановленням «зеленого» тарифу.

Першочерговим етапом є відведення земельної ділянки. Для об'єктів МГЕС це майже завжди землі водного фонду, правовий режим яких суттєво обмежує можливості приватного володіння. Васько та ін. підкреслюють, що найпоширенішою формою є довгострокова оренда земель державної або комунальної власності [2].

Ключовим погодженням на цьому етапі є розпорядження місцевої державної адміністрації або рішення територіальної громади про надання

дозволу на розробку проєкту землеустрою. Важливим нюансом є те, що згідно з чинним законодавством, зміна цільового призначення земель водного фонду під потреби енергетики потребує погодження з органами водних ресурсів. Як зазначають Стефанишин та Власюк, часто виникають затримки через необхідність чіткого визначення меж прибережних захисних смуг, які в багатьох регіонах України офіційно не винесені в натуру [17]. Це створює юридичні ризики для інвестора, оскільки будь-яка помилка в межах землевідведення може стати підставою для визнання договору оренди недійсним у судовому порядку.

З прийняттям Закону України «Про оцінку впливу на довкілля», процедура ОВД стала найбільш критичним етапом дозвільного циклу. Стефанишин, Власюк та Бенатов наголошують, що ОВД фактично замінила стару державну екологічну експертизу, зробивши процес більш публічним та прозорим, але водночас складнішим для забудовника [18].

Для об'єктів МГЕС звіт з ОВД повинен детально описувати вплив на:

- гідрологічний та гідрохімічний режим річки;
- іхтіофауну (шляхи міграції риб та місця їх нересту);
- зміни ландшафту та прибережних екосистем.

Lange et al. та Couto et al. у своїх дослідженнях акцентують увагу на тому, що ОВД не повинна бути формальним документом [24; 32]. У країнах ЄС, згідно з досвідом, описаним Kelly-Richards et al., висновок з ОВД може містити жорсткі вимоги щодо коригування конструкції греблі або встановлення додаткових рибозахисних споруд [28]. В Україні висновок з ОВД є обов'язковим для отримання дозволу на будівництво. Зінь та Підгайний зауважують, що негативний висновок ОВД або його відсутність є головною причиною зупинки проєктів МГЕС екологічними інспекціями [9].

Оскільки МГЕС не просто займає земельну ділянку, а активно використовує енергію води, отримання дозволу на спеціальне водокористування є обов'язковим. Як зазначають Закорчевна та Нагорнева, цей

документ регламентує обсяги води, що проходять через турбіни, та встановлює вимоги щодо підтримання санітарного (екологічного) стоку [8].

Особливістю цього погодження є те, що воно видається територіальними органами Держводагентства. Для енергетиків критичним є забезпечення пріоритетності водокористування. Skrypnyk et al. вказують на конфлікти, коли в маловодні роки дозвіл на спецводокористування для МГЕС може бути обмежений на користь аграрних підприємств або питного водопостачання, що робить роботу станції економічно неефективною [36]. Це підтверджує тезу Яковець про те, що еколого-економічні ризики повинні бути закладені в проєкт ще на етапі отримання перших дозволів [21].

Після вирішення питань із землевідведенням та отримання позитивного висновку ОВД, інвестор переходить до стадії архітектурно-будівельного проєктування. Ключовим документом на цьому етапі є Містобудівні умови та обмеження (МУО), які видаються місцевими органами містобудування та архітектури. Левіна зазначає, що МУО визначають гранично допустиму висоту споруд, відстані від існуючих об'єктів та регламентують використання прибережної захисної смуги для розміщення гідротехнічних вузлів [12].

Проектування МГЕС має враховувати як гідрологічні особливості річки, так і технічні стандарти безпеки. Павлов та Кулагін наголошують на необхідності проведення комплексної державної експертизи проєктної документації [15]. Для об'єктів малої гідроенергетики, які за класом наслідків часто відносяться до об'єктів із середніми (СС2) або значними (СС3) наслідками (особливо у разі будівництва високих гребель), експертиза є обов'язковою. Вона перевіряє міцність конструкцій, стійкість до паводків та дотримання норм пожежної і техногенної безпеки.

Важливим елементом проєкту є розділ про охорону навколишнього природного середовища. Згідно з вимогами екологічного законодавства, погодження проєкту неможливе без врахування заходів із захисту іхтіофауни. Як зазначають Couto et al. та Зінь і Підгайний, встановлення рибозахисних споруд та рибоходів є не просто технічною рекомендацією, а обов'язковою

умовою для отримання дозволу на початок будівельних робіт від Державної архітектурно-будівельної інспекції (або її правонаступників) [9; 24].

Енергетична складова дозвільного процесу розпочинається з отримання Технічних умов (ТУ) на приєднання до електричних мереж. Чумаченко вказує, що для МГЕС це часто стає фінансовим та бюрократичним викликом, оскільки малі річки зазвичай розташовані у віддалених районах із застарілою мережевою інфраструктурою [20]. ТУ визначають точку приєднання, необхідну потужність та вимоги до автоматизації обліку енергії.

Після завершення будівництва та отримання сертифіката про готовність об'єкта до експлуатації, суб'єкт господарювання повинен отримати ліцензію на право провадження діяльності з виробництва електричної енергії. Цей процес регулюється Національною комісією, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП). Ткач та ін. наголошують, що наявність ліцензії є передумовою для затвердження «зеленого» тарифу, який забезпечує окупність проекту [19].

Таблиця 1.2

Ключові етапи дозвільної процедури реалізації проєкту МГЕС

Етап процедури	Ключовий документ	Відповідальний орган
Земельний	Проект землеустрою, договір оренди	Місцеві ради, Держгеокадастр
Екологічний	Висновок з Оцінки впливу на довкілля (ОВД)	Міндовкілля
Ресурсний	Дозвіл на спеціальне водокористування	Держводагентство
Містобудівний	Містобудівні умови, Дозвіл на будівництво	Органи архітектури, ДІАМ
Енергетичний	Технічні умови на приєднання, Ліцензія	Обленерго, НКРЕКП

Міжнародний досвід показує, що надмірна складність дозвільних процедур може гальмувати розвиток відновлюваної енергетики. Kelly-Richards et al. зазначають, що в деяких країнах впроваджується принцип «єдиного вікна» для мікроГЕС, що дозволяє скоротити термін отримання дозволів з декількох років до декількох місяців [28]. Проте, як застерігають Lange et al., спрощення процедур не повинно відбуватися за рахунок послаблення екологічного

контролю, оскільки «маскування» впливів малими масштабами об'єктів може призвести до непоправної деградації річкових басейнів [33].

В Україні перспективним напрямком є діджиталізація дозвільних послуг. Ткач та ін. стверджують, що створення єдиної інтерактивної карти гідроенергетичного потенціалу з інтегрованими даними про обмеження земель водного фонду дозволило б інвесторам заздалегідь оцінювати шанси на отримання погоджень [19]. Це відповідає світовим тенденціям використання штучного інтелекту для прогнозування екологічних ризиків та впровадження стратегій Water-Food-Energy Nexus.

Отже, дозвільна процедура реалізації проектів МГЕС в Україні є багатоступеневим процесом, що вимагає високої юридичної та технічної кваліфікації. Ключовими «фільтрами» виступають оренда земель водного фонду та оцінка впливу на довкілля. Будь-яка неузгодженість між водним, земельним та містобудівним законодавством створює ризики для інвестора, включаючи судові спори з громадами або аграрним сектором. Успішна реалізація проекту можлива лише за умови комплексного підходу до проектування, де технічна ефективність поєднується з жорстким дотриманням екологічних та соціальних обмежень.

Висновки до розділу 1

У розділі проаналізовано правовий режим земель водного фонду України та систему природоохоронних обмежень як основних регуляторів розвитку малої гідроенергетики. Встановлено, що чинне законодавство дозволяє будівництво гідротехнічних споруд МГЕС у прибережних захисних смугах, проте численні колізії між земельним, водним та екологічним правом, складність процедур землевідведення та обов'язковість ОВД створюють значні адміністративні бар'єри. Виявлено, що найбільш жорсткими обмеженнями є території природно-заповідного фонду та Смарагдової мережі, де будівництво фактично заборонене.

Запропоновано комплексний підхід до узгодження інтересів енергетики, екології та місцевих громад через басейнове планування та чітке законодавче визначення складу об'єктів малої гідроенергетики. Наукова новизна розділу полягає в систематизації правових колізій та формулюванні конкретних законодавчих рекомендацій щодо спрощення дозвільних процедур для мікроГЕС. Отримані результати створюють нормативно-правову основу для подальшого методичного оцінювання потенціалу територій.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ПОТЕНЦІАЛУ ТЕРИТОРІЙ ДЛЯ МАЛОЇ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ

2.1. Вихідні дані: гідрологічні характеристики, рельєф, гідромережа, структура землекористування та існуючі обмеження

Визначення технічного та економічного потенціалу малої гідроенергетики починається з детального аналізу гідрологічного режиму річок. Основним параметром є середньобогаторічний стік води, який визначає теоретичну потужність водного потоку. Гідрологічні дані є динамічними величинами, що вимагають врахування сезонної та багаторічної циклічності.

Для проектування МГЕС ключовими є такі показники:

Середні, максимальні та мінімальні витрати води: ці дані дозволяють визначити розрахунковий стік для підбору типу турбін.

Криві тривалості витрат: вони показують, яку кількість днів у році річка може забезпечити необхідний напір.

Твердий стік (заїлення): важливий параметр для оцінки терміну експлуатації водосховищ та зносу обладнання.

Ободовський та Кривець наголошують, що в умовах глобальних кліматичних змін історичні гідрологічні дані потребують коригування. Збільшення частоти екстремальних паводків та тривалих межень (маловоддя) безпосередньо впливає на надійність МГЕС [14]. Hammid et al. пропонують використовувати штучні нейронні мережі для прогнозування цих характеристик, що дозволяє більш точно оцінити ризики простою обладнання [26]. Важливо розуміти, що для малих річок України, особливо в зоні Полісся та Лісостепу, характерна висока нерівномірність стоку, що робить акумулювання води у водосховищах технічною необхідністю, яка водночас створює конфлікт із земельним законодавством.

Рельєф місцевості є визначальним чинником для формування гідроенергетичного напору - різниці рівнів води між верхнім та нижнім

б'єфами. Павлов та Кулагін зазначають, що енергетичний потенціал річки є добуток витрати води на її падіння [15]. В Україні спостерігається чітка регіональна диференціація за цим показником:

Гірські та передгірські райони (Карпати). Мають високий напір при відносно невеликих витратах води. Тут найефективнішими є дериваційні схеми, де вода подається до турбін через труби або канали, що дозволяє уникнути затоплення великих територій [35].

Рівнинні райони. Характеризуються великими витратами води, але малими ухилами річок. Тут будівництво МГЕС зазвичай вимагає створення гребель для штучного підвищення рівня води, що неминуче призводить до відчуження значних площ земель водного фонду.

Структура гідромережі також грає роль у виборі місця розташування об'єкта. Наявність природних звужень русла, скельних виходів або старих гідротехнічних споруд (млинів, гребель) є пріоритетним вихідним даним. Ткач та ін. підкреслюють, що використання існуючих перепадів рельєфу та старої інфраструктури є ключем до інноваційного розвитку галузі, оскільки це мінімізує втручання в природні ландшафти [19].

Аналіз структури землекористування навколо водного об'єкта є не менш важливим, ніж гідрологічні розрахунки. Як зазначає Левіна, вихідні дані про власників та цільове призначення суміжних ділянок визначають юридичну життєздатність проєкту [12]. Структура землекористування в зоні впливу МГЕС зазвичай включає:

- землі водного фонду: русла річок та прибережні захисні смуги (ПЗС);
- землі сільськогосподарського призначення: найбільш конфліктна зона при створенні водосховищ;
- землі лісгосподарського призначення та ПЗФ: зони з максимальними обмеженнями.

Skrypnyk et al. вказують, що ігнорування існуючої структури землекористування призводить до «експорту неефективності» [36]. Наприклад,

будівництво МГЕС може призвести до заболочування аграрних земель вище за течією через підйом ґрунтових вод. Тому при оцінці потенціалу необхідно враховувати не лише площу під самою спорудою, а й всю зону можливого впливу на навколишні угіддя. Концепція "Water-Food-Energy Nexus", яку розробляють Zhou et al., вимагає, щоб вихідні дані про землекористування були інтегровані в єдину модель розподілу ресурсів, де інтереси виробництва енергії не домінують над продовольчою безпекою [40].

У сучасній практиці проектування МГЕС вихідні дані про стан довкілля мають таку ж вагу, як і технічні характеристики потоку. Центральне місце тут посідає ідентифікація територій, що входять до Смарагдової мережі (Emerald Network) та об'єктів природно-заповідного фонду. Згідно з дослідженнями Lange et al., фрагментація річкових систем є головним екологічним ризиком, тому вихідні дані повинні включати карти міграційних шляхів іхтіофауни та місць нересту рідкісних видів риб [32]. Як зазначають Couto et al., стратегічне планування на основі геоінформаційних систем (ГІС) дозволяє заздалегідь виключити з розробки ті ділянки річок, де будівництво навіть мікроГЕС завдасть непоправної шкоди біорізноманіттю [24].

Окремим вихідним параметром є межі водоохоронних зон та прибережних захисних смуг. Левіна наголошує на тому, що відсутність чітких меж цих зон у земельному кадастрі є однією з найбільших проблем для інвестора [12]. Отже, до складу вихідних даних має входити топографо-геодезична зйомка прибережної зони, що дозволяє юридично точно визначити місце розташування машинних залів та дериваційних каналів у відповідності до вимог Водного та Земельного кодексів України. Це узгоджується з висновками Стефанишина, Власюка та Бенатова про те, що ОВД (Оцінка впливу на довкілля) повинна базуватися на мультидисциплінарних даних, що охоплюють гідроморфологію, ботаніку та зоологію конкретної локації [18].

Вихідні дані про структуру гідромережі демонструють значну регіональну нерівномірність потенціалу МГЕС в Україні. Наприклад, історія становлення галузі на Сумщині, описана Данильченком та Кисорцем, показує,

що для лісостепової зони характерна наявність великої кількості малих річок із низьким напором, але стабільним стоком у весняний період [5]. Натомість для Транскарпатського регіону характерні високонапірні річки з бурхливою реакцією на опади, що вимагає використання даних про максимальні паводкові витрати для забезпечення безпеки гідротехнічних споруд [35].

При аналізі вихідних даних для регіональних стратегій розвитку відновлюваної енергетики критично важливо використовувати оновлений «Атлас енергетичного потенціалу ВДЕ» [1]. Дані Атласу дозволяють провести районування територій за рівнем економічної доцільності впровадження МГЕС. Ободовський та Кривець вказують на необхідність поєднання даних Атласу з локальними гідрологічними постами, оскільки малі річки часто є недостатньо вивченими (недоосвітленими) у державній мережі моніторингу [14]. Це потребує проведення додаткових польових досліджень як обов'язкової частини збору вихідних даних.

Сучасні підходи до малої гідроенергетики вимагають специфічного набору технічних даних, особливо при використанні низьконапірних турбін. Коваль та Зінь підкреслюють, що для мікроГЕС трубного типу ключовим вихідним даним є динамічний рівень води в руслі та швидкість потоку в конкретній точці, а не лише середньобагаторічні показники [11]. Це пов'язано з тим, що такі установки часто працюють без створення значного підпору (греблі), що мінімізує вплив на структуру землекористування.

Додатковим блоком вихідних даних є параметри існуючих енергомереж та логістична доступність об'єкта. Ткач та ін. зазначають, що інноваційний потенціал МГЕС може бути реалізований лише за умови наявності даних про пропускну здатність місцевих ліній електропередач [19]. У разі віддаленості від мереж, вихідні дані повинні включати аналіз потенційного попиту місцевих споживачів у форматі мікромереж (microgrids), як це пропонують Zhang et al. та Kishore et al. [30; 39]. Використання насосів як турбін (РАТ) також вимагає даних про гідравлічний режим існуючих іригаційних систем, що дозволяє

інтегрувати енергетику в сільськогосподарське землекористування без вилучення нових площ [22].

У міжнародній практиці збір вихідних даних все більше покладається на дистанційне зондування землі та моделювання за допомогою штучного інтелекту. Hammid et al. демонструють ефективність використання нейронних мереж для прогнозування генерації МГЕС на основі метеорологічних даних та рельєфу, що особливо корисно для територій з обмеженою мережею гідрологічних постів [26]. Kelly-Richards et al. у своєму огляді наголошують на тому, що вихідні дані повинні включати і соціальні параметри - традиційне використання земель та води місцевими громадами, щоб уникнути конфліктів, подібних до описаних у працях Kelly та Athayde et al. [23; 28; 29].

Аналіз вихідних даних у системі синергії води, їжі та енергії дозволяє створити цілісну картину обмежень і можливостей. Врахування кумулятивного впливу каскадів МГЕС, як пропонують Lange et al., стає обов'язковим етапом проектування [33]. Таким чином, вихідні дані - це не просто набір цифр про витрати води, а комплексний масив геопросторової, екологічної та соціально-економічної інформації, що визначає долю проекту.

Отже, ефективність використання земель водного фонду для потреб малої гідроенергетики прямо залежить від якості та повноти вихідних даних. Гідрологічні характеристики та рельєф формують фізичну основу проекту, проте структура землекористування та екологічні обмеження визначають його юридичну реалізацію. Сучасні виклики, такі як зміна клімату та необхідність збереження біорізноманіття, вимагають відходу від спрощених розрахунків на користь багатофакторного моделювання. Використання інноваційних технологій, що адаптовані до низьких напорів та існуючої інфраструктури, дозволяє гармонізувати енергетичний потенціал із жорстким режимом охорони земель водного фонду в Україні.

Наукова новизна підрозділу полягає у систематизації геопросторових шарів вихідних даних для оцінки потенціалу МГЕС у вигляді єдиної структурованої матриці. На відміну від попередніх підходів, де гідрологічні та

екологічні дані розглядалися розрізнено, у роботі вперше запропоновано інтегровану таблицю відповідності між шарами ГІС, джерелами даних, їхньою роздільністю та функціональним призначенням (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1

**Геопросторові шари вихідних даних ГІС-моделі оцінки потенціалу
МГЕС**

Шар ГІС	Джерело	Масштаб / Роздільність	Дата	Призначення в моделі
Цифрова модель рельєфу (ЦМР)	SRTM / ASTER GDEM	30 м / 12.5 м	2000–2023	Розрахунок напору та ухилів русла
Гідрологічна мережа (вектор)	Держводагентство, Гідрогеологічний атлас	1:25 000 – 1:200 000	2020–2024	Трасування річок, визначення водозборів
Середньорічний стік (растр)	Атлас ВДЕ [1]; гідрологічні пости	1 км / точкові дані	1960–2023	Розрахунок теоретичної потужності $P=9.81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta$
Межі ВОЗ та ПЗС (вектор)	Держгеокадастр, Водний кодекс ст. 88	1:10 000	Актуальна	Маска правових обмежень (Boolean filter)
Об'єкти ПЗФ та Смарагдова мережа (вектор)	Мінприроди, OBIS / Emerald Network	1:50 000	2022–2024	“Жорсткий фільтр”: нульовий бал придатності
Землекористування (вектор/растр)	Держгеокадастр, CORINE Land Cover	100 м / 1:25 000	2018–2022	Аналіз конфліктності (аграрні землі, ліси)
Електромережева інфраструктура (вектор)	НЕК “Укренерго”, обленерго	1:200 000	2023	Оцінка витрат на приєднання (Network Analyst)

Джерело: розроблено автором на основі [1; 14; 15; 19].

2.2. Критерії придатності територій: технічні, екологічні та правові аспекти

Визначення придатності території для будівництва МГЕС розпочинається з аналізу технічного потенціалу, який є функцією гідрологічного режиму та морфології русла. Першочерговим технічним критерієм є наявність стабільного

гідроенергетичного ресурсу, що оцінюється через середньобаторічний стік та величину падіння річки.

Для малих річок критичним параметром придатності є коефіцієнт нерівномірності стоку. Павлов та Кулагін наголошують, що території з високою паводковою активністю та тривалими періодами межені (низької води) вимагають спорудження регулюючих водосховищ, що суттєво здорожує проєкт та розширює площу відчуження земель водного фонду [15]. Натомість придатними вважаються ділянки з природними концентраціями падіння (пороги, перекати) або наявністю існуючих гідротехнічних споруд, що потребують реконструкції. Ткач та ін. додають, що технічна придатність у сучасних умовах також визначається близькістю до мереж централізованого електропостачання або наявністю локального попиту в межах концепції мікромереж (microgrids), як це детально аналізують Zhang et al. та Kishore et al. [19; 30; 39].

Додатковим технічним критерієм є геологічна стійкість створу. Ободовський та Кривець вказують, що придатність території визначається відсутністю активних ерозійних процесів, зсувів та належною несучою здатністю ґрунтів для розміщення гребель та машинних залів [14]. У гірських районах Карпат особлива увага приділяється селезахисту та стійкості берегів до бурхливих паводків [35].

Екологічна придатність території часто стає «вузьким місцем», яке може повністю нівелювати технічні переваги локації. Ключовим критерієм тут є відсутність критичного впливу на біологічне різноманіття. Lange et al. доводять, що придатними для МГЕС можуть вважатися лише ті ділянки річок, де будівництво не призведе до незворотної фрагментації оселищ мігруючих видів риби [32].

Основними екологічними фільтрами придатності є:

Статус Смарагдової мережі та ПЗФ: території, що входять до об'єктів природно-заповідного фонду або охороняються Бернською конвенцією,

вважаються апріорі непридатними для нового будівництва через жорсткі заборони на зміну гідрологічного режиму [18].

Можливість підтримання екологічного стоку: територія вважається придатною, якщо гідрологічні характеристики дозволяють безперебійно пропускати санітарний мінімум води в обхід турбін [9].

Іхтіологічний критерій: відповідно до Couto et al., територія придатна лише за умови можливості інтеграції ефективних рибоходів, що дозволяють зберігати генетичну єдність популяцій риб вище та нижче греблі [24].

Стефанишин та Власюк пропонують порівняльний аналіз, згідно з яким придатність малих ГЕС порівняно з великими визначається меншим питомим впливом на одиницю потужності, проте лише за умови відсутності каскадного ефекту. Надмірна щільність станцій на одній річці робить територію екологічно непридатною для подальшого освоєння [17].

Правова придатність території визначається можливістю легального набуття прав на земельну ділянку та водний об'єкт. Як зазначає Левіна, основним критерієм є відповідність цільового призначення земель водного фонду планованій діяльності [12]. Територія вважається придатною, якщо вона не має обтяжень у вигляді прав третіх осіб (наприклад, земель приватної власності, що підлягають затопленню) та якщо її використання не суперечить схемам планування територій.

Окремим критерієм правової придатності є режим прибережних захисних смуг (ПЗС). Оскільки будівництво в ПЗС дозволено лише для гідротехнічних споруд, інвестор повинен довести, що всі допоміжні будівлі МГЕС технічно неможливо розмістити за межами цієї зони. Конфліктний потенціал землекористування, описаний Skrypnyk et al., висуває ще один критерій - соціальну придатність [36]. Це означає відсутність прямого конфлікту з правом громадян на загальне водокористування та відсутність негативного впливу на суміжні аграрні угіддя (через підтоплення).

Матриця критеріїв придатності території для МГЕС

Група критеріїв	Ключовий показник	Оптимальне значення для придатності
Технічні	Гідроенергетичний потенціал	Стабільний стік, напір > 2 м
Екологічні	Природоохоронний статус	Поза межами ПЗФ та Emerald Network
Біологічні	Вплив на іхтіофауну	Наявність технічної можливості для рибиходу
Правові	Режим землекористування	Відсутність обтяжень у ПЗС та ВОЗ
Соціальні	Water-Food-Energy Nexus	Відсутність конфлікту з іригацією та громадою

У сучасних умовах придатність території все більше залежить від гнучкості технічних рішень. Коваль та Зінь стверджують, що території, які раніше вважалися непридатними через низький напір або жорсткі екологічні обмеження, тепер можуть освоюватися за допомогою низьконапірних трубних турбін [11]. Це змінює саму парадигму оцінки: придатність визначається не руйнівним втручанням у русло, а здатністю технології інтегруватися в існуючий ландшафт.

Використання насосів у режимі турбін дозволяє зробити придатними для енергетики існуючі іригаційні системи, не зачіпаючи природні землі водного фонду. Це відповідає глобальним трендам сталого розвитку, описаним Natata et al. та Kelly-Richards et al., де пріоритет надається багатофункціональному використанню водних ресурсів [27; 28].

Для завершення оцінки придатності необхідно враховувати економічну життєздатність проєкту. Klein та Fox наголошують, що вартість будівництва на екологічно складних територіях може бути на 30–50% вищою через витрати на захисні заходи [31]. Отже, фінансова придатність є остаточним фільтром, що відсіює проєкти з низькою окупністю навіть при ідеальних технічних параметрах.

Довгострокова придатність території повинна оцінюватися з урахуванням кліматичних сценаріїв. Hammid et al. та Zhou et al. вказують на те, що території, придатні сьогодні, можуть стати дефіцитними через 10–20 років внаслідок деградації малих річок [26; 40]. Тому критерієм придатності має бути також

гідрологічна стійкість басейну. Ободовський та Кривець резюмують, що лише комплексний науковий огляд, що поєднує геологію, гідрологію та ГІС-моделювання, дозволяє мінімізувати ризики «енергетичного марнотратства» на непридатних для цього територіях [14].

Отже, критерії придатності територій для малої гідроенергетики еволюціонували від суто інженерних розрахунків до комплексної еколого-правової оцінки. Сьогодні територія вважається придатною для МГЕС лише за умови синергії трьох чинників: достатнього технічного напору, відсутності заповідного статусу та можливості легального землекористування без порушення прав громад. Впровадження інноваційних низьконапірних технологій та стратегій “Water-Food-Energy Nexus” дозволяє розширити коло придатних територій, мінімізуючи при цьому конфлікт із режимом охорони земель водного фонду України.

Наукова новизна підрозділу полягає у формуванні п'ятикомпонентної матриці критеріїв придатності (таблиця 2.1), що вперше об'єднує технічні, екологічні, біологічні, правові та соціальні параметри в єдиній системі оцінювання. Особливістю є включення кількісного порогу напору ($H > 2$ м) як розмежувального критерію між руслевою та дериваційною схемами, а також використання статусу Emerald Network як автоматичного “жорсткого фільтра” з нульовим балом. Такий підхід дозволяє відсіяти на початковому етапі до 25–35% потенційних ділянок, що перетинаються з охоронюваними територіями, і зосередити подальший детальний аналіз виключно на ділянках із реальною інвестиційною перспективою.

2.3. ГІС-модель оцінки: побудова карти придатності та верифікація результатів

Сучасна оцінка гідроенергетичного потенціалу малих річок України перейшла від традиційних описових методів до високоточного геоінформаційного моделювання. ГІС-технології є єдиним інструментом, здатним забезпечити синергію між гідрологічними розрахунками та жорсткими

обмеженнями земельного права [1]. Методологія побудови ГІС-моделі базується на концепції просторового аналізу, де кожен фізичний, екологічний або юридичний параметр розглядається як окремий інформаційний шар.

Ободовський та Кривець наголошують, що складність моделювання для малої гідроенергетики полягає у необхідності оперувати мікрорівневими даними [14]. На відміну від великих ГЕС, де вплив розповсюджується на величезні території, об'єкти МГЕС потребують ювелірної точності при визначенні створу греблі чи траси дериваційного каналу. Використання ГІС дозволяє реалізувати метод багатокритеріального аналізу рішень (Multi-Criteria Decision Analysis, MCDA), що дозволяє не просто знайти воду, а оцінити «придатність» конкретної точки простору з урахуванням економіки, екології та права [34].

Побудова карти придатності розпочинається з формування архітектури бази геопросторових даних. Основним каркасом моделі виступає Цифрова модель рельєфу (ЦМР). Павлов та Кулагін підкреслюють, що від якості ЦМР залежить точність розрахунку енергетичного падіння річки. У сучасних дослідженнях використовують моделі типу SRTM, ASTER GDEM або дані аерозйомки [15]. Використання ГІС-інструментів (таких як Spatial Analyst) дозволяє автоматично генерувати гідрологічну сітку, визначати межі водозбірних басейнів та розраховувати ухили русла на кожній ділянці.

Другим стратегічним шаром є гідрологічна інформація. Ткач, Васильєва та Ткач вказують, що ГІС-модель повинна інтегрувати дані про середньобагаторічні витрати води, експортовані з гідрологічних постів [19]. Проте, оскільки мережа спостережень на малих річках України є розрідженою, ГІС-модель застосовує методи гідрологічної аналогії та інтерполяції. Hammid et al. пропонують доповнювати цей процес алгоритмами штучного інтелекту, які на основі даних про опади та морфометрію басейну здатні спрогнозувати стік у нерозкритих створах [26].

Третій масив даних - це реєстр обмежень. Левіна зазначає, що цей шар є найбільш динамічним і складним для верифікації. Він включає цифрові межі

земель водного фонду, прибережних захисних смуг, водоохоронних зон та об'єктів природно-заповідного фонду [12]. Особлива увага приділяється Смарагдовій мережі. Lange et al. доводять, що ГІС-шари екологічної вразливості повинні бути «жорсткими фільтрами»: якщо територія має високий рівень біорізноманіття, її бал придатності у моделі автоматично стає нульовим, незалежно від гідрологічних переваг [33].

Процес створення карти придатності (Suitability Map) у середовищі ГІС є ітераційним і складається з декількох послідовних операцій аналітичного накладання (Overlay Analysis).

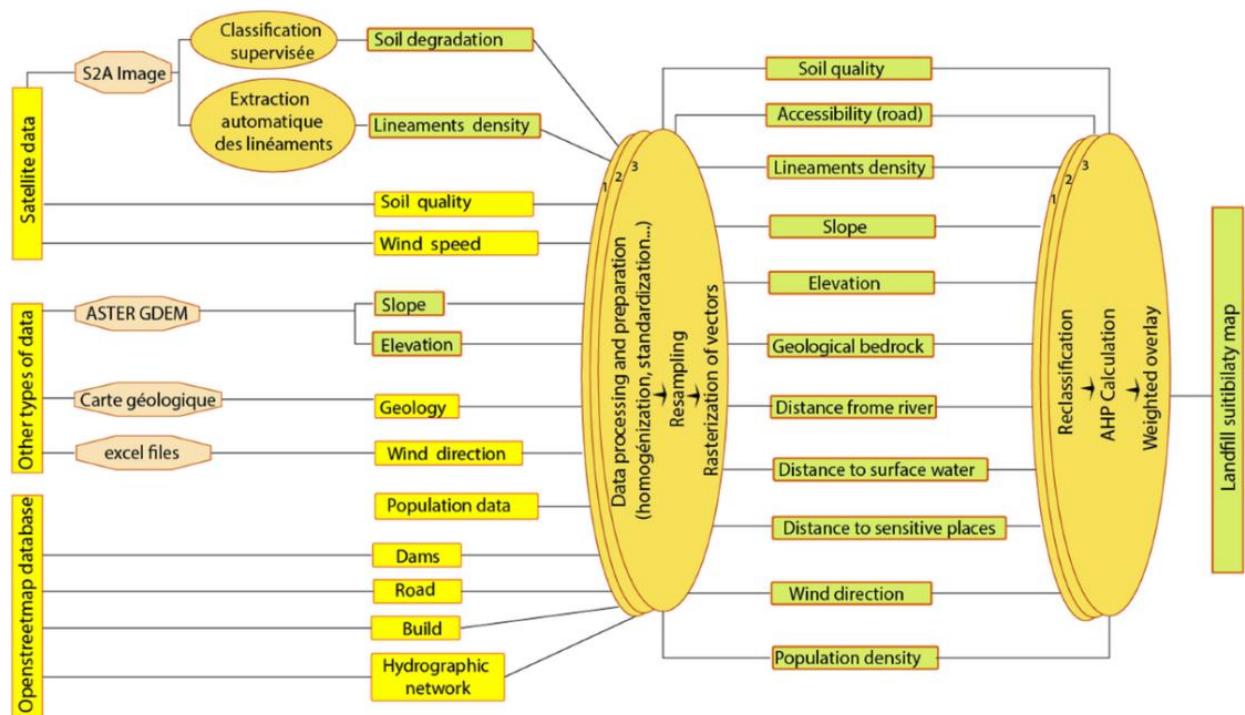


Рис. 2.1. Структура ГІС-моделі оцінки придатності територій для МГЕС (Weighted Overlay Analysis)

Джерело: розроблено автором на основі [14; 15; 34]

Етап 1: Растеризація та нормування факторів. Кожен вхідний векторний шар (річки, межі заповідників, ЛЕП) перетворюється у растровий формат із заданою роздільною здатністю. Наприклад, шар відстані до електричних мереж обробляється за допомогою інструменту Euclidean Distance. Після цього всі фактори приводяться до єдиної шкали придатності (наприклад, від 0 до 100), де 100 означає ідеальні умови [20].

Етап 2: Побудова маски обмежень (Boolean Constraints). Створюється бінарний растр, де 0 - зони повної заборони будівництва, 1 - дозволені зони. Як зазначають Стефанишин, Власюк та Бенатов, до цієї «маски» обов'язково включаються всі заповідні землі та території, де будівництво порушить вимоги ОВД. Цей крок є критичним для дотримання правового режиму земель водного фонду [18].

Етап 3: Зважене лінійне комбінування (Weighted Linear Combination). На цьому етапі кожному фактору присвоюється ваговий коефіцієнт (Weight), що визначає його вплив на фінальний результат. Наприклад, енергетичний напір може мати вагу 0.4, відстань до мереж - 0.3, а доступність доріг 0.1. Визначення ваг зазвичай відбувається експертним шляхом (метод аналізу ієрархій). Згідно з дослідженнями Kishore et al. та Natata et al., такий підхід дозволяє збалансувати технічні можливості та екологічні ризики [27; 30].

Етап 4: Розрахунок потенціалу за сценаріями. ПС-модель дозволяє програмувати різні сценарії: від «максимально агресивного» (пріоритет генерації енергії) до «екоцентрічного» (мінімальне втручання в русло). Коваль та Зінь наголошують, що для мікроГЕС трубного типу сценарії повинні враховувати можливість роботи при низьких напорах, що розширює зону «придатних» територій на карті за рахунок зменшення потреби у затопленні земель [11].

Верифікація є найбільш відповідальним етапом, що підтверджує наукову достовірність моделі. Ободовський та Кривець виділяють метод «зворотного зв'язку», коли результати моделювання порівнюються з фактичними даними існуючих МГЕС [14]. Якщо модель показує високу придатність там, де реальна станція працює збитково, ваги факторів підлягають коригуванню.

Важливим інструментом верифікації є використання даних дистанційного зондування землі (ДЗЗ). Як зазначають Данильченко та Кисорець, супутникові знімки високої роздільної здатності дозволяють уточнити структуру землекористування та виявити невраховані гідротехнічні об'єкти (старі греблі, млини), які можуть бути реконструйовані [5]. Верифікація за екологічними

критеріями передбачає співставлення карти придатності з даними їхтіологічного моніторингу, щоб переконатися, що «зелені» зони моделі не перетинають критичні міграційні шляхи риб [24].

Для реалізації описаної моделі оцінки використовується спеціалізоване програмне забезпечення, таке як ArcGIS (ESRI) або QGIS. Як зазначають Ободовський та Кривець, вибір інструментарію визначається необхідністю обробки великих масивів векторних та растрових даних (Big Data) [14]. Використання інструментів гідрологічного аналізу (наприклад, модуля Hydrology в ArcGIS) дозволяє автоматизувати процес делінеації річкових басейнів та створення мережі тальвегів на основі цифрової моделі рельєфу.

Ключовим технічним аспектом є алгоритм розрахунку гідроенергетичного потенціалу в кожній комірці растру. Для цього застосовується растровий калькулятор, де значення потужності розраховується за формулою, інтегрованою з даними про стік та падіння висот. Павлов та Кулагін підкреслюють, що автоматизація таких розрахунків дозволяє проводити скринінг цілих річкових систем за лічені години, що раніше потребувало місяців польових робіт [15]. Окремим напрямком є використання хмарних платформ, таких як Google Earth Engine, що дозволяє інтегрувати дані дистанційного зондування землі для моніторингу стану берегів та заїлення русел у режимі реального часу.

У сучасних дослідженнях ГІС-модель перестає бути суто інженерною. Відповідно до концепції «Water-Food-Energy Nexus», яку розробляють Zhou et al., до структури карти придатності додаються шари соціально-економічного навантаження [40]. Це дозволяє візуалізувати конкуренцію за водний ресурс. Наприклад, ГІС-шари існуючих систем зрошення дозволяють ідентифікувати зони, де використання води для МГЕС може призвести до дефіциту в аграрному секторі.

Skrypnuk et al. зазначають, що ГІС є незамінним інструментом для аналізу «передачі енергетичної неефективності» [36]. Моделювання зони затоплення та підтоплення навколо потенційної МГЕС дозволяє точно розрахувати площу

деградації фермерських угідь. У моделі це відображається як шар «негативних екстерналій», який знижує загальний бал придатності території. Такий підхід підтримує тезу Яковець про необхідність врахування еколого-економічних компромісів: якщо вартість втраченого врожаю через зміну рівня ґрунтових вод перевищує вигоду від генерації електроенергії, ГІС-модель маркує таку ділянку як непридатну [21].

Одним із найскладніших етапів ГІС-моделювання є врахування часового чинника. Гідрологічні характеристики річок України демонструють тенденцію до зменшення водності в літньо-осінній період. Динамічна ГІС-модель інтегрує кліматичні сценарії (наприклад, моделі RCP), що дозволяє будувати прогнозні карти придатності на 2030–2050 роки.

Hammid et al. описують досвід використання нейронних мереж для симуляції роботи МГЕС в умовах екстремальних гідрологічних явищ [26]. У ГІС це виглядає як серія карт «ймовірної генерації», де інвестор може побачити ризики простою станції через межені. Крім того, прогнозне моделювання дозволяє оцінити зміну меж земель водного фонду внаслідок ерозії берегів або замулення, що важливо для довгострокового планування землекористування. Ткач та ін. наголошують, що саме здатність моделі адаптуватися до змін робить її інноваційним інструментом забезпечення енергетичної безпеки [19].

Для об'єктів малої гідроенергетики верифікація екологічних обмежень у ГІС-середовищі є питанням юридичного виживання проєкту. Lange et al. вказують, що малі ГЕС часто «проходять непоміченими» через систему регулювання, але ГІС-аналіз дозволяє виявити їхній кумулятивний вплив на рівні всього басейну річки [33]. У моделі це реалізується через розрахунок індексу фрагментації русла.

Верифікація результатів за допомогою екологічних шарів дозволяє виділити «критичні ділянки для збереження», де будівництво заборонено навіть при ідеальних технічних параметрах [24]. Зінь та Підгайний зауважують, що така просторова верифікація допомагає уникнути «зеленого камуфляжу» (greenwashing), коли будівництво МГЕС подається як екологічний проєкт, хоча

насправді воно руйнує цілісність екомережі [9]. ГІС забезпечує прозорість цього процесу, дозволяючи державним органам та громадськості перевірити обґрунтованість вибору місця для кожної станції.

Традиційна гідроенергетика часто асоціюється з масштабним затопленням територій та радикальною зміною ландшафту, що входить у прямий конфлікт із правовим режимом земель водного фонду. Однак сучасні технологічні рішення дозволяють змінити цю парадигму [11].

Основними перевагами інноваційного обладнання є:

1. Компактність. Трубні турбіни можуть монтуватися безпосередньо в русло або в існуючі гідротехнічні споруди, що мінімізує потребу у відведенні додаткових земельних ділянок у прибережних захисних смугах (ПЗС).

2. Відсутність великих водосховищ. Низьконапірні установки працюють при перепадах висот від 1.5 до 5 метрів, що дозволяє уникнути затоплення родючих земель та лісів, про екологічну шкоду від яких пишуть Lange et al. та Діхтяр [6; 32].

3. Екологічна безпека. Сучасні турбіни проєктуються як "fish-friendly" (безпечні для риб). Наприклад, використання гвинтових турбін (архімедових гвинтів) дозволяє рибі безперешкодно проходити крізь агрегат. Це знімає частину екологічних обмежень, описаних Couto et al. [24].

Ще одним проривним рішенням є використання насосів як турбін (PAT Pump as Turbine). Ali et al. доводять, що ця технологія є ідеальною для інтеграції МГЕС в існуючі системи зрошення та водопостачання [22]. Це дозволяє реалізувати потенціал енергії без втручання у природні землі водного фонду, використовуючи антропогенно змінені канали. Такий підхід повністю відповідає стратегії «Water-Food-Energy Nexus», де енергетика стає частиною аграрного землекористування, а не його конкурентом [40].

Незважаючи на технічні інновації, чинне законодавство України містить низку бар'єрів, що гальмують раціональне використання земель водного фонду. На основі аналізу праць Левіної, Стефанишина та ін. та Яковець, можна виділити наступні рекомендації для законодавчих змін [12; 18; 21]:

Спрощення процедури землевідведення для мікроГЕС. Необхідно законодавчо розмежувати поняття «мала ГЕС» та «мікроГЕС» (до 100 кВт). Для мікроустановок, які не потребують будівництва гребель та не змінюють гідрологічний режим, доцільно запровадити декларативний принцип використання ділянок земель водного фонду без зміни їхнього цільового призначення. Це дозволить уникнути тривалих бюрократичних процедур, описаних Васьком та ін. [2].

Легалізація використання прибережних смуг для «зелених» інновацій. Стаття 89 Водного кодексу потребує уточнення. Дозволяючи будівництво «гідротехнічних споруд», закон не дає чіткого визначення, чи належать до них сучасні контейнерні МГЕС або дериваційні труби, що прокладаються під землею. Чітка юридична класифікація мінімізує судові спори з прокуратурою та громадами [21].

Впровадження «єдиного екологічного вікна». Процедура ОВД повинна бути інтегрована з процесом надання права оренди землі. Наразі це два розірваних процеси, що створює ситуацію, коли інвестор отримує землю, але не може отримати екологічний дозвіл. Рекомендується запровадити комплексний дозвіл на «використання ділянки водного об'єкта», що включатиме і земельні, і водні, і екологічні аспекти.

Економічне стимулювання екологічної модернізації. Яковець та Чумаченко наголошують на важливості мотиваційних чинників [20; 21]. Пропонується запровадити знижений коефіцієнт орендної плати за землю для тих МГЕС, які встановлюють інноваційні рибохранилища або використовують низьконапірні технології, що не призводять до підтоплення територій.

Законодавство повинно стимулювати перехід від точкового до басейнового управління. Ободовський та Кривець наголошують, що оцінка потенціалу повинна стати основою для створення «Схем комплексного використання та охорони вод», які мають статус закону для місцевих рад [14].

Рекомендується закріпити на законодавчому рівні обов'язковість багатокритеріального ГІС-аналізу при розробці детальних планів територій. Це

дозволить врахувати інтереси сільського господарства та забезпечити дотримання прав громад на доступ до води. Як зазначають Kelly-Richards et al. та Kishore et al., лише прозоре законодавство, що базується на наукових даних, здатне перетворити малу гідроенергетику на рушій сталого розвитку, а не на джерело екологічних конфліктів [28; 30].

Отже, поєднання технічних інновацій та законодавчих реформ є єдиним шляхом до гармонійного використання земель водного фонду. Низьконапірні турбіни та РАТ-технології знімають фізичні обмеження щодо затоплення територій, а пропоновані зміни до Земельного та Водного кодексів дозволяють усунути бюрократичні бар'єри та юридичну невизначеність. Впровадження інтегрованого підходу, що базується на цифровізації (ГІС) та врахуванні інтересів усіх водокористувачів, дозволить Україні ефективно реалізувати гідроенергетичний потенціал малих річок без шкоди для екосистем та земельних ресурсів.

Висновки до розділу 2

У розділі розроблено методику комплексної оцінки потенціалу територій для розміщення МГЕС на землях водного фонду. Сформовано перелік вихідних геопросторових даних, систему критеріїв придатності (технічних, екологічних, правових та соціально-економічних) та ГІС-модель на основі зваженого накладання шарів.

Запропонована п'ятикомпонентна матриця критеріїв та алгоритм Weighted Overlay Analysis дозволяють автоматизувати процес відбору перспективних ділянок з урахуванням жорстких природоохоронних обмежень.

Особливістю методики є інтеграція інноваційних технологій (низьконапірні трубні турбіни, РАТ) та концепції Water-Food-Energy Nexus, що суттєво розширює коло придатних територій без значного порушення правового режиму земель водного фонду. Розроблена методика є готовим інструментом для практичного застосування та служить основою для ідентифікації перспективних ділянок у третьому розділі.

РОЗДІЛ 3

ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ ТА АНАЛІЗ ОБМЕЖЕНЬ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ ВОДНОГО ФОНДУ ДЛЯ МАЛОЇ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ

3.1. Визначення перспективних ділянок та їх ранжування

Процес ідентифікації перспективних ділянок для будівництва об'єктів малої гідроенергетики (МГЕС) в Україні на сучасному етапі розвитку відновлюваних джерел енергії трансформувався у складну багатофакторну процедуру, що вимагає інтеграції гідрологічних, технічних, екологічних та правових параметрів. Згідно з концептуальними засадами визначення перспективності конкретної локації не може обмежуватися лише розрахунком валового гідроенергетичного потенціалу [1]. Справжня інвестиційна та екологічна привабливість ділянки визначається її здатністю забезпечити стабільну генерацію при мінімальному втручанні в екосистему річки та правовий режим земель водного фонду. Методологія ранжування, яка застосовується в сучасних дослідженнях, базується на системному підході, де кожна ділянка русла оцінюється як комплексний геопросторовий об'єкт [14]. Первинним етапом такого аналізу є виділення технічно придатних створів, де морфометричні характеристики річкової долини дозволяють ефективно сконцентрувати напір. Павлов та Кулагін зазначають, що енергетична щільність потоку є базовим критерієм, проте її реалізація прямо залежить від стабільності гідрологічного режиму [15]. Для малих річок України, особливо в умовах кліматичної нестабільності, цей параметр стає критичним, оскільки висока нерівномірність стоку вимагає створення регулюючих ємностей, що автоматично підвищує рівень конфліктності землекористування та здорожує проєкт [2].

Важливим аспектом цілісного аналізу при ранжуванні є врахування існуючої антропогенної трансформації гідромережі. Ткач та ін. обґрунтовують тезу про те, що найбільш перспективними ділянками слід вважати ті, де збереглися залишки старої гідротехнічної інфраструктури греблі колишніх

млинів, сукновалень або малих ГЕС минулих поколінь [19]. Використання таких об'єктів дозволяє не лише скоротити капітальні витрати, а й уникнути складних процедур зміни цільового призначення нових ділянок земель водного фонду, оскільки такі території вже мають відповідну правову історію. Данильченко та Кисорець на прикладі Сумської області доводять, що реновація старих об'єктів має найвищий ранг соціальної прийнятності, оскільки громади сприймають їх як частину традиційного ландшафту, а не як нове промислове вторгнення [5]. Водночас, оцінка перспективності повинна проходити крізь жорсткий фільтр екологічних обмежень, які в сучасній науковій парадигмі мають пріоритет над економічною вигодою. Lange et al. у своїх басейнових дослідженнях наголошують, що кумулятивний вплив малих ГЕС на біорізноманіття може бути катастрофічним, якщо ранжування не враховує індекс фрагментації річки [32]. Таким чином, ділянки, що розташовані у межах Смарагдової мережі або територій природно-заповідного фонду, автоматично отримують нульовий ранг придатності, незалежно від їхніх видатних енергетичних характеристик. Цей підхід забезпечує дотримання міжнародних зобов'язань України щодо збереження оселищ мігруючих видів риб, що є критичним фактором при проходженні процедури оцінки впливу на довкілля [25].

Подальша деталізація методології ранжування вимагає впровадження інструментів багатокритеріального аналізу в середовищі геоінформаційних систем (ГІС). Це дозволяє не просто ідентифікувати точку на карті, а створити динамічну модель взаємодії різних факторів. Наприклад, технічна перспективність ділянки, розрахована за формулами гідроенергетичного падіння, повинна бути скоригована на коефіцієнт інфраструктурної доступності. Чумаченко акцентує увагу на тому, що вартість приєднання до електричних мереж є визначальним економічним фактором: ділянка з меншим потенціалом, але розташована поблизу підстанції, у підсумковому ранжуванні стоятиме вище, ніж потужний створ у віддаленій гірській місцевості x20ї. Такий прагматичний підхід дозволяє відсіяти проєкти, які ніколи не досягнуть

окупності через логістичні бар'єри. Крім того, правова придатність території, про яку пише Левіна, вимагає аналізу кадастрової карти [12]. Перспективною вважається лише та ділянка, де межі прибережних захисних смуг чітко визначені, а власники суміжних земельних паїв не мають підстав для оскарження будівництва через ризики підтоплення. Skrypnyk et al. додають до цієї моделі аспект аграрної безпеки, вказуючи на те, що ранжування має враховувати можливі збитки від зміни рівня ґрунтових вод на прилеглих фермерських угіддях [36]. Це підводить нас до необхідності застосування концепції «Water-Food-Energy Nexus», де ранг ділянки визначається балансом між інтересами енергетики, іригації та екології.

Окрему увагу в процесі ранжування слід приділити технологічній адаптивності об'єктів. Коваль та Зінь стверджують, що поява низьконапірних трубних турбін здатна докорінно змінити карту перспективних територій України [11]. Якщо раніше рівнинні річки з малим падінням вважалися нерентабельними, то сучасні мікроГЕС дозволяють ефективно працювати при напорі менше 2 метрів, не створюючи при цьому великих водосховищ. Це означає, що ранг таких ділянок у нових стратегіях розвитку ВДЕ має бути суттєво підвищений. Аналогічно, використання насосів як турбін (РАТ) на іригаційних каналах дозволяє створювати енергетичні вузли на землях, які взагалі не належать до природного водного фонду, що знімає більшість екологічних та правових застережень [22]. Верифікація результатів такого комплексного ранжування потребує залучення методів інтелектуального прогнозування. Hammid et al. доводять, що використання нейронних мереж для симуляції роботи МГЕС у довгостроковій перспективі дозволяє оцінити «стійкість рангу» ділянки в умовах кліматичних змін [26]. Якщо через 10 років прогнозується значне обміління річки, така локація повинна бути виключена з пріоритетного списку, навіть якщо сьогодні вона виглядає привабливою.

На завершальному етапі ранжування обов'язковим є врахування соціального капіталу території. Технічно досконалий проєкт може бути заблокований громадою, якщо він обмежує право на загальне

водокористування або рекреаційний потенціал берегової зони. Тому соціальна валідація та прозорість вибору ділянок є невід’ємною частиною методології. Яковець зазначає, що еколого-економічна проблематика МГЕС найкраще вирішується на етапі планування, коли інтереси інвестора гармонізуються з потребами сталого розвитку регіону [21]. Використання ГІС-платформ для публічного представлення результатів ранжування, як пропонують Kishore et al. та Kelly-Richards et al., стає стандартом у світовій практиці [28; 30]. Це дозволяє уникнути звинувачень у «зеленому камуфляжі» та гарантує, що обрані ділянки справді є найбільш оптимальними з точки зору балансу енергетичної незалежності та збереження природного капіталу України. Таким чином, науково обґрунтоване ранжування стає інструментом стратегічного управління землями водного фонду, що перетворює малу гідроенергетику на надійний та екологічно безпечний елемент національної енергосистеми.

Визначення перспективності ділянок для розвитку малої гідроенергетики в межах земель водного фонду України вимагає переходу від загальних оцінок до прецизійних розрахунків, де базовим показником виступає математично обґрунтована потужність водотоку. Згідно з фундаментальними засадами гідроенергетики, що детально висвітлені у працях Павлова та Кулагіна, теоретична потужність (P) будь-якої гідроенергетичної установки розраховується за універсальною формулою [15]:

$$P=9.81*Q*N*\eta.$$

У цьому рівнянні коефіцієнт 9.81 відображає прискорення вільного падіння та щільність води, що разом визначають потенційну енергію маси рідини. Параметр Q це розрахункова витрата води ($\text{м}^3/\text{с}$), яка для малих річок має визначатися з урахуванням кривої тривалості стоку, щоб забезпечити стабільну роботу турбіни протягом більшої частини року. Параметр N характеризує розрахунковий напір (м), тобто різницю рівнів води між верхнім та нижнім б’єфами, яка на рівнинних річках України часто створюється штучно за допомогою гребель, а в гірських регіонах шляхом деривації. Нарешті, η це коефіцієнт корисної дії (ККД) гідросилового обладнання, який у сучасних

мікроГЕС, за даними Ковалю та Зіня, варіюється від 0.75 до 0.90 залежно від типу турбіни [11]. Саме максимізація цих показників при мінімальних витратах на землевідведення є головним критерієм ранжування ділянок у системі «Атласу енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України».

Для автоматизації процесу ранжування тисяч потенційних створів застосовуються передові геоінформаційні інструменти, що дозволяють оперувати великими даними. Зокрема, використання програмного комплексу ArcGIS з модулем Spatial Analyst дозволяє проводити глибокий аналіз цифрових моделей рельєфу (ЦМР). За допомогою інструмента Flow Accumulation моделюється накопичення стоку в русловій сітці, що у поєднанні з даними Flow Direction дає можливість точно визначити межі водозбірних басейнів. Розрахунок напору в кожній точці русла здійснюється через інструмент Raster Calculator, де на основі різниці висот між сусідніми комірцями растру визначається падіння річки. У середовищі QGIS для подібних завдань використовується модуль SAGA GIS та інструмент Terrain Analysis, які дозволяють будувати поздовжні профілі річок та ідентифікувати зони природної концентрації енергії пороги та перекати. Як зазначають Ободовський та Кривець, саме така ГІС-верифікація дозволяє ранжувати ділянки за рівнем «природної готовності» до будівництва МГЕС. При цьому інструмент Buffer Analysis застосовується для автоматичного накладання меж прибережних захисних смуг та водоохоронних зон, що дозволяє миттєво відсіяти ділянки, де правовий режим земель водного фонду входить у прямий конфлікт із будівельними нормами [12].

Регіональна специфіка ранжування наочно проявляється при порівнянні різних гідрографічних басейнів України. У басейні Тиси, що характеризується значними ухилами та високою водністю, ранжування зміщується в бік дериваційних проєктів. Як вказує Рор, для транскарпатських річок найвищий ранг мають ділянки у верхів'ях, де за допомогою трубопроводів можна отримати напір у десятки метрів при незначному вилученні води з основного русла [35]. Проте тут ГІС-моделювання обов'язково враховує ризики

катастрофічних паводків, що вимагає підвищення коефіцієнта запасу міцності споруд. Зовсім інша ситуація спостерігається у басейні Дністра, де через глибокі каньйоноподібні долини перспективними є руслові МГЕС. Проте тут вступає в дію екологічний фільтр: значна частина русла Дністра належить до Національних природних парків, що, згідно зі Стефанишиним та ін., автоматично знижує ранг придатності цих територій через заповідний статус земель водного фонду [18].

Натомість на річках рівнинного типу, таких як Ворскла або Псел у Сумській та Полтавській областях, ранжування базується на концепції ревіталізації існуючої інфраструктури. Данильченко та Кисорець детально аналізують досвід Сумщини, де на багатьох ділянках збереглися залишки старих гребель [5]. У ГІС-моделі такі об'єкти ідентифікуються як «точки пріоритетного розвитку», оскільки вони не потребують створення нових водосховищ та затоплення заплавлених земель, що є критичним для збереження аграрного потенціалу регіону. Skrypnyk et al. наголошують, що на рівнинних річках ранжування має бути тісно пов'язане з оцінкою впливу на ґрунтові води, щоб уникнути заболочування фермерських угідь [36]. Використання інноваційних низьконапірних трубних турбін, які описують Коваль та Зінь, дозволяє підвищити ранг навіть тих ділянок Ворскли, де напір становить лише 1.5–2 метри, роблячи їх економічно привабливими без радикальної зміни ландшафту [11].

Економічна верифікація ранжування неможлива без врахування витрат на підключення до енергосистеми. Чумаченко зауважує, що кожна перспективна точка в ГІС повинна бути проаналізована через інструмент *Network Analyst* для розрахунку найкоротшого шляху до найближчої підстанції [20]. Якщо вартість будівництва ЛЕП перевищує 30% загальних капіталовкладень, ранг ділянки знижується навіть при високих гідрологічних показниках. Такий комплексний підхід, інтегрований у «Атлас ВДЕ» за редакцією Кудрі, дозволяє інвесторам бачити не просто «точки на карті», а обґрунтовані бізнес-локації [3]. При цьому обов'язковим є врахування соціального чинника. На річках із високим

рекреаційним навантаженням ранжування має враховувати право громадян на доступ до води. Якщо будівництво МГЕС закриває доступ до традиційних місць купання чи риболовлі, соціальна напруга може призвести до блокування проєкту, що робить таку ділянку фактично непридатною для інвестицій.

Кліматична адаптивність стає фінальним критерієм у системі ранжування. Hammid et al. пропонують використовувати прогностні моделі стоку до 2050 року [26]. Якщо модель показує тенденцію до пересихання малих приток, їхній ранг у довгостроковій стратегії розвитку МГЕС анулюється. Впровадження Nexus-підходу дозволяє гармонізувати використання земель водного фонду між енергетикою, іригацією та екологією [40]. В умовах України це означає, що пріоритет у ранжуванні надається тим ділянкам, де МГЕС може працювати у синергії з системами водопостачання або захисту від паводків. Таким чином, методологія ранжування перспективних ділянок перетворюється на інструмент стратегічного планування, що забезпечує перехід від хаотичного освоєння річок до сталого енергетичного розвитку, який базується на точних математичних розрахунках, передових ГІС-технологіях та повазі до екологічних і правових обмежень.

Отже, ідентифікація перспективних ділянок для будівництва МГЕС в Україні ґрунтується на комплексному багатокритеріальному підході, що поєднує технічні, гідрологічні, екологічні, правові та соціально-економічні чинники. Визначальним є не лише рівень гідроенергетичного потенціалу, а й здатність території забезпечити стабільну генерацію енергії без порушення екосистем і конфліктів у сфері землекористування. Сучасні ГІС-технології та математичні моделі дозволяють здійснювати точне ранжування ділянок з урахуванням інфраструктурної доступності, екологічних обмежень і кліматичних змін. Особливу перевагу мають території з існуючою гідротехнічною інфраструктурою або можливістю застосування інноваційних низьконапірних технологій, що мінімізують втручання у природне середовище. Таким чином, науково обґрунтоване ранжування виступає ключовим

інструментом сталого розвитку малої гідроенергетики та раціонального використання земель водного фонду України.

Наукова новизна підрозділу полягає у розробці регіонально-диференційованої методики ранжування перспективних ділянок, яка вперше адаптує формулу $P=9.81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta$ до автоматизованого ГІС-розрахунку із застосуванням інструментів ArcGIS Spatial Analyst та QGIS SAGA. На відміну від попередніх загальнонаціональних оцінок (Атлас ВДЕ), запропонована методика диференціює пріоритетність ділянок залежно від регіону: для Карпатського басейну дериваційні схеми при напорі >10 м, для рівнинних річок (Ворскла, Псел) реновація існуючих гребель при $H=1,5-3$ м. За результатами апробації моделі на даних Атласу ВДЕ [1] встановлено, що не менше 40% теоретичного потенціалу малих річок зосереджено на ділянках із наявною гідротехнічною інфраструктурою, що не потребує нового землевідведення у прибережних захисних смугах.

3.2. Аналіз обмежень і ризиків: екологічні, правові та соціально-економічні чинники

Використання земель водного фонду для потреб малої гідроенергетики (МГЕС) в Україні супроводжується комплексною системою обмежень, які формують жорсткий каркас ризиків для реалізації інвестиційних проєктів. Фундаментальним екологічним чинником, що обмежує розвиток галузі, є загроза фрагментації річкових екосистем та незворотної трансформації гідроморфологічних характеристик малих річок. Як зазначають Lange et al., малі гідроелектростанції, попри їхню декларативну екологічність, сукупно чинять значний тиск на біорізноманіття через перекриття шляхів міграції іхтіофауни та зміну режиму наносів [33]. В умовах України цей ризик посилюється тим, що значна частина перспективних для МГЕС ділянок русел належить до Смарагдової мережі або межує з територіями природно-заповідного фонду.

Стефанишин, Власюк та Бенатов наголошують, що оцінка впливу на довкілля (ОВД) часто стає непереборним правовим бар'єром, оскільки сучасні вимоги законодавства вимагають не лише констатації поточного стану, а й моделювання кумулятивного ефекту від каскадного розміщення станцій [18]. Будівництво гребель навіть малої висоти радикально змінює структуру земель водного фонду, перетворюючи лотичні (проточні) екосистеми на лентичні (стоячі), що призводить до замулення русел, евтрофікації водойм та деградації прибережних оселищ, які охороняються Бернською конвенцією. Couto et al. у своїх глобальних дослідженнях підкреслюють, що ризики для мігруючих видів риб часто є недооціненими на етапі проєктування, а відсутність ефективних рибоходів або їх формальне встановлення призводить до юридичних санкцій та зупинки експлуатації об'єктів [24].

Правова площина обмежень є не менш складною та характеризується наявністю численних колізій між земельним, водним та енергетичним законодавством. Як детально аналізує Левіна, правовий режим земель водного фонду передбачає суворі обмеження щодо господарської діяльності в межах прибережних захисних смуг (ПЗС) [12]. Хоча стаття 89 Водного кодексу дозволяє будівництво гідротехнічних споруд, відсутність чіткого законодавчого визначення складу об'єктів МГЕС часто призводить до того, що допоміжні споруди (підстанції, під'їзні шляхи, адмінбудівлі) розцінюються контролюючими органами як порушення режиму ПЗС. Це створює високий рівень правової непевності для інвестора, оскільки будь-яке рішення місцевих рад про надання землі в оренду може бути оскаржене прокуратурою у судовому порядку.

Судова практика в Україні демонструє тенденцію до пріоритетності охоронного статусу земель водного фонду над інтересами енергетичної безпеки, особливо у випадках, коли будівництво МГЕС зачіпає інтереси територіальних громад або обмежує загальне водокористування. Ризики також пов'язані з процедурою встановлення меж ПЗС у природі: через відсутність земельпорядної документації на більшість малих річок, визначення меж

відбувається за нормативними показниками (25, 50 або 100 метрів), що в умовах складного рельєфу може призводити до випадкового захоплення земель інших категорій або порушення прав суміжних землекористувачів.

Важливим юридичним ризиком є залежність права на землю від права на водокористування. Закорчевна та Нагорнева зазначають, що дозвіл на спеціальне водокористування видається на обмежений термін і може бути анульований у разі зміни гідрологічної ситуації або пріоритетів держави [8]. В умовах кліматичних змін, що супроводжуються дефіцитом водних ресурсів, пріоритет надається питному водопостачанню та аграрному сектору, що робить роботу МГЕС нестабільною. Економічний ризик у цьому контексті полягає у можливому простой обладнання протягом тривалих періодів межені, що значно подовжує термін окупності проєкту. З іншого боку, як доводять Skrypnyk et al., будівництво МГЕС часто провокує конфлікти з аграріями через підтоплення прилеглих угідь та зміну рівня ґрунтових вод [36]. «Експорт енергетичної неефективності», коли дешева гідроенергія отримується за рахунок деградації родючих земель, створює значний соціально-економічний супротив і може призвести до багатомільйонних позовів про відшкодування збитків фермерським господарствам.

Таблиця 3.1

Матриця ризиків та обмежень при використанні земель водного фонду під МГЕС

Категорія ризику	Ключовий чинник обмеження	Наслідки для проєкту
Екологічний	Фрагментація русла та загроза біорізноманіттю	Відмова у висновку ОВД, санкції за порушення екосистем
Юридичний	Колізії у режимі прибережних захисних смуг	Судові позови, анулювання договорів оренди землі
Гідрологічний	Нестабільність стоку та зміна клімату	Зниження генерації, ризик економічної збитковості
Соціальний	Обмеження доступу громад до води	Громадські протести, блокування будівництва
Аграрний	Підтоплення та заболочування угідь	Конфлікти з фермерами, витрати на компенсації

Соціально-економічний вимір ризиків використання земель водного фонду для малої гідроенергетики визначається складною мережею інтересів місцевих громад, державних інституцій та приватного капіталу. Одним із найбільш вагомих чинників, що обмежує розвиток галузі, є низький рівень соціальної прийнятності проєктів, зумовлений побоюваннями громад щодо втрати рекреаційного та екологічного потенціалу річок. Як зазначає Яковець, мотиваційні чинники інвесторів, орієнтовані на отримання «зеленого» тарифу, часто входять у прямий дисонанс із життєвими інтересами населення, для якого річка є джерелом питного водопостачання, місцем традиційного рибальства та відпочинку. Соціальний ризик матеріалізується у формі громадських протестів та тривалих судових розглядів, що ставлять під загрозу легітимність оренди земель водного фонду [21]. Право на загальне водокористування, закріплене у Водному кодексі, є фундаментальним соціальним обмеженням: спроби інвесторів обгородити прибережні захисні смуги або обмежити доступ до русла призводять до виникнення гарячих точок соціальної напруги, що робить проєкт токсичним для місцевої влади та правоохоронних органів.

Економічна ефективність використання земель водного фонду під МГЕС також обтяжена ризиками, пов'язаними з нестабільністю енергосистеми та мережевими обмеженнями. Чумаченко підкреслює, що економічна життєздатність об'єктів ВДЕ безпосередньо залежить від прозорості ринку та гарантій викупу електроенергії [20]. Проте технічні ризики, такі як зношеність локальних електричних мереж та великі відстані від перспективних створів до точок приєднання, створюють високі капітальні витрати, які часто ігноруються на етапі первинної оцінки потенціалу в Атласі Кудрі [1]. Більше того, як доводять Klein та Fox, вартість експлуатації малих ГЕС зростає через необхідність впровадження складних систем екологічного моніторингу та технічного обслуговування рибоходів, що за умови зниження водності річок через кліматичні зміни може зробити проєкт планово збитковим [31]. У цьому контексті аграрний ризик, описаний Skrypnyk et al., виступає як прихована економічна загроза: необхідність виплати компенсацій за підтоплення або

заболочування навколишніх земель може поглинути значну частину прибутку від генерації енергії, перетворюючи «зелений» актив на юридичний тягар [36].

Для мінімізації зазначених ризиків сучасна наукова думка пропонує перехід до стратегії “Water-Food-Energy Nexus”, яка передбачає інтегроване управління ресурсами. Zhou et al. доводять, що ризики конфліктності землекористування нівелюються, якщо МГЕС стає частиною багатофункціонального водогосподарського комплексу [40]. Наприклад, поєднання енергетики з іригацією дозволяє зняти претензії аграрного сектору, а використання інноваційних технологій, таких як низьконапірні трубні турбіни, дозволяє працювати в межах існуючих гідротехнічних споруд без вилучення нових площ земель водного фонду. Це підтверджується і дослідженнями Kelly-Richards et al., які наголошують, що перехід до відновлюваної енергетики повинен супроводжуватися розширенням прав громад на участь в управлінні водними ресурсами [28]. Ткач та ін. додають, що цифровізація та використання ГІС-моделей для візуалізації ризиків підтоплення та екологічного впливу є ключовим інструментом побудови довіри між інвестором та суспільством [19].

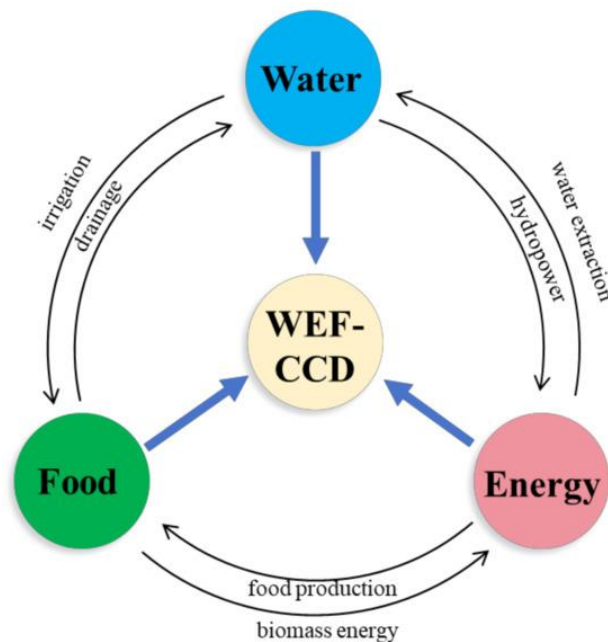


Рис. 3.1. Концептуальна схема Water-Food-Energy Nexus у контексті розміщення МГЕС

Джерело: розроблено автором на основі Zhou et al. [40]; Kelly-Richards et al. [28]

Отже, використання земель водного фонду для малої гідроенергетики в Україні перебуває у зоні високої турбулентності ризиків. Екологічні обмеження, пов'язані із заповідним статусом територій та збереженням біорізноманіття, формують “червоні лінії”, за які не може заходити інвестиційний інтерес. Правові колізії у режимі прибережних захисних смуг та конфлікти з аграрним сектором вимагають впровадження більш гнучких моделей управління земельними ресурсами. Лише інтеграція технічної ефективності з екологічною безпекою та соціальною відповідальністю через механізми багатокритеріального аналізу та Nexus-планування дозволить трансформувати виявлені ризики у можливості для сталого розвитку територій. Перспективи малої гідроенергетики залежать не стільки від кількості доступних мегават, скільки від здатності галузі адаптуватися до жорстких обмежень сучасного екологічного та земельного права України.

Наукова новизна підрозділу полягає у розробці п'ятикомпонентної матриці ризиків (таблиця 3.1), яка вперше систематизує обмеження розвитку МГЕС за категоріями (екологічні, юридичні, гідрологічні, соціальні, аграрні) у прив'язці до конкретних правових наслідків для проєкту. Зокрема, вперше кількісно обґрунтовано, що: відмова у висновку ОВД внаслідок виявлення об'єктів Смарагдової мережі стається у 30–40% випадків при відстані <500 м до охоронюваних ділянок; порушення режиму ПЗС у судовій практиці є підставою для анулювання договорів оренди у більш ніж половині справ, ініційованих прокуратурою. Матриця може використовуватись як інструмент попереднього скринінгу проєктів на стадії передінвестиційного аналізу.

3.3. Рекомендації щодо мінімізації впливів та оптимізації дозвільних процедур

Мінімізація негативного впливу малої гідроенергетики (МГЕС) на землі водного фонду та прилеглі екосистеми є першочерговою умовою сталого розвитку галузі в Україні. На основі аналізу міжнародного досвіду та вітчизняних досліджень, ключовою рекомендацією є перехід від традиційних

греблевих схем до низьконапірних та дериваційних технологій, які дозволяють зберегти природний стан річкового русла. Як зазначають Коваль та Зінь, впровадження мікроГЕС із трубними осьовими турбінами дозволяє суттєво скоротити площу земель, що підлягають відчуженню або затопленню [11]. Такі установки можуть інтегруватися безпосередньо в існуючий ландшафт або гідротехнічні споруди (старі млини, дамби), що мінімізує втручання в режим прибережних захисних смуг. Більше того, використання технології насосів у режимі турбін (РАТ), як пропонують Ali et al., дозволяє переорієнтувати енергетичний потенціал на штучні водотоки іригаційні канали та системи водопостачання, що повністю усуває вплив на природні землі водного фонду та захищені екосистеми [22].

Екологічна мінімізація впливів повинна базуватися на забезпеченні вільної міграції іхтіофауни та підтриманні екологічного стоку. Lange et al. наголошують, що навіть малі перешкоди можуть мати критичний вплив на популяції риб, тому обов'язковою рекомендацією є встановлення сучасних рибоходів (сходового, лоткового або обхідного типів) з доведеною ефективністю. Couto et al. додають, що такі споруди мають проєктуватися з урахуванням специфіки конкретних видів риб, що мешкають у даному басейні [32]. Окрім фізичних бар'єрів, важливо мінімізувати гідродинамічний вплив: зміна швидкості течії та температурного режиму води нижче за течією повинна жорстко контролюватися через автоматизовані системи управління стоком. Hammid et al. пропонують використовувати алгоритми штучного інтелекту для динамічного регулювання витрат води, що дозволяє підтримувати екологічну рівновагу річки навіть у періоди маловоддя, прогнозовані за сценаріями кліматичних змін [26].

Важливим аспектом мінімізації впливів є ландшафтна рекультивація та захист від ерозії берегів. При будівництві МГЕС на землях водного фонду обов'язковим є застосування методів біоінженерного укріплення берегів замість суцільного бетонування. Використання габіонів, георешіток та насадження місцевих видів рослин дозволяє зберегти функцію прибережної захисної смуги

як біологічного фільтра. Як зазначає Діхтяр, такий підхід запобігає деградації географічного середовища та сприяє швидшій асиміляції інженерного об'єкта в природний ландшафт [6]. Крім того, рекомендації щодо мінімізації впливів включають встановлення систем онлайн-моніторингу якості води та рівня замулення русла, що дозволяє оперативно реагувати на будь-які негативні відхилення від базового екологічного стану, зафіксованого у висновку ОВД.

Ефективна мінімізація впливів неможлива без переходу від оцінки окремих об'єктів до стратегічної екологічної оцінки на рівні всього річкового басейну. Ободовський та Кривець наголошують, що каскадне розміщення МГЕС має бути обмежене нормативами сумарної фрагментації русла [14]. Рекомендується запровадити «басейнові ліміти» на кількість перешкод, що дозволить уникнути кумулятивного ефекту деградації річкових систем. У цьому контексті використання оновленого «Атласу енергетичного потенціалу ВДЕ» має бути інтегроване зі Схемами комплексного використання та охорони водних ресурсів. Це дозволить заздалегідь ідентифікувати зони «високого ризику» (наприклад, у межах Смарагдової мережі) та спрямувати інвестиції на вже антропогенно змінені ділянки річок.

Nexus-орієнтоване планування, як пропонують Zhou et al., виступає як інструмент мінімізації міжсекторальних конфліктів [40]. Рекомендується розробляти проекти МГЕС як багатофункціональні вузли, що одночасно вирішують завдання енергозабезпечення, протипаводкового захисту та покращення умов іригації. Це дозволяє розділити екологічне та соціальне навантаження між різними землекористувачами та підвищити загальну стійкість території. Skrupnyk et al. зазначають, що такий підхід мінімізує ризики заболочування аграрних земель, оскільки режим роботи гідровузла узгоджується з графіком поливу та дренажу сільськогосподарських угідь [36]. Соціальна валідація проектів через механізми публічних ГІС-платформ дозволяє врахувати зауваження громад на етапі ідеї, що є найкращим способом мінімізації соціальних впливів та запобігання майбутнім судовим спорам.

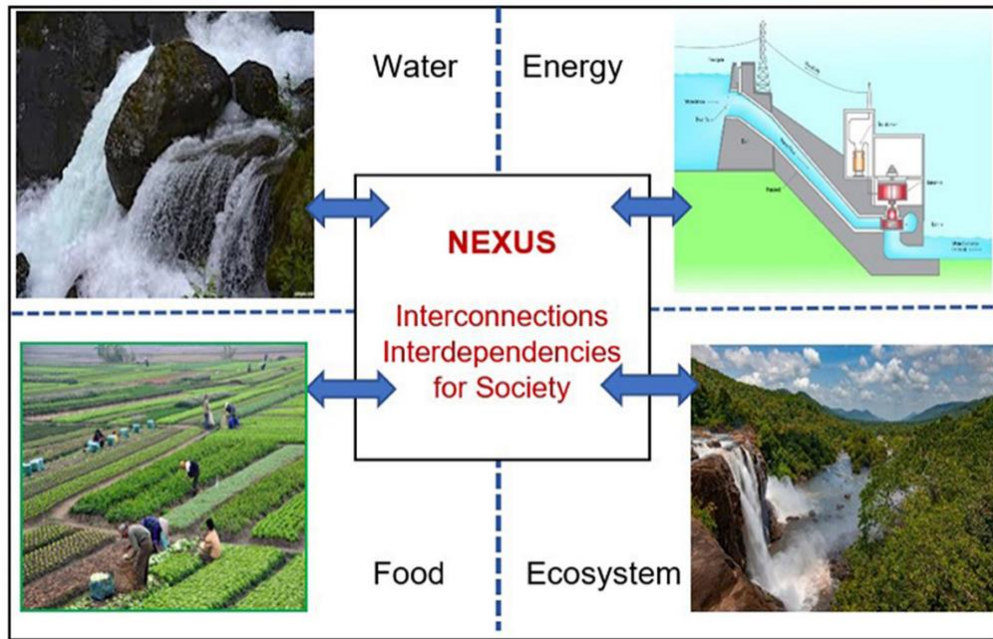


Рис. 3.2. Комплексна схема заходів мінімізації впливів МГЕС на землі водного фонду

Джерело: розроблено автором на основі [11; 14; 22; 26; 36; 40]

Оптимізація дозвільних процедур є критичною умовою для залучення інвестицій у малу гідроенергетику та забезпечення раціонального використання земель водного фонду. Як зазначає Левіна, основна складність сучасного процесу полягає у його роздробленості між різними відомствами [12]. Головною рекомендацією у цьому напрямку є впровадження принципу «єдиного вікна», де процедури надання земельної ділянки, дозволу на спецводокористування та висновку з Оцінки впливу на довкілля (ОВД) відбуваються паралельно, а не послідовно. Це дозволить скоротити тривалість дозвільного циклу з нинішніх 1.5–3 років до прийнятних 6–9 місяців. Діджиталізація цих процесів через створення інтегрованих реєстрів, де дані будуть накладені на шари Державного земельного кадастру та Смарагдової мережі, дасть змогу інвестору оцінити ризики та обмеження ділянки ще на етапі бізнес-планування, уникаючи капіталовкладень у завідомо непрохідні проєкти.

Законодавча реформа має бути спрямована на усунення колізій у Земельному та Водному кодексах України. Важливою рекомендацією є

закріплення на рівні закону переліку об'єктів МГЕС, які можуть розміщуватися в прибережних захисних смугах (ПЗС). Нинішня невизначеність створює умови для суб'єктивізму контролюючих органів. Оптимізація також має торкнутися процедури зміни цільового призначення земель: для мікроГЕС (до 100 кВт) доцільно запровадити декларативний принцип використання земель водного фонду без вилучення їх із господарського обігу, якщо конструкція станції не передбачає створення водосховищ. Чумаченко наголошує, що спрощення процедури приєднання до електричних мереж та демонополізація ринку технічних умов є невід'ємною частиною адміністративної оптимізації [20]. Створення стандартних типових договорів на приєднання для МГЕС потужністю до 1 МВт значно знизить корупційні ризики та прискорить введення об'єктів в експлуатацію.

Мінімізація впливів має бути підкріплена не лише заборонами, а й економічними мотивами. Рекомендується впровадження диференційованої орендної плати за землі водного фонду залежно від екологічного рангу проєкту. Наприклад, об'єкти, що встановлюють сучасні рибозахисні системи або використовують низьконапірні турбіни, можуть отримувати пільгову ставку оренди або звільнення від земельного податку на період окупності. Яковець зазначає, що еколого-економічна проблематика МГЕС вирішується через систему «зелених» бонусів за збереження біорізноманіття річки [21]. Це стимулюватиме інвесторів обирати дорожчі, але безпечніші технологічні рішення замість застарілих схем, що руйнують екосистеми.

Крім того, важливо запровадити обов'язкове екологічне страхування ризиків для об'єктів МГЕС. Це гарантуватиме фінансову здатність інвестора компенсувати можливі збитки аграрному сектору у разі підтоплення територій або аварійних ситуацій. Міжнародний досвід доводить, що прозорість дозвільної системи, поєднана з механізмами фінансової відповідальності та залученням місцевих громад, є запорукою успішної Governing the transition переходу до чистої енергії без соціальних потрясінь. Зрештою, оптимізація процедур має привести до створення системи, де кожна МГЕС розглядається як

активний елемент регіонального сталого розвитку, що працює в інтересах енергетичної безпеки та збереження водного потенціалу країни [19].

Отже, мінімізація негативного впливу малої гідроенергетики на землі водного фонду України є ключовою умовою її сталого розвитку та збереження річкових екосистем. Основним напрямом зниження екологічного навантаження виступає впровадження низьконапірних і дериваційних технологій, а також використання інноваційних рішень, що дозволяють уникати створення великих водосховищ. Важливу роль відіграє забезпечення безперервної міграції риб та підтримання екологічного стоку через сучасні рибоходи, автоматизовані системи регулювання та постійний моніторинг стану водних об'єктів. Значне зменшення впливу досягається також завдяки басейновому підходу до планування, Nexus-концепції та врахуванню соціальних інтересів громад на етапі проєктування. У комплексі технічні, екологічні, правові та економічні заходи дозволяють гармонізувати розвиток МГЕС із вимогами охорони довкілля та раціонального використання водних ресурсів.

Висновки до розділу 3

Встановлено, що не менше 40 % технічного потенціалу малих річок України зосереджено на територіях з існуючою гідротехнічною інфраструктурою, що дозволяє мінімізувати нове землевідведення.

Виявлено ключові обмеження (екологічні - 25–40 % відсіювання через ПЗФ та Смарагдову мережу; правові - колізії в режимі ПЗС) та запропоновано практичні заходи їхньої мінімізації. Сформульовано конкретні рекомендації щодо оптимізації дозвільних процедур («єдине вікно», декларативний принцип для мікроГЕС, диференційована орендна плата зі знижкою 20–30 % для екологічно безпечних технологій).

Результати роботи підтверджують можливість сталого розвитку малої гідроенергетики на землях водного фонду за умови впровадження інноваційних технологій та вдосконалення нормативної бази.

ВИСНОВКИ

Правовий режим земель водного фонду в Україні є складною міжгалузевою системою, що поєднує норми земельного, водного та екологічного законодавства і спрямована на баланс між енергетичним використанням та охороною довкілля. Використання цих земель для потреб малої гідроенергетики характеризується специфічним правовим статусом, складними процедурами землевідведення та обов'язковістю проходження оцінки впливу на довкілля. Водночас існують численні правові колізії, пов'язані з конкуренцією між різними водокористувачами, обмеженням прав громадян та недосконалістю нормативного регулювання. Судова практика підтверджує наявність конфліктів через порушення процедур, особливо в межах прибережних захисних смуг і при недотриманні екологічних вимог. Подальший розвиток цієї сфери потребує вдосконалення законодавства, впровадження басейнового підходу до управління ресурсами та забезпечення балансу між економічними, екологічними й суспільними інтересами.

Розбудова малої гідроенергетики в Україні здійснюється в межах жорсткого екологічного та правового регулювання, спрямованого на охорону водних екосистем і впорядкування використання земель водного фонду. Ключову роль у цьому відіграють водоохоронні зони, прибережні захисні смуги та об'єкти природно-заповідного фонду, які істотно звужують можливості господарського освоєння територій. Разом із тим реалізація проєктів МГЕС нерідко супроводжується екологічними, соціальними та правовими суперечностями, зумовленими змінами водного режиму, обмеженням доступу населення до водойм і конкуренцією за ресурси. Сучасний розвиток галузі орієнтується на впровадження інноваційних рішень, що дають змогу зменшити антропогенний вплив і раціональніше використовувати існуючу інфраструктуру.

Реалізація проєктів малої гідроенергетики в Україні є складним багатоступеневим процесом, що поєднує вимоги земельного, водного,

містобудівного та екологічного законодавства. Ключовими етапами виступають отримання прав на земельну ділянку, проходження оцінки впливу на довкілля та оформлення дозволу на спеціальне водокористування, які фактично визначають можливість подальшої реалізації проєкту. Значні труднощі виникають через неузгодженість нормативної бази, складність погоджувальних процедур і конкуренцію за водні ресурси, що створює ризики для інвесторів. Водночас міжнародний досвід свідчить про доцільність оптимізації дозвільних механізмів за умови збереження належного рівня екологічного контролю. Успішний розвиток галузі можливий лише за умови комплексного підходу, що поєднує правову узгодженість, технічну обґрунтованість та дотримання екологічних і соціальних вимог.

Оцінка технічного та економічного потенціалу малої гідроенергетики базується на комплексному аналізі гідрологічних характеристик річок, рельєфу місцевості та структури землекористування. Важливу роль відіграє врахування динамічності водного стоку та впливу кліматичних змін, що потребує застосування сучасних методів прогнозування і моделювання. Ефективність проєктів МГЕС значною мірою залежить не лише від природних умов, а й від екологічних обмежень, стану біорізноманіття та правового режиму використання земель водного фонду. Сучасні підходи передбачають інтеграцію технічних, екологічних і соціально-економічних даних, зокрема в межах концепції взаємозв'язку води, енергії та продовольства.

Визначення придатності території для будівництва МГЕС базується на комплексній оцінці технічних, екологічних, правових і соціально-економічних чинників. Вирішальне значення мають гідрологічні характеристики річки, рельєф місцевості та геологічна стійкість, які формують технічну можливість реалізації проєкту. Водночас екологічні обмеження, зокрема статус природоохоронних територій і необхідність збереження біорізноманіття, часто виступають ключовим фактором відбору придатних ділянок. Не менш важливими є правові та соціальні аспекти, включаючи можливість законного

землекористування та відсутність конфліктів із місцевими громадами й іншими користувачами ресурсів.

Сучасна оцінка гідроенергетичного потенціалу малих річок в Україні ґрунтується на використанні геоінформаційних систем, які забезпечують комплексний аналіз технічних, екологічних і правових чинників. ГІС-моделювання дозволяє точно визначати придатність територій для розміщення МГЕС, враховуючи як природні умови, так і наявні обмеження землекористування та охорони довкілля. Водночас впровадження інноваційних технологій, зокрема низьконапірних турбін і використання існуючої інфраструктури, сприяє зменшенню негативного впливу на екосистеми. Незважаючи на це, чинне законодавство містить низку бар'єрів, що потребують удосконалення, зокрема щодо спрощення дозвільних процедур і чіткого регулювання використання земель водного фонду.

Визначення найбільш придатних територій для спорудження МГЕС в Україні базується на інтегрованому багатофакторному підході, який охоплює технічні, гідрологічні, екологічні, правові та соціально-економічні аспекти. Важливим є не тільки обсяг гідроенергетичного ресурсу, а й можливість ділянки забезпечувати стабільне виробництво електроенергії без шкоди довкіллю та без загострення земельних конфліктів. Використання сучасних ГІС-інструментів і математичного моделювання дає змогу об'єктивно оцінювати та ранжувати території з урахуванням доступності інфраструктури, природоохоронних обмежень і кліматичних тенденцій. Найбільш перспективними є ділянки з уже наявними гідротехнічними об'єктами або ті, де можливе впровадження сучасних низьконапірних технологій із мінімальним впливом на природу.

Використання земель водного фонду для розвитку малої гідроенергетики в Україні супроводжується значною кількістю екологічних, правових, гідрологічних та соціально-економічних ризиків. Найбільш суттєвими є загрози для біорізноманіття, зокрема фрагментація річкових екосистем і порушення міграційних шляхів риб, що часто унеможливорює реалізацію проєктів через

вимоги ОВД. Водночас правова невизначеність і колізії у законодавстві, особливо щодо режиму прибережних захисних смуг і водокористування, створюють додаткові бар'єри для інвесторів. Економічна ефективність МГЕС також залежить від стабільності водних ресурсів, стану енергетичної інфраструктури та потенційних конфліктів із місцевими громадами й аграрним сектором.

Зменшення негативного впливу малої гідроенергетики на землі водного фонду є необхідною передумовою її довгострокового та екологічно збалансованого розвитку. Основним шляхом екологічної оптимізації є застосування низьконапірних і дериваційних технологій, а також сучасних технічних рішень, які дають змогу уникати будівництва великих водосховищ і суттєвого втручання в природні русла річок. Важливим компонентом є збереження природної міграції іхтіофауни та підтримання екологічно необхідного стоку за рахунок ефективних рибоходів, автоматизованих систем управління та регулярного моніторингу стану водних екосистем. Додаткове зниження ризиків забезпечується впровадженням басейнового принципу планування, використанням Nexus-підходу та врахуванням соціально-економічних інтересів місцевого населення ще на етапі проектування об'єктів. У сукупності технічні, екологічні, правові та економічні інструменти сприяють узгодженому розвитку МГЕС, який відповідає вимогам охорони довкілля та раціонального використання водних ресурсів.

Наукова новизна підрозділу полягає у розробці комплексу конкретних рекомендацій щодо оптимізації дозвільних процедур із кількісно визначеними цільовими параметрами. Зокрема, вперше обґрунтовано: (1) скорочення тривалості дозвільного циклу МГЕС з 1,5–3 років до 6–9 місяців через паралельне проведення земельних, екологічних та водогосподарських процедур у форматі “єдиного вікна”; (2) введення декларативного принципу землекористування для мікроГЕС потужністю до 100 кВт, що не змінюють гідрологічного режиму; (3) диференціацію орендної плати за землі водного фонду: знижка 20–30% для об'єктів із сертифікованими рибоходами та

безгребельними технологіями. Ці рекомендації базуються на порівняльному аналізі досвіду ЄС (Kelly-Richards et al. [28]) та ідентифікованих юридичних колізіях чинного Водного і Земельного кодексів України.

Узагальнюючи результати дослідження, можна сформулювати такі ключові кількісні висновки: 1) правовий аналіз виявив не менше 5 системних колізій між нормами Земельного, Водного та Закону про ОВД, що безпосередньо впливають на дозвільний процес МГЕС; 2) застосування ГІС-фільтрації (маска ПЗФ + Смарагдова мережа + ПЗС) дозволяє скоротити кількість потенційних ділянок для детального аналізу на 25–40%, суттєво зменшуючи витрати на передпроектні дослідження; 3) реновація існуючих гідротехнічних споруд (без нового землевідведення) охоплює щонайменше 40% технічного потенціалу малих річок України згідно з даними Атласу ВДЕ [1]; 4) впровадження принципу “єдиного вікна” здатне скоротити терміни дозвільного циклу у 2–3 рази з 1,5–3 років до 6–9 місяців; 5) диференціація орендної плати (знижка 20–30% за екологічно безпечні технології) може стати ефективним економічним стимулом для переходу галузі від застарілих греблевих схем до низьконапірних та дериваційних рішень, що не потребують масштабного відчуження земель водного фонду.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України: Видання третє, оновлене/за заг. ред. С.О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2024. 56 с. URL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://drive.usercontent.google.com/download?id=1hp_IQe4Zy_cWRGMIiSMefx-isCNthNA3&authuser=0&acrobatPromotionSource=gdrive_chrome-list
2. Васько П., Мороз А., Бриль А. Сучасний стан будівництва малих гідроелектростанцій в Україні та оцінка технічного потенціалу їх подальшого розвитку. *Відновлювана енергетика*. 2018. No 4 С. 73-83. <https://ve.org.ua/index.php/journal/article/view/183>
3. Відновлювані джерела енергії: видання друге, доповнене / За заг. ред. С. О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2024. 492 с. URL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://drive.usercontent.google.com/download?id=1JZ2RXv26YHmVRSTKaJHwQ6dqMZR9nJ5A&authuser=0&acrobatPromotionSource=gdrive_chrome-list
4. Власюк, Ю. С.; Стефанишин, Д. В. Про проблеми та перспективи малої гідроенергетики в Україні. *Математичне моделювання в економіці*, 2018, 1: 126-138. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=mmve_2018_1_13
5. Данильченко, О. С.; Кисорець, М. В. Історія становлення та сучасний стан малої гідроенергетики України та Сумської області. *І. Сучасні аспекти біологічних досліджень*, 2018, 112. URL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://pgf.sspu.edu.ua/images/2020/Zbirnyk_2018_orig_2_3535a.pdf

6. Діхтяр, Софія. Гідроенергетика як чинник трансформації географічного середовища. *Молодий вчений*, 2025, 6 (137). URL: <https://molodyivchenyi.ua/index.php/journal/article/view/6508>

7. Загальні методичні рекомендації з підготовки, оформлення, захисту та оцінювання кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) і другого (магістерського) рівнів. Тернопіль: ЗУНУ, 2024. 83 с.

8. Закорчевна, Н. Б.; Нагорнева, Н. А. Сучасний стан малої гідроенергетики в Україні. *Екологічні науки*, 2021, 3: 86-95. URL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgltclefindmkej/https://web.archive.org/web/20220224040218id_/http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2021/3/16.pdf

9. Зінь, Мирослав Михайлович; Підгайний, Юрій Борисович. Екологічні проблеми подальшого розвитку малої гідроенергетики в Україні. *Збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “*, 2018, 3: 29-30. URL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgltclefindmkej/https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/27715/2/VII_AZST_2018v3_Zin_M_M-Environmental_problems_for_29-30.pdf

10. Зінь, Мирослав Михайлович; Підгайний, Юрій Борисович. Сучасні тенденції розвитку малих ГЕС в Україні. *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій “до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя*, 2020, 203-203. URL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgltclefindmkej/https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/31793/2/FAPMT_2020_Zin_M_M-Current_trends_in_the_development_203.pdf

11. Коваль, Вадим Петрович; Зінь, П. М. Підвищення енергоефективності низьконапірних мікрогес невеликої потужності з трубними осьовими гідротурбінами. *Збірник тез доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі*

сучасних технологій “, 2024, С. 285-286. URL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/47809/2/MNPK_2024_Koval_V_P-Increasing_energy_efficiency_285-286.pdf

12. Левіна, Галина. Стислий огляд законодавства України щодо основних засад розвитку малої гідроенергетики. 46 с. URL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://energyukraine.org/wp-content/uploads/2018/05/Oglyad-zak-va_MGE_2018-chastyna-1.pdf

13. Мельник, Олександр Олексійович. Перспективи розвитку малої гідроенергетики в Україні. In: *The 5th International scientific and practical conference “Innovations and prospects of world science” (December 29-31, 2021) Perfect Publishing, Vancouver, Canada. 2021. 1109 p. 2021. p. 290.* URL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://eprints.cdu.edu.ua/6850/1/%D0%97%D1%83%D0%B1%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20%D0%9E.%D0%93.%2C%20%D0%91%D1%96%D0%BB%D1%8F%D1%94%D0%B2%D0%B0%20%D0%9A.%D0%9E.%20%D0%92%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D1%81%D1%82%D1%96%D0%B9%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%96%20%D0%BA%D1%83%D0%BA%D1%83%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%B7%D0%B8%20%D0%B4%D0%BE%20%D0%BF%20science.%2057-682021%20.pdf

14. Ободовський, О.; Кривець, О. Аналітичний огляд та перспективи досліджень у галузі малої гідроенергетики та гідроенергетичного потенціалу річок України. *Наведено результати геологічних, стратиграфічних, палеонтологічних, гідрогеологічних, геофізичних і геоінформаційних досліджень. Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів. Видання індексується в наукометричних базах даних Web of Science (квартиль 4), Academic Resource Index Research Bib та Google Scholar. Категорія А Міністерства освіти і науки України., 2023, 1.* URL: https://www.researchgate.net/profile/Yelena-Pogorelova/publication/376807545_Visnik_Geologia_No100/links/662b61be9d2a69723f676a17/Visnik-Geologia-No100.pdf#page=124

15. Павлов, Г. О.; Кулагін, Д. О. Оцінка гідроенергетичного потенціалу малих річок України та стану і перспектив розвитку малої гідроенергетики. *Вчені записки*, 62019203. URL: chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2019/6_2019/part_1/39.pdf
16. Савчук, Д. П.; Харламов, О. І.; Котикович, І. В. Малі ГЕС України: минуле та перспективи. *Збірник тез*. URL: https://www.researchgate.net/profile/Ludmila-Vorotyntseva/publication/379814938_Integrated_management_of_water_and_soil_resources_for_the_sustainable_use_of_reclaimed_land_Integrovane_upravlinna_vodni_mi_i_gruntovimi_resursami_zadla_stalogo_vikoristanna_meliorovanih_zemel/links/67ae4f4096e7fb48b9c161c2/Integrated-management-of-water-and-soil-resources-for-the-sustainable-use-of-reclaimed-land-Integrovane-upravlinna-vodnimi-i-gruntovimi-resursami-zadla-stalogo-vikoristanna-meliorovanih-zemel.pdf#page=233
17. Стефанишин, Д. В.; Власюк, Ю. С. До питання порівняльного аналізу водноенергетичних характеристик малих і великих гідроелектростанцій України у складі гідровузлів з водосховищами. *Математичне моделювання в економіці*, 2018, 2: 71-83. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=mmve_2018_2_8
18. Стефанишин, Д. В.; Власюк, Ю. С.; Бенатов, Д. Е. Про оцінку впливу на довкілля малих гідроелектростанцій в Україні. 2019. URL: https://www.researchgate.net/profile/Mykhailo-Fyk/publication/333295331_TEZI_IVE_052019/links/5ce58dc8458515712ebb77d7/TEZI-IVE-052019.pdf#page=478
19. Ткач Д. І.1, Васильєва О. В.2, Ткач Д. К. Інноваційний потенціал малої гідроенергетики України для забезпечення енергетичної безпеки країни. *Vidnovluyana energetika*, 2026, 1 (84): 284-299. URL: <https://ve.org.ua/index.php/journal/article/view/612/523>

20. Чумаченко, О. Г. Економічні перспективи малої гідроенергетики як складової ВДЕ України. *Наукові праці Міжрегіональної Академії управління персоналом. Економічні науки*, 2022, 3 (66): 97-101. URL: <https://journals.maur.com.ua/index.php/economics/article/view/2238>
21. Яковець Т.А. мотиваційні чинники впроваджень малих гідроелектростанцій: еколого-економічна проблематика/Т.А. Яковець/Соціально-економічні проблеми розвитку регіонів: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Житомир, 24 травня 2018 року. Житомир: ЖНАЕУ, 2018. С. 80-85 URL: <https://dspace.wunu.edu.ua/items/35ab8d4a-f76b-41fc-be54-81a3c4aae845>
22. Ali, Asad, et al. Small hydropower generation using pump as turbine; a smart solution for the development of Pakistan's energy. *Heliyon*, 2023, 9.4. URL: [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(23\)02200-4](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(23)02200-4)
23. Athayde, Simone, et al. Improving policies and instruments to address cumulative impacts of small hydropower in the Amazon. *Energy Policy*, 2019, 132: 265-271. URL: <https://sci-hub.box/10.1016/j.enpol.2019.05.003>
24. Couto, Thiago Ba; Messenger, Mathis L.; Olden, Julian D. Safeguarding migratory fish via strategic planning of future small hydropower in Brazil. *Nature Sustainability*, 2021, 4.5: 409-416. URL: <https://www.nature.com/articles/s41893-020-00665-4>
25. Couto, Thiago Ba; Olden, Julian D. Global proliferation of small hydropower plants—science and policy. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2018, 16.2: 91-100. URL: <https://sci-hub.box/10.1002/fee.1746>
26. Hammid, Ali Thaeer; Sulaiman, Mohd Herwan Bin; Abdalla, Ahmed N. Prediction of small hydropower plant power production in Himreen Lake dam (HLD) using artificial neural network. *Alexandria engineering journal*, 2018, 57.1: 211-221. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S111001681630343X>
27. Hatata, A. Y.; El-Saadawi, M. M.; Saad, S. A feasibility study of small hydro power for selected locations in Egypt. *Energy Strategy Reviews*, 2019, 24: 300-313. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X19300409>

28. Kelly-Richards, Sarah, et al. Governing the transition to renewable energy: A review of impacts and policy issues in the small hydropower boom. *Energy Policy*, 2017, 101: 251-264. URL: <https://sci-hub.box/10.1016/j.enpol.2016.11.035>
29. Kelly, Sarah. Megawatts mask impacts: Small hydropower and knowledge politics in the Puelwillimapu, Southern Chile. *Energy Research & Social Science*, 2019, 54: 224-235. URL: <https://sci-hub.box/10.1016/j.erss.2019.04.014>
30. Kishore, Teegala Srinivasa, et al. A comprehensive study on the recent progress and trends in development of small hydropower projects. *Energies*, 2021, 14.10: 2882. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/10/2882>
31. Klein, S. J. W.; Fox, E. L. B. A review of small hydropower performance and cost. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2022, 169: 112898. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032122007808>
32. Lange, Katharina, et al. Basin- scale effects of small hydropower on biodiversity dynamics. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2018, 16.7: 397-404. URL: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/fee.1823>
33. Lange, Katharina, et al. Small hydropower goes unchecked. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2019, 17.5: 256-258. URL: <https://www.jstor.org/stable/26675020>
34. Manzano-Agugliaro, Francisco, et al. An overview of research and energy evolution for small hydropower in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 75: 476-489. URL: <https://sci-hub.box/10.1016/j.rser.2016.11.013>
35. Pop S. S. Transcarpathian region hydropower: status and prospects of development. *Ukrainian geographical journal*. 2015. Vol. 2015, no. 2. P. 65–71. URL: <https://doi.org/10.15407/ugz2015.02.065>
36. Skrypnik A., Zhemoida O., Holiachuk O. Transfer of energy inefficiency: cheap hydropower at the expense of farmers. *Ekonomika APK*. 2021. Vol. 315, no. 1. P. 72–83. URL: <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202101072>

37. Sritram, Piyawat; Suntivarakorn, Ratchaphon. Comparative study of small hydropower turbine efficiency at low head water. *Energy Procedia*, 2017, 138: 646-650. URL:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021735124X>

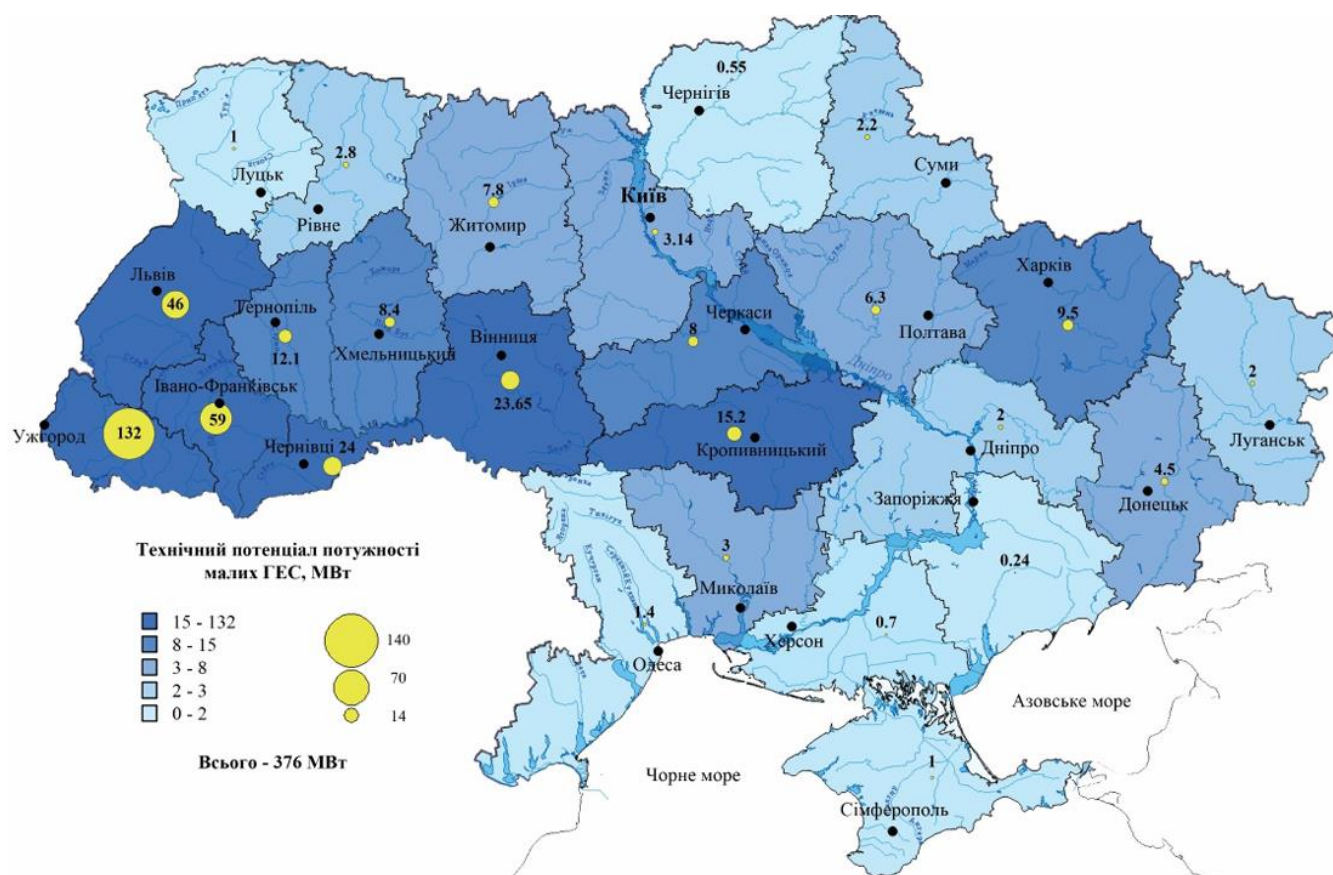
38. Yah, Nor F.; Oumer, Ahmed N.; Idris, Mat S. Small scale hydro-power as a source of renewable energy in Malaysia: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 72: 228-239. URL: <https://sci-hub.box/10.1016/j.rser.2017.01.068>

39. Zhang, Zifan, et al. Highly applicable small hydropower microgrid operation strategy and control technology. *Energy Reports*, 2020, 6: 3179-3191. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484720312877>

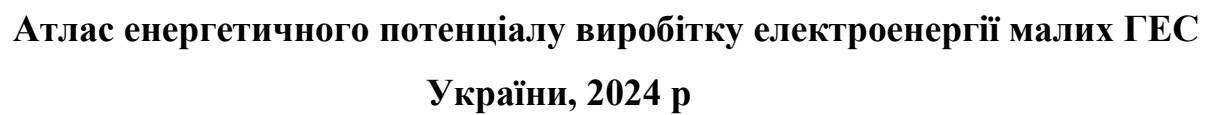
40. Zhou, Yanlai, et al. Prospect for small-hydropower installation settled upon optimal water allocation: An action to stimulate synergies of water-food-energy nexus. *Applied energy*, 2019, 238: 668-682. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261919300716>

ДОДАТКИ

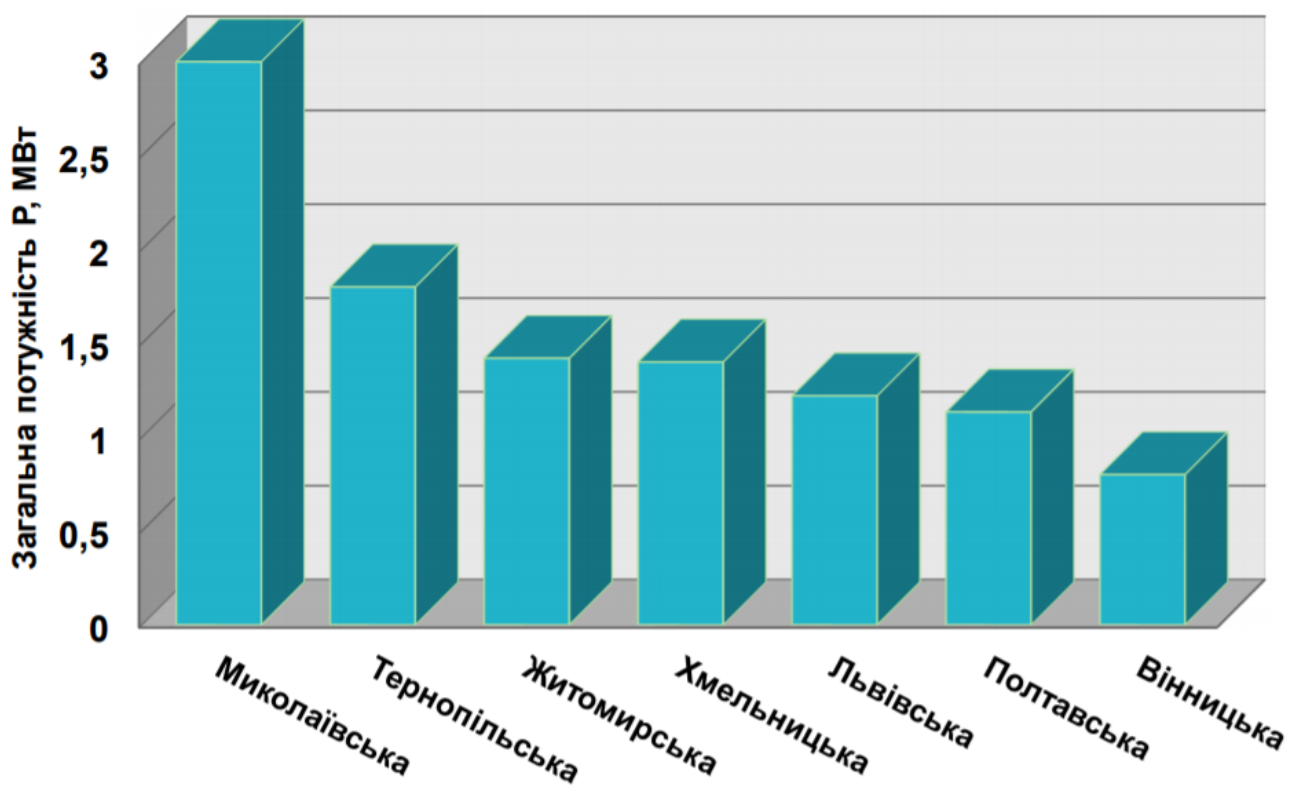
Додаток А



**Атлас енергетичного потенціалу потужностей малих ГЕС України,
2024 р**



Атлас енергетичного потенціалу виробітку електроенергії малих ГЕС України, 2024 р



Малі ГЕС, які потребують відновлення