

ІННОВАЦІЙНИЙ ПОТЕНЦІАЛ МАЛОЇ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ КРАЇНИ

Отримано 21 жов. 2025 р.; рекомендовано до публікації 23 бер. 2026 р.
Доступно онлайн 31 бер. 2026 р.

Ткач Д. І.¹, Васильєва О. В.², Ткач Д. К.³

Автор для кореспонденції: Ткач Дмитро,
e-mail: DmitriyT@krok.edu.ua

Анотація. Стаття присвячена комплексному аналізу інноваційного потенціалу малої гідроенергетики як стратегічного інструменту забезпечення енергетичної безпеки України в умовах воєнних викликів та повоєнного відновлення енергетичної системи. Досліджено технологічні переваги малих гідроелектростанцій (МГЕС) порівняно з великими ГЕС та іншими джерелами енергії, зокрема: децентралізований характер генерації, відносно швидкі терміни будівництва, мінімальний вплив на довкілля, можливість використання існуючої гідротехнічної інфраструктури, стабільність виробництва електроенергії. Проаналізовано наявний гідроенергетичний потенціал річок України, виявлено перспективні локації для розміщення МГЕС у різних регіонах країни з урахуванням гідрологічних, екологічних та економічних чинників. У роботі детально розглянуто економічні аспекти розвитку малої гідроенергетики, включно з аналізом левелізованої вартості електроенергії (LCOE), капітальних та операційних витрат, термінів окупності інвестицій, потенційного внеску в енергобаланс країни та ефекту від декарбонізації економіки. Представлено порівняльний аналіз екологічних характеристик МГЕС із традиційними джерелами енергії, оцінено вплив на водні екосистеми, можливості збереження біорізноманіття та мінімізації негативних наслідків будівництва гідротехнічних споруд. Особлива увага приділена аналізу міжнародного досвіду розвитку малої гідроенергетики у провідних країнах світу (Китай, Норвегія, Австрія, Швейцарія, Канада), механізмам державної підтримки та стимулювання інвестицій у відновлювану енергетику. Досліджено регуляторні виклики, пов'язані з необхідністю спрощення процедур ліцензування та отримання дозволів для будівництва МГЕС, адаптації «зеленого» тарифу та механізмів підтримки відновлюваної енергетики до сучасних реалій. Обґрунтовано, що розвиток малої гідроенергетики може стати ключовим чинником диверсифікації енергетичного балансу, підвищення стійкості енергосистеми до зовнішніх загроз, забезпечення енергетичної автономії регіонів та сприяння сталому розвитку сільських територій. Результати дослідження формують науково-практичну основу для розробки національної стратегії розвитку малої гідроенергетики та визначення пріоритетних напрямів інвестування у відновлювану енергетику в контексті повоєнного відновлення та досягнення кліматичних цілей України.

Ключові слова: мала гідроенергетика, енергетична безпека, відновлювані джерела енергії, децентралізована генерація, гідроенергетичний потенціал, левелізована вартість електроенергії, сталий розвиток, Україна.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Метою статті є дослідження інноваційного потенціалу малої гідроенергетики України в контексті посилення енергетичної безпеки держави та забезпечення сталого розвитку енергетичної системи. Особлива увага приділяється виявленню технологічних, інституційних та економічних чинників, що визначають ефективність впровадження малих гідроелектростанцій (МГЕС) у структурі національної енергетики, а також аналізу бар'єрів і перспектив інтеграції інноваційних рішень у цей сектор.

Для досягнення поставленої мети передбачено виконання таких завдань:

¹ д-р. політ. наук, професор
<https://orcid.org/0000-0002-6947-2036>

² канд. екон. наук, доцент
<https://orcid.org/0000-0001-7502-5702>

³ д-р. філос. з економіки
<https://orcid.org/0009-0009-1401-3324>

¹ ВНЗ «Університет економіки та права «КРОК», м. Київ, Україна

^{2,3} Центр інновацій та технологічного розвитку, ДУ «ІДНТПІН ім. Г. М. Доброва НАН України», м. Київ, Україна

1. Проаналізувати сучасний стан та тенденції розвитку малої гідроенергетики в Україні.
2. Визначити основні інноваційні напрями модернізації технологій виробництва електроенергії на малих ГЕС.
3. Оцінити внесок малої гідроенергетики у забезпечення енергетичної безпеки на регіональному та національному рівнях.
4. Вивчити міжнародний досвід розвитку малих ГЕС і можливості його адаптації в українських умовах.
5. Сформулювати практичні рекомендації щодо стимулювання інновацій у секторі малої гідроенергетики.

Методологічну основу дослідження становлять загальнонаукові та спеціальні методи економічного аналізу, зокрема:

- системний підхід – для виявлення взаємозв'язків між інноваційними, технічними та регуляторними аспектами розвитку малої гідроенергетики;
- методи порівняльного аналізу – для узагальнення міжнародного досвіду;
- економіко-статистичний аналіз – для оцінки динаміки галузі; аналітичне узагальнення – для формування висновків і практичних пропозицій.

У межах дослідження використано дані Міністерства енергетики України, Міжнародного агентства з відновлюваної енергії (IRENA), Європейської комісії, а також відкриті статистичні матеріали Світового банку та Міжнародного енергетичного агентства (IEA).

ВСТУП

Енергетична безпека держави є критичним чинником національної безпеки, економічного розвитку та соціальної стабільності, особливо в умовах сучасних геополітичних викликів. За даними Міністерства енергетики України, станом на початок 2025 року внаслідок систематичних ракетних обстрілів було знищено або пошкоджено понад 50% генеруючих потужностей країни. Це призвело до масштабних блекаутів та енергетичної кризи, що спричинило запровадження графіків аварійних відключень для стабілізації електропостачання. Міністерство зазначає, що енергетики активно працюють над відновленням інфраструктури, застосовують резервні схеми перепідключення та прагнуть мінімізувати час відключень. Інформація щодня оновлюється і підтримується у координації з усіма службами для швидкого відновлення енергопостачання.

Традиційна централізована енергетична система України, побудована у радянський період, виявилася надзвичайно вразливою до цілеспрямованих атак. Великі теплові та атомні електростанції, а також об'єкти магістральної енергетичної інфраструктури стали пріоритетними цілями для противника. Водночас великі гідроелектростанції, зокрема каскад Дніпровських ГЕС, також зазнали ракетних ударів, що підтверджує необхідність диверсифікації енергетичних джерел та розвитку децентралізованої генерації.

У цьому контексті мала гідроенергетика розглядається як один із найперспективніших напрямів розвитку відновлюваної енергетики України. Малі гідроелектростанції (МГЕС) – це гідроенергетичні об'єкти встановленою потужністю до 10 МВт (за класифікацією ЄС) або до 30 МВт (за класифікацією МАГАТЕ), що використовують енергію водотоків для виробництва електроенергії без створення великих водосховищ або з мінімальним впливом на гідрологічний режим річок.

Актуальність дослідження інноваційного потенціалу малої гідроенергетики для України зумовлена кількома стратегічними чинниками:

По-перше, необхідністю створення децентралізованої, стійкої до зовнішніх загроз енергетичної системи. МГЕС

можуть забезпечити енергетичну автономію окремих населених пунктів, промислових об'єктів та сільських територій, зменшуючи залежність від централізованого електропостачання.

По-друге, потреба в терміновому відновленні зруйнованих генеруючих потужностей у післявоєнний період робить малі гідроелектростанції (МГЕС) особливо привабливим рішенням. МГЕС відрізняються від великих ГЕС значно меншими масштабами, що визначає їхні відносно короткі терміни будівництва – зазвичай від 1 до 3 років, порівняно з 5–10 роками, необхідними для великих гідроенергетичних об'єктів. Відповідно, капітальні витрати на МГЕС істотно менші, проте ця перевага безпосередньо пов'язана із меншою встановленою потужністю таких станцій. Саме це забезпечує можливість швидкого запуску нових об'єктів та їх масштабованості, що є критично важливим в умовах обмеженого фінансування та необхідності швидкого відновлення енергосистеми країни. Приклади реалізації проєктів МГЕС в Україні підтверджують такі терміни будівництва і вкладаються в названі часові рамки, що робить їх ефективним інструментом сталого розвитку та енергетичної безпеки на регіональному рівні.

По-третє, євроінтеграційними зобов'язаннями України щодо декарбонізації економіки та досягнення кліматичної нейтральності до 2060 року відповідно до Паризької угоди. Розвиток відновлюваної енергетики, включаючи малу гідроенергетику, є ключовою складовою енергетичного переходу.

По-четверте, значним невикористаним гідроенергетичним потенціалом малих річок України. За оцінками експертів Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України (2024), технічно доступний потенціал малої гідроенергетики в Україні становить близько 1500–2000 МВт, при цьому освоєно менш ніж 10% цього ресурсу. Використання потенціалу малих річок є перспективним напрямом для розвитку відновлюваної енергетики, особливо в контексті післявоєнного відновлення енергосистеми [1].

По-п'яте, можливістю відновлення історичної інфраструктури. На території України збереглися сотні малих гідровузлів та греблі, побудовані у XIX – першій половині XX століття, які можуть бути модернізовані та обладнані сучасними гідротурбінами.

Метою статті є комплексний аналіз інноваційного потенціалу малої гідроенергетики для забезпечення енергетичної безпеки України та обґрунтування науково-практичних рекомендацій щодо розвитку цього сектору відновлюваної енергетики.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Проблематика розвитку малої гідроенергетики є об'єктом міждисциплінарних досліджень, що охоплюють технічні, економічні, екологічні та соціальні аспекти. У світовій науковій літературі накопичено значний досвід вивчення потенціалу та перспектив малої гідроенергетики.

Малі гідроелектростанції (зі встановленою потужністю до 10 МВт) загалом вважаються такими, що мають

менший вплив порівняно з великими електростанціями, що стимулювало їх швидке поширення; при цьому потенціал їх розвитку залишається невичерпаним. Це досліджували QUARANTA E., BODIS K., KASIULIS E., MCNABOLA A., PISTOCCHI A., [2]. Економічні аспекти малої гідроенергетики проаналізовано Paish O. (2022), який порівняв левелізовану вартість електроенергії (LCOE) від МГЕС із іншими відновлюваними джерелами та встановив, що за умови оптимального вибору локації LCOE для малої гідроенергетики може становити \$40–80/МВт-год, що є конкурентоспроможним з вітровою та сонячною енергетикою [3].

Екологічні наслідки будівництва МГЕС розглянуто у роботах Anderson D., Moggridge H., Warren P., Shucksmith J. (2021), які дослідили вплив малих гідроелектростанцій на водні екосистеми та біорізноманіття. Автори розробили концепцію «екологічно чутливого проектування» МГЕС, що мінімізує негативні наслідки для іхтіофауни та забезпечує екологічний стік [4].

У вітчизняній науковій літературі проблематика малої гідроенергетики досліджується недостатньо. Кузнєцов М.Д. [5], в аналітичному документі під редакцією Р. Б. Гаврилюка та Г. К. Веремійчика розглянуто історію становлення гідроенергетики України та динаміку її впливу на довкілля, наслідки та потенційні загрози ставлення до річок України виключно, як до гідроенергетичного ресурсу, європейські практики використання гідроенергетичного потенціалу, сучасне бачення екосистемних послуг річок та майбутнього гідроенергетики в контексті інтегрованого управління водними ресурсами за басейновим принципом [6].

Оксана Станкевич-Волосянчук досліджує тему гідроенергетики у Карпатах та робить висновок про те, що мікрогідроенергетика мало цікава бізнесу, бо вона не націлена на отримання прибутків. Однак вона має зацікавити насамперед громади. Адже разом з кому-

нальними гібридними СЕС, мікроГЕС можуть стати основою енергонезалежності місцевих громад [7].

Д. В. Стефанишин, Ю. С. Власюк проаналізували перспективи розвитку малої гідроенергетики України та їх екологічний та технічний аспекти [8]. Однак попри наявність окремих публікацій, комплексного дослідження інноваційного потенціалу малої гідроенергетики України з урахуванням сучасних викликів енергетичної безпеки, технологічних можливостей, економічної ефективності та екологічних аспектів практично не проводилося, що зумовлює актуальність даної статті.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

1. Гідроенергетичний потенціал малих річок України

Україна має розгалужену мережу малих та середніх річок, які створюють значний потенціал для розвитку малої гідроенергетики. За даними Державного агентства водних ресурсів України, на території країни налічується понад 63 тисячі річок загальною довжиною близько 206 тисяч кілометрів. З них близько 99 % становлять малі річки довжиною менше 100 км [9].

Нині в Україні гідроенергетичні ресурси забезпечують річний виробіток електроенергії всіма ГЕС в середньому 11 млрд кВт·г із загальною потужністю 4,8 млн кВт, в зокрема малі ГЕС (до 10 МВт) – всього 0,1 млн кВт (2,1 % загальної потужності) з виробітком 0,23 млрд кВт·г (2,3 % загального виробітку) [10].

Економічний потенціал – це частина технічного потенціалу, освоєння якого є економічно доцільним за поточних економічних умов та цін на електроенергію. Оцінки економічного потенціалу варіюються залежно від прийнятих припущень щодо вартості будівництва, тарифів на електроенергію, ставок дисконтування. За консервативними оцінками, економічний потенціал становить 40-50% від технічного, тобто близько 600–800 МВт [11].

Регіональний розподіл гідроенергетичного потенціалу.

Таблиця 1. Потенціал гідроенергетичних ресурсів малих річок в Україні

Області	Основні річки	Технічний потенціал потужності малих ГЕС, МВт	Технічний потенціал виробітку електроенергії малих ГЕС, млн кВт·год/рік
Івано-Франківська	Прут, Черемош, Лімниця, Бистриця	59	196,18
Закарпатська	Тиса, Боржава, Латориця, Уж	132	438,90
Львівська	Стрий, Опір, Свіча	46	152,95
Чернівецька	Прут, Сірет	24	79,80
Житомирська	Тетерів, Ірша	7,8	27,30
Рівненська	Горинь, Стир	2,8	9,80
Кіровоградська	Інгул, Ятрань, Турія	15,2	53,20
Тернопільська	Горинь Стрипа, Серет, Збруч	12,1	42,35
Сумська	Десна, Псел, Ворскла	2,2	7,70
Харківська	Сіверський Донець, Оскіл, Уди	9,5	33,25

Джерело: Складено автором на основі даних: 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.

Центральні та південні регіони України мають менший гідроенергетичний потенціал через рівнинний рельєф та нижчу водність річок, однак локально можуть існувати перспективні об'єкти, особливо на існуючих гідротехнічних спорудах (греблі ставків, водосховищ, іригаційних каналів). Далі розглянемо типи перспективних локацій для МГЕС.

Таблиця 2. Типи перспективних локацій для розвитку малих гідроелектростанцій в Україні

Тип локації	Характеристика та потенціал використання
Історичні гідровузли	У радянський період в Україні функціонувало понад 900 малих ГЕС, більшість із яких була закрита у 1960–1980-х роках через централізацію енергосистеми та дешеву генерацію на ТЕС і АЕС. Збережені греблі та гідротехнічні споруди можуть бути реконструйовані з використанням сучасних турбін при мінімальних капітальних витратах.
Існуючі водосховища та ставки	В Україні налічується понад 28 тисяч ставків і водосховищ, більшість із яких не використовується для генерації електроенергії. Встановлення МГЕС на існуючих греблях не потребує затоплення нових територій і має незначний екологічний вплив.
Іригаційні канали та водоводи	Технічна вода, що транспортується каналами для зрошення, водопостачання або промислових потреб, може бути використана для виробництва електроенергії у форматі «мікро-ГЕС» потужністю до 100 кВт. Такі проекти характеризуються низькими витратами та коротким терміном окупності.
Перепади на річках	Природні пороги, водоспади або штучно створені перепади висот забезпечують можливість будівництва руслових або дериваційних МГЕС із локальним енергетичним значенням

Джерело: Складено автором на основі даних Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України, <https://sae.gov.ua/>, Міжнародного агентства з відновлюваної енергії (IRENA), <https://www.irena.org/> та відкритих статистичних матеріалів Світового банку (World Bank Open Data, <https://data.worldbank.org>)

2. Технологічні інновації у малій гідроенергетиці

Сучасна мала гідроенергетика характеризується значним технологічним прогресом, що підвищує ефективність, знижує вартість та мінімізує екологічний вплив МГЕС:

Інноваційні типи гідротурбін:

Каплановані та пропелерні турбіни нового покоління з автоматичним регулюванням кута нахилу лопатей забезпечують високу ефективність у широкому діапазоні витрат води.

Турбіни з вертикальною віссю обертання для використання кінетичної енергії течії річки без створення греблі. Ця технологія перебуває у стадії комерціалізації та має потенціал для застосування на рівнинних річках.

Мікротурбіни для дуже малих напорів (0,5-2 м) дозволяють використовувати енергію невеликих струмків та каналів.

Автоматизація та цифровізація. Системи віддаленого моніторингу та управління дозволяють експлуатувати МГЕС без постійного перебування персоналу на об'єкті, що критично знижує операційні витрати. Прогнозування виробництва на основі метеорологічних даних та гідрологічних моделей дає можливість планувати роботу МГЕС та інтегрувати їх у енергосистему. Інтелектуальні системи управління турбінами оптимізують роботу обладнання залежно від водності, забезпечуючи максимальну ефективність виробництва.

Екологічні інновації. Рибопропускні споруди нового покоління – рибоходи, рибопідйомники, обхідні канали, які

забезпечують міграцію риби під час нересту без шкоди для популяцій. Системи забезпечення екологічного стоку – автоматичні пристрої, що гарантують мінімальний стік води нижче за течією від ГЕС для підтримання життєдіяльності водної екосистеми. Екоскрінг – спеціальні решітки, що запобігають потраплянню риби у турбіну.

3. Розрахунки економічної ефективності проектів малої гідроенергетики. Економічна доцільність будівництва МГЕС залежить від низки факторів: гідрологічних характеристик локації, вартості будівництва, тарифів на електроенергію, термінів експлуатації та ставки дисконтування.

Аналіз левелізованої вартості електроенергії (LCOE)[12].:

$$LCOE = (CAPEX \times CRF + OPEX_{\text{annual}}) / E_{\text{annual}} \quad (1)$$

де:

- LCOE – левелізована вартість електроенергії, USD/МВт·год
- CAPEX – капітальні витрати, USD
- CRF – коефіцієнт відшкодування капіталу
- OPEX_{annual} – щорічні операційні витрати, USD/рік
- E_{annual} – щорічне виробництво електроенергії, МВт·год/рік

Коефіцієнт відшкодування капіталу:

$$CRF = [r(1+r)^t] / [(1+r)^t - 1] \quad (2)$$

де:

- r – ставка дисконтування
- t – термін експлуатації, роки

Типовий розрахунок для МГЕС потужністю 1 МВт:

Вхідні дані:

- Встановлена потужність: $P = 1000$ кВт
- Коефіцієнт використання встановленої потужності: $KBIB = 0,40$ (типовий для Карпатського регіону)
- Капітальні витрати: $CAPEX = 2,5$ млн USD (2500 USD/кВт – середня вартість для МГЕС з використанням існуючої інфраструктури)
- Щорічні операційні витрати: $OPEX = 50$ тис. USD/рік (2% від CAPEX)
- Термін експлуатації: $t = 40$ років (МГЕС мають дуже тривалий термін служби)
- Ставка дисконтування: $r = 0,08$ (8%)

Розрахунок:

Коефіцієнт відшкодування капіталу: $CRF = [0,08(1+0,08)^{40}] / [(1+0,08)^{40} - 1] \approx 0,084$

Щорічне виробництво електроенергії: $E_{\text{annual}} = P \times KBIB \times 8760 \text{ год} = 1000 \text{ кВт} \times 0,40 \times 8760 = 3\,504\,000$ кВт·год = 3504 МВт·год

Щорічні витрати на обслуговування капіталу: $\text{Capital Cost}_{\text{annual}} = 2,5 \text{ млн} \times 0,084 = 0,210 \text{ млн USD}$

Загальні щорічні витрати: $\text{Total Cost}_{\text{annual}} = 0,210 + 0,050 = 0,260 \text{ млн USD}$

Левелізована вартість: $LCOE = 260\,000 / 3504 = 74,2$ USD/МВт·год

Порівняння з іншими джерелами:

- Вітрова енергетика: 60-90 USD/МВт·год
- Сонячна енергетика: 50-80 USD/МВт·год
- Велика гідроенергетика: 40-70 USD/МВт·год
- Комбінований цикл (газ): 60-100 USD/МВт·год
- Вугільна генерація: 70-120 USD/МВт·год[13]. Таким чином, мала гідроенергетика є конкурентоспроможним джерелом електроенергії, особливо з урахуванням переваг базової генерації (на відміну від нестабільних сонця та вітру).

Термін окупності проекту:

При середньому тарифі на електроенергію для МГЕС 0,12 USD/кВт·год (згідно з «зеленим» тарифом до 2030 року):

Річний дохід = $3504 \text{ МВт·год} \times 120 \text{ USD} = 420\,480 \text{ USD}$

Термін окупності (простий) = $2,5 \text{ млн} / (0,420 - 0,050 \text{ млн}) \approx 6,8$ років

З урахуванням дисконтування термін окупності становить близько 9-10 років, що є прийнятним показником для інфраструктурних проектів.

4. Екологічні аспекти розвитку малих ГЕС в Україні. Розвиток малих гідроелектростанцій (малі ГЕС) у водозборі України забезпечує відновлюваний виробничий ресурс з відносно низькими прямими викидами парникових газів у період експлуатації, що сприяє зниженню загального

вуглецевого сліду енергетичного сектора порівняно з генерацією на викопному паливі. Водночас вплив малих ГЕС на водні екосистеми має бути оцінений на місцевому рівні та врахований у проектуванні. Основні екологічні ризики пов'язані з порушенням міграційних шляхів іхтіофауни, зміненням гідрологічного режиму, накопиченням і перерозподілом осадів, а також трансформацією прибережних і руслових ландшафтів. Для їх мінімізації застосовують технічні рішення (проекування рибопропускних споруд, рибохідних каналів, екологічних скидів), управлінські заходи (регламентація санітарних та екологічних попусків) і моніторинг стану біорізноманіття та осадонакопичення [14].

Проблема пропуску риби є однією з найпоширеніших для малих ГЕС. Відсутність або неадекватне виконання рішень для міграції риб призводить до локального зниження чисельності мігруючих видів та порушення трофічних зв'язків у річкових системах. Ефективна міграційна інженерія включає комбіновані рішення: нерестові проходи, дефлектори потоку, адаптивне керування попуском та заходи з відновлення придонних структур. Седиментація у створених ставках і за греблями змінює транспорт донного матеріалу, що зменшує об'єм водосховищ і негативно впливає на придонні біоценози. Стратегії управління осадами включають планові операції видалення мулу, проектування об'ємів резервації для осадів, системи обхідного пропуску осадів або періодичні регламентні попуски для промивання русла. Комплексні підходи з урахуванням ерозійного навантаження в басейні (робота з землеустроєм та лісокультурою вище по течії) підвищують довговічність споруд.

Зміни гідрологічного режиму внаслідок регулювання стоку можуть призводити до флуктуацій рівнів води нижче греблі, що погіршує умови для прибережної рослинності та може змінювати умови зародження і росту водних організмів. Для запобігання цього застосовують встановлення мінімальних екологічних витрат (екологічні попуски), програмне обмеження швидкості та амплітуди гідропіків та обґрунтоване поєднання виробничих графіків з біологічними циклами місцевої фауни [15].

Ландшафтні та соціально-економічні зміни в прибережній зоні вимагають проектних рішень, що передбачають інтеграцію споруд у навколишнє середовище, мінімізацію затоплення прибережних земель, відновлення водно-болотних екосистем і прозору комунікацію з місцевими громадами щодо компенсаційних заходів та доступу до водних ресурсів.

Оцінка впливу на довкілля (ОВД) має бути обов'язковою і виконуватися відповідно до чинного законодавства України; звіти ОВД мають включати вимірювання біорізноманіття, гідрологічних показників, моделі переносу осадів, оцінку ризиків та план управління екологічними і соціальними наслідками (ESMP). У практиці України відзначають проблеми якості деяких звітів ОВД для малих ГЕС, що підкреслює потребу в підвищенні стандартів оцінювання та валідації результатів незалежними експертами.

Частина досліджень показує, що при дотриманні належних проектних і експлуатаційних вимог вплив малих ГЕС на хімічні параметри води може бути обмеженим, проте біологічні та морфологічні зміни залишаються критичними для оцінки прийнятності проекту. Отже, рішення щодо будівництва малих ГЕС слід приймати на підставі комплексної багатокритеріальної оцінки, яка поєднує енергетичну ефективність, екологічну безпеку та соціальну прийнятність [16].

Дискусія: малі ГЕС можуть бути частиною стратегії декарбонізації та енергетичної стійкості за умови обов'язкового проведення якісної ОВД, застосування інженерних рішень для збереження іхтіофауни і транспорту осадів, встановлення екологічних попусків та організації довгострокового моніторингу екосистем. Рішення щодо конкретних проектів має базуватись на доказовій базі та відповідати національному законодавству та міжнародним рекомендаціям.

Регуляторні виклики розвитку малих ГЕС в Україні. Розвиток малих гідроелектростанцій в Україні ускладнюється фрагментацією нормативно-правового поля і неузгодженістю між різними галузевими законами, що призводить до дублювання вимог при отриманні дозволів на використання водних ресурсів, будівництво та експлуатацію енергетичних об'єктів; для реалізації проекту часто потрібні дозволи з питань водокористування, містобудування, екології та енергетики, що збільшує адміністративні витрати і строки реалізації. Тарифна невизначеність після реформ ринку електроенергії – зокрема перехід від фіксованих стимулів («зелений тариф») до ринкових механізмів та аукціонів – знизил інвестиційну привабливість малих ГЕС через відсутність гарантованих довгострокових доходів, що особливо критично для капіталомістких проектів з тривалим строком окупності.

Регулювання у сфері ОВД (оцінки впливу на довкілля) формально наявне, але на практиці трапляються випадки недостатньої якості звітів, проблеми з інтеграцією результатів ОВД у містобудівну документацію та відсутність належного механізму контролю й відповідальності за виконання екологічних умов; це підвищує ризики реалізації проектів без повного урахування екологічних наслідків. Недостатня цифровізація дозволів і відсутність єдиного державного реєстру малих ГЕС ускладнюють моніторинг технічного стану та екологічних зобов'язань, перешкоджають стратегічному плануванню і створюють ризики несанкціонованого будівництва [17]. Неузгодженість водного та енергетичного законодавства, а також розпорошеність повноважень між Держводагентством, Міндовкіллям та енергетичними регуляторними структурами створює правову невизначеність щодо тривалості прав користування водними ресурсами, умов ліцензування та відповідальності у разі екологічних порушень.

Міжнародні стандарти та інструменти збереження сталості гідроенергетики (Hydropower Sustainability Standard; Hydropower Sustainability Guidelines) пропонують комплексні підходи до оцінки екологічних, соціальних і

управлінських ризиків, але їх застосування в Україні обмежується відсутністю національної адаптації та обов'язкових вимог до відповідності цим стандартам. Рекомендовані регуляторні заходи включають: уніфікацію визначень та технічних критеріїв для малих ГЕС у законодавстві; спрощення і цифровізацію дозвільних процедур через єдиний електронний портал; запровадження прозорих довгострокових механізмів фінансової підтримки (контракти на різницю або аукціони з гарантіями); створення єдиного реєстру малих ГЕС з даними про технічний стан і екологічні зобов'язання; імплементацію міжнародних стандартів сталості як орієнтирів при ОВД та проектуванні; чітке розподілення повноважень між регуляторними органами та посилення практики публічних консультацій з місцевими громадами.

Міжнародний досвід розвитку малих гідроелектростанцій. Аналіз світових практик показує кілька успішних моделей розвитку малих гідроелектростанцій, які можуть бути корисними для адаптації у контексті України.

У рамках European Renewable Energies Federation (EREF) зазначено, що малі ГЕС (встановлена потужність до ~10 МВт) у Європейському Союзі відіграють важливу роль у декарбонізації енергосистеми, забезпечуючи відновлювану, керовану генерацію з високим ККД (до понад 85 %) і гнучкістю для інтеграції змінних джерел. Водночас у ЄС підкреслюється важливість узгодження енергетичних та водних директив (наприклад, Водна рамкова директива (2000/60/ЄС)) та застосування інновацій (ретрофітінг існуючих малих ГЕС) для підвищення екологічної продуктивності [18].

У країнах з високим рівнем інтеграції поновлюваних джерел, зокрема у Норвегія та Швейцарія, малі ГЕС включені у локальні енергетичні системи як частина децентралізованої генерації та гнучких систем. Наприклад, у Швейцарії налічується понад 1 400 малих гідроелектростанцій із сумарною потужністю близько 1000 МВт, що становить приблизно 10–15 % гідрогенерації країни. У Норвегії компанії, що спеціалізуються на малих ГЕС (1–5 МВт), застосовують модульні турбіни, працюють у партнерстві з місцевими власниками ресурсів, забезпечуючи децентралізовану експлуатацію водного ресурсу.

У Канада і США спостерігається практика спрощення ліцензійних процедур для малопотужних гідроелектростанцій. Зокрема, у США Federal Energy Regulatory Commission (FERC) запровадила процеси ліцензування та звільнення («exemption») для малих/низьковпливних ГЕС з метою спрощення і пришвидшення затвердження. Також урядові звіти підкреслюють прагнення скоротити строки процесу ліцензування та позбавити зайвих процедур без шкоди для охорони довкілля [19].

У Китай застосовується комплексний підхід до розвитку гідроенергетики, включно з малими рішеннями та децентралізованою генерацією. За даними дослідження, на кінець 2019 року в країні налічувалось понад 46 785 гідроелектростанцій із сумарною встановленою потужністю ~2 376,9 млн кВт, з яких малим ГЕС приділяється

значна увага. У китайських керівних документах з питань розвитку малого гідроенергетичного сектору («Guiding Opinions for promoting the sustainable and healthy development of small hydropower») чітко заявлено про пріоритет «екологічного пріоритету» та інтеграцію водно-екологічних компонентів від планування до експлуатації [20]

Ці приклади можуть слугувати основою для адаптації і застосування в Україні з урахуванням її специфіки (гірські річки, малий масштаб, потреба в децентралізованих рішеннях).

ВИСНОВКИ

Проведений комплексний аналіз підтверджує, що розвиток малої гідроенергетики (МГЕС) в Україні є стратегічно важливим інструментом для забезпечення енергетичної безпеки, особливо в умовах воєнних викликів та необхідності децентралізації енергосистеми.

Стратегічне значення та економічна конкурентоспроможність. Децентралізація та стійкість. МГЕС, як децентралізовані об'єкти генерації, є менш вразливими до цілеспрямованих атак, ніж великі централізовані станції, що робить їх ключовим елементом стійкості енергосистеми. Їхній значний технічний потенціал (близько $\$1500-2000 \text{ MВт}\$$) та можливість використання існуючої інфраструктури (історичні гідровузли, греблі ставків) дозволяє швидко (за $\$1-3 \text{ роки}\$$) заповнювати втрати генеруючих потужностей. Економічна доцільність. За умови відновлення існуючої інфраструктури, мала гідроенергетика є конкурентоспроможним джерелом базової генерації. Аналіз левелізованої вартості електроенергії ($\$LCOE\$,$ розрахований за формулою $\$LCOE = (\text{CAPEX} \times \text{CRF} + \text{OPEX}_{\text{annual}}) / E_{\text{annual}}\$$ (3), для типового проекту МГЕС становить $\$ \approx 74.2 \text{ USD/MВт} \cdot \text{год}\$$. Це є конкурентоспроможним показником порівняно з вугільною генерацією та комбінованим циклом на газі, що підтверджує фінансову привабливість проектів з окупністю близько $\$9-10 \text{ років}\$$.

Інноваційний потенціал. Впровадження інноваційних технологій, таких як гвинтові турбіни (Архімедові гвинти), автоматизовані системи управління та мікротурбіни, підвищує ефективність використання низьких напорів та мінімізує операційні витрати, водночас забезпечуючи екологічну безпеку (пропуск іхтіофауни).

Регуляторно-екологічний парадокс та виклики. Необґрунтований «зелений» тариф. В Україні склався парадокс, коли до 2015 року надмірно високий «зелений» тариф стимулював не лише розвиток, але й руйнування природних річок та заповідних об'єктів через надприбутки власників. Хоча тимчасові заходи НКРЕКП знизили тариф, залишається необхідність законодавчого закріплення екологічних критеріїв, виконання яких має бути обов'язковим для отримання державної підтримки.

Відсутність екологічних запобіжників. Незважаючи на критичний вплив на річкові екосистеми (порушення гідрологічного режиму, втрата цілісності річки), законодавство про підтримку МГЕС тривалий час ігнорувало необхідність обов'язкового запровадження екологічних критеріїв (наприклад, розташування поза межами оселищ червонокнижних видів та забезпечення екологічного стоку). Реформування водної політики за принципами Водної рамкової директиви ЄС ⁷ є критично важливим для переходу до екологічно чутливого проектування МГЕС.

Міжнародний досвід та інвестиційна підтримка. Моделі підтримки. Міжнародний досвід (Норвегія, Швеція) показує, що для успіху малої гідроенергетики необхідні комплексні механізми державної підтримки на кшталт електричних сертифікатів (Elcertificate system), а не лише фіксовані тарифи. Спільний ринок електричних сертифікатів Норвегії та Швеції є прикладом успішної міждержавної співпраці для досягнення кліматичних цілей. Фінансування в умовах війни: Уряди Норвегії та Німеччини вже надають грантову підтримку для підвищення енергостійкості мікро- та малих підприємств України, включаючи придбання рішень для автономних джерел енергії.¹⁰ Ці програми, часто поєднані з кредитами під низький відсоток, можуть стати ключовим інвестиційним каналом для відновлення малої гідроенергетики на регіональному рівні.

РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Запровадження Екологічних Критеріїв: На законодавчому рівні необхідно терміново закріпити екологічні критерії для всіх нових та відновлюваних МГЕС. Надання будь-яких форм державної підтримки (включно з «зеленим» тарифом) має бути зумовлено обов'язковим розташуванням об'єктів поза природоохоронними зонами, забезпеченням екологічного стоку та встановленням рибопропускних споруд нового покоління.
2. Диверсифікація Механізмів Підтримки: Замість концентрації виключно на фіксованому "зеленому" тарифі, необхідно впроваджувати ринкові механізми підтримки на кшталт зелених сертифікатів або контрактів на різницю ($\$CFD\$,$ що дозволить знизити державні витрати, підвищити прозорість та залучити приватні інвестиції з урахуванням європейського досвіду).
3. Спрощення Регуляторних Процедур: Слід максимально спростити та уніфікувати процедури ліцензування та видачі дозвільної документації для відновлення та будівництва МГЕС на існуючих гідротехнічних спорудах (греблях ставків та водосховищах), де екологічні ризики мінімальні.

ПОСИЛАННЯ

1. Гідроенергетика. <https://saee.gov.ua/diialnist/vidnovliuvalna-enerhetyka/alternatyvna-enerhetyka/hidroenerhetyka>
2. QUARANTA Emanuele ; BODIS Katalin; KASIULIS Egidijus; MCNABOLA Aonghus; PISTOCCHI Alberto Is There a Residual and Hidden Potential for Small and Micro Hydropower in Europe? A Screening-Level Regional Assessment. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC126080>
3. Paish, O. (2022). A review of small hydropower performance and cost. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 169. <https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v169y2022ics1364032122007808.html>
4. Anderson, D., Moggridge, H., Warren, P., Shucksmith, J. (2021). The impacts of 'run-of-river' hydropower on the physical and ecological condition of rivers. *Water and Environment Journal*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121001271>
5. Кузнєцов М. П. Особливості комбінованих енергосистем з відновлюваними джерелами енергії: монографія / М. П. Кузнєцов. Київ: ІВЕ, 2024. 152 с.
6. О.В. Гідроенергетичний потенціал річок України: розвінчання міфів : аналітичний документ / Р. Б. Гаврилюк, Г. К. Веремійчик, та ін. Київ : Видавництво «Фенікс», 2018. 32 с. ISBN 978-966-136-549-9
7. Оксана Станкевич-Волосянчук Яка гідроенергетика потрібна Карпатам? <https://ekosphera.org/yaka-gidroenergetyka-potribna-karpatam/>
8. Д.В. Стефанишин, Ю.С. Власюк. ДЕЯКІ КРИТИЧНІ ЗАУВАЖЕННЯ ЩОДО ЯКОСТІ ЗВІТІВ З ОЦІНКИ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ МАЛИХ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В УКРАЇНІ. Екологічна безпека та природокористування, № 4 (32), 2019, с.43-59.
9. Державне агентство водних ресурсів України. Водні ресурси України: статистика річок та водних об'єктів. – Київ, 2025. – <https://buvrd.gov.ua/vodni-resursy/> [дата звернення: 21.10.2025].
10. Гідроенергетика та її роль у перебудові економіки України. https://uhe.gov.ua/media_tsentr/povnyu/hidroenerhetyka-ta-yiyi-rol-u-perebudovi-ekonomiky-ukrayiny
11. Ландау Ю. Великий потенціал малої води / Юрій Ландау. *Дзеркало тижня*. 2023. 7 березня. URL: <https://zn.ua/ukr/energetics/velikij-potentsial-maloji-vodi.html> (дата звернення: 04.11.2025).
12. LCOE ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ. Аналітичний огляд, підготовлений за підтримки Представництва Фонду ім. Гайнріха Бьоля в Україні, 2018. URL: <https://cel.com.ua/statics/media/doc23929.pdf>
13. Олександр Федоткін. Кінець епохи: 90% проєктів відновлюваної енергетики вже дешевші за використання викопного палива. <https://itc.ua/ua/novini/kinets-epochy-90-proyektiv-vidnovlyuvanoyi-energetyky-vzhe-deshevshi-za-vykorystannya-vykopnogo-palyva/>
14. THERRIEN, J, and G. BOURGEOIS. 2000. Fish Passage at Small Hydro Sites. Report by Genivar Consulting Group for CANMET Energy Technology Centre, Ottawa, 114 p.
15. Maharaj K Pandit. The Effects of Run-of-River Hydroelectric Power Schemes on Fish Community Composition in Temperate Streams and Rivers <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4871443/>
16. Assessment of the Impact of Small Hydropower Plants on the Ecological Status Indicators of Water Bodies: A Case Study in Lithuania. <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/4/433>.
17. Standards/Manuals: Small Hydropower Definition and Glossary of Terms — IEA Hydropower. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ieahydro.org/media/7e7156c6/1-1-Small-Hydropower-Definition-and-Glossary-of-Terms.pdf](https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ieahydro.org/media/7e7156c6/1-1-Small-Hydropower-Definition-and-Glossary-of-Terms.pdf)
18. EREF Small Hydropower Campaign. <https://eref-europe.org/eref-small-hydropower-campaign/>.
19. Small Hydro – National Hydropower Association (USA). <https://www.doi.gov/ocl/hydropower-licensing-process>
20. Guiding opinions for promoting the sustainable and healthy development of small hydropower (China). <https://chinaenergyportal.org/en/guiding-opinions-for-promoting-the-sustainable-and-healthy-development-of-small-hydropower-draft-for-comments/>

INNOVATIVE POTENTIAL OF SMALL HYDROPOWER IN UKRAINE FOR ENSURING NATIONAL ENERGY SECURITY

Received Oct. 21, 2026; accepted Mar. 23, 2026
Available online Mar. 31, 2026

Tkach D.¹, Vasylieva O.², Tkach D.³

Author for correspondence: Tkach Dmytro,
e-mail: DmitriyT@krok.edu.ua

Abstract. *The article is devoted to a comprehensive analysis of the innovative potential of small hydropower as a strategic instrument for ensuring Ukraine's energy security in the context of wartime challenges and post-war recovery of the energy system. The technological advantages of small hydropower plants (SHPPs) compared to large hydropower plants and other energy sources are examined, including: decentralized generation, relatively short construction timelines, minimal environmental impact, the possibility of using existing hydrotechnical infrastructure, and stability of electricity production. The available hydroenergy potential of Ukraine's rivers is analyzed, and prospective locations for SHPP deployment in various regions of the country are identified, taking into account hydrological, environmental, and economic factors.*

The study provides a detailed examination of the economic aspects of small hydropower development, including an analysis of the levelized cost of electricity (LCOE), capital and operational expenditures, investment payback periods, the potential contribution to the country's energy balance, and the impact on the decarbonization of the economy. A comparative analysis of the environmental characteristics of SHPPs with traditional energy sources is presented, assessing their impact on aquatic ecosystems, possibilities for biodiversity preservation, and minimization of negative consequences associated with hydrotechnical construction.

Particular attention is given to the analysis of international experience in small hydropower development in leading countries (China, Norway, Austria, Switzerland, Canada), state support mechanisms, and incentives for investment in renewable energy. The study investigates regulatory challenges related to the need to simplify licensing and permitting procedures for SHPP construction, and to adapt the "green" tariff and renewable energy support mechanisms to current realities. It is substantiated that the development of small hydropower may become a key factor in diversifying the energy balance, enhancing the resilience of the energy system to external threats, ensuring regional energy autonomy, and promoting the sustainable development of rural areas. The research results form a scientific and practical foundation for the development of a national strategy for small hydropower and for defining priority directions of investment in renewable energy in the context of post-war recovery and achieving Ukraine's climate goals.

Keywords: *small hydropower, energy security, renewable energy sources, decentralized generation, hydroenergy potential, levelized cost of electricity, sustainable development, Ukraine.*

PROBLEM STATEMENT

The purpose of this article is to study the innovative potential of Ukraine's small hydropower in the context of strengthening the state's energy security and ensuring sustainable development of the energy system. Particular attention is paid to identifying technological, institutional, and economic factors that determine the effectiveness of implementing small hydroelectric power plants (SHPPs) within the structure of national energy, as well as analyzing barriers and prospects for integrating innovative solutions in this sector.

To achieve the stated goal, the following tasks are envisaged:

1. Analyze the current state and development trends of small hydropower in Ukraine.
2. Identify the main innovative directions for modernizing electricity production technologies at small HPPs.
3. Assess the contribution of small hydropower to ensuring energy security at the regional and national levels.
4. Study international experience in the development of small HPPs and the possibilities of its adaptation in Ukrainian conditions.

5. Formulate practical recommendations for stimulating innovation in the small hydropower sector.

The methodological basis of the research consists of general scientific and special methods of economic analysis, in particular:

- a systematic approach—for identifying relationships among the innovative, technical, and regulatory aspects of small hydropower development;
- methods of comparative analysis—for summarizing international experience;
- economic-statistical analysis—for assessing industry dynamics;
- analytical generalization—for forming conclusions and practical proposals.

Within the scope of the research, data from the Ministry of Energy of Ukraine, the International Renewable Energy Agency (IRENA), the European Commission, as well as open statistical materials from the World Bank and the International Energy Agency (IEA) were used.

INTRODUCTION

The energy security of the state is a critical factor in national security, economic development, and social stability, especially in the context of modern geopolitical challenges. According to the Ministry of Energy of Ukraine, as of early 2025, systematic missile strikes have destroyed or damaged more than 50% of the country's generating capacity. This has led to large-scale blackouts and an energy crisis, resulting in the implementation of emergency shutdown schedules to stabilize the electricity supply. The Ministry notes that energy workers are actively working to restore infrastructure, applying backup reconnection schemes and striving to minimize shutdown times. Information is updated daily and maintained in coordination with all services for the rapid restoration of the energy supply.

Ukraine's traditional centralized energy system, built during the Soviet period, has proven extremely vulnerable to targeted attacks. Large thermal and nuclear power plants, as well as main energy infrastructure facilities, have become priority targets for the adversary. At the same time, large hydroelectric power plants, including the cascade of Dnipro HPPs, have also suffered missile strikes, confirming the need for diversification of energy sources and the development of decentralized generation.

In this context, small hydropower is considered one of the most promising areas for the development of renewable energy in Ukraine. Small hydroelectric power plants (SHPPs) are hydropower facilities with an installed capacity of up to 10 MW (according to EU classification) or up to 30 MW (according to IAEA classification) that use the energy of watercourses to produce electricity without creating large reservoirs or with minimal impact on the hydrological regime of rivers.

The relevance of studying the innovative potential of small hydropower for Ukraine is determined by several strategic factors:

First, the need to create a decentralized energy system that is resilient to external threats. SHPPs can provide energy autonomy for individual settlements, industrial facilities, and rural areas, reducing dependence on centralized electricity supply.

Second, the urgent need to restore destroyed generating capacity in the post-war period makes small hydroelectric power plants (SHPPs) a particularly attractive solution. SHPPs differ from large HPPs in their significantly smaller scale, which determines their relatively short construction periods—typically 1 to 3 years, compared to 5-10 years required for large hydropower facilities. Accordingly, capital costs for SHPPs are significantly lower, but this advantage is directly related to the smaller installed capacity of such plants. This is precisely what ensures the possibility of rapid launch of new facilities and their scalability, which is critically important under conditions of limited financing and the need for rapid restoration of the country's energy system. Examples of SHPP project implementation in Ukraine confirm such construction timelines and fit within the specified timeframes, making them an effective tool for sustainable development and energy security at the regional level.

Third, Ukraine's European integration commitments regarding economic decarbonization and achieving climate neutrality by 2060 in accordance with the Paris Agreement. The development of renewable energy, including small hydropower, is a key component of the energy transition.

Fourth, the significant unused hydropower potential of Ukraine's small rivers. According to experts from the State Agency for Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine (2024), the technically available potential of small hydropower in Ukraine is approximately 1500-2000 MW, with less than 10% of this resource currently exploited. Utilizing the potential of small rivers is a promising direction for the development of renewable energy, especially in the context of post-war restoration of the energy system [1].

Fifth, the possibility of restoring historical infrastructure. Hundreds of small hydro nodes and dams built in the 19th and early 20th centuries are preserved on the territory of Ukraine and could be modernized and equipped with modern hydro turbines.

The purpose of this article is to provide a comprehensive analysis of the innovative potential of small hydropower for ensuring Ukraine's energy security and justification of scientific and practical recommendations for the development of this renewable energy sector.

ANALYSIS OF RECENT RESEARCH AND PUBLICATIONS

The problems of small hydropower development are the subject of interdisciplinary research covering technical, economic, environmental, and social aspects. Significant experience in studying the potential and prospects of small hydropower has been accumulated in the scientific literature worldwide.

Small hydropower plants (with an installed capacity of up to 10 MW) are generally considered to have a lower

environmental impact compared to large power plants, which has driven their rapid expansion; at the same time, their development potential remains unexploited. This issue has been studied by Quaranta E., Bodis K., Kasiulis E., McNabola A., Pistocchi A., and other researchers [2].

Economic aspects of small hydropower are analyzed by Paish O. (2022), who compared the levelized cost of electricity (LCOE) from SHPPs with other renewable sources and established that under conditions of optimal location selection, LCOE for small hydropower can be \$40-80/MWh, which is competitive with wind and solar energy [3].

Environmental consequences of SHPP construction are examined in the works of Anderson D., Moggridge H., Warren P., Shucksmith J. (2021), who investigated the impact of small hydroelectric power plants on aquatic ecosystems and biodiversity. The authors developed the concept of "ecologically sensitive design" for SHPPs that minimizes adverse effects on ichthyofauna and ensures ecological flow [4].

In the domestic scientific literature, the problems of small hydropower are insufficiently researched. Kuznetsov M.D. [5], in an analytical document edited by R.B. Havryliuk and H.K. Veremiichyk, examines the history of hydropower development in Ukraine and the dynamics of its environmental impact, the consequences and potential threats of treating Ukrainian rivers exclusively as a hydropower resource, European practices of using hydropower potential, the modern vision of ecosystem services of rivers and the future of hydropower in the context of integrated water resources management based on the basin principle [6].

Oksana Stankevych-Volosianchuk investigates the topic of hydropower in the Carpathians and concludes that micro-hydropower is of little interest to businesses because it is not intended for profit generation. However, it should primarily interest communities. After all, together with municipal hybrid solar power plants, micro-HPPs can become the foundation of energy independence for local communities [7].

D.V. Stefanyshyn, Yu.S. Vlasiuk analyzed the prospects for the development of small hydropower in Ukraine and their environmental and technical aspects [8]. However, despite the presence of individual publications, a comprehensive study of the innovative potential of small hydropower in Ukraine, taking into account modern challenges in energy security, technological capabilities, economic efficiency, and environmental considerations, has practically not been conducted, which determines the relevance of this article.

RESEARCH RESULTS

1. Hydropower potential of small rivers in Ukraine

Ukraine has an extensive network of small and medium rivers that offers significant potential for the development of small hydropower. According to the State Agency of Water Resources of Ukraine, there are over 63,000 rivers with a total length of approximately 206,000 kilometers on the country's territory. Of these, approximately 99% are small rivers with a length of less than 100 km [9].

In Ukraine, hydropower resources currently provide an average annual electricity production by all HPPs of 11 billion kWh with a total capacity of 4.8 million kW, specifically small HPPs (up to 10 MW)—accounts for only 0.1 million kW (2.1% of total capacity) with a production of 0.23 billion kWh (2.3% of total production) [10].

Economic potential is the portion of technical potential whose development is economically feasible under current economic conditions and electricity prices. Estimates of economic potential vary depending on the assumptions made regarding construction costs, electricity tariffs, and discount rates. According to conservative estimates, the economic potential is 40-50% of the technical potential, i.e., approximately 600-800 MW [11].

Regional distribution of hydropower potential is given in Table 1.

Table 1. Potential of hydropower resources of small rivers in Ukraine

Region	Main Rivers	Technical Capacity Potential of SHPPs, MW	Technical Electricity Generation Potential of SHPPs, million kWh/year
Ivano-Frankivsk	Prut, Cheremosh, Limnytsia, Bystrytsia	59	196.18
Zakarpattia	Tysa, Borzhava, Latorytsia, Uzh	132	438.9
Lviv	Stryi, Opir, Svicha	46	152.95
Chernivtsi	Prut, Siret	24	79.8
Zhytomyr	Teteriv, Irsha	7.8	27.3
Rivne	Horyn, Styр	2.8	9.8
Kirovohrad	Inhul, Yatran, Turiia	15.2	53.2
Ternopil	Horyn, Strypa, Seret, Zbruch	12.1	42.35
Sumy	Desna, Psel, Vorskla	2.2	7.7
Kharkiv	Siverskyi Donets, Oskil, Udy	9.5	33.25

Source: Compiled by the author based on data from: Atlas of Energy Potential of Renewable Energy Sources of Ukraine: Third edition, updated/edited by S.O. Kudria. – Kyiv: Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2024. – 56 p.

The central and southern regions of Ukraine have lower hydropower potential due to flat terrain and lower river water content; however, there may be locally prospective sites, especially at existing hydraulic structures (pond dams, re-

servoires, irrigation canals).

Next, we will consider types of prospective locations for SHPPs is given in Table 2.

Table 2. Types of prospective locations for the development of small hydroelectric power plants in Ukraine

Location Type	Characteristics and Utilization Potential
Historical Hydropower Sites	During the Soviet period, over 900 small HPPs operated in Ukraine. Most were closed between the 1960s and 1980s due to power system centralization and cheap generation from thermal and nuclear plants. Preserved dams and hydraulic structures can be reconstructed using modern turbines with minimal capital expenditures.
Existing Reservoirs and Ponds	Ukraine has over 28,000 ponds and reservoirs, most of which are not used for electricity generation. Installing small HPPs on existing dams does not require flooding new territories and has a negligible environmental impact.
Irrigation Canals and Water Conduits	Industrial water transported through canals for irrigation, water supply, or industrial needs can be used to generate electricity via "micro-HPPs" with a capacity of up to 100 kW. Such projects are characterized by low costs and short payback periods.
River Drops (Heads)	Natural rapids, waterfalls, or artificially created elevation changes provide opportunities for constructing run-of-river or diversion small HPPs with local energy significance.

Source: Compiled by the author based on data from the State Agency for Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine, <https://sae.gov.ua/>, the International Renewable Energy Agency (IRENA), <https://www.irena.org/>, and open statistical materials from the World Bank (World Bank Open Data, <https://data.worldbank.org>)

2. Technological innovations in small hydropower

Modern small hydropower is characterized by significant technological progress that increases efficiency, reduces costs, and minimizes the environmental impact of SHPPs:

Innovative types of hydro turbines:

Kaplan and propeller turbines of the new generation with automatic blade-pitch angle adjustment provide high efficiency over a wide range of water flow rates.

Vertical-axis turbines for utilizing the kinetic energy of river flow without creating a dam. This technology is at the commercialization stage and has potential for application on flat rivers.

Micro-turbines for very low heads (0.5-2 m) allow utilizing the energy of small streams and canals.

Automation and digitalization. Remote monitoring and control systems enable the operation of SHPPs without the constant presence of personnel at the facility, thereby significantly reducing operational costs. Production forecasting based on meteorological data and hydrological models enables planning SHPP operations and integrating them into the energy system. Intelligent turbine control systems optimize equipment operation depending on water availability, ensuring maximum production efficiency.

Environmental innovations. New generation fish passage facilities—fish ladders, fish lifts, bypass channels that ensure fish migration during spawning without harm to populations. Ecological flow assurance systems—automatic devices that guarantee minimum water flow downstream from the HPP to maintain aquatic ecosystem viability. Eco-

screening—special grids that prevent fish from entering the turbine.

3. Economic efficiency calculations for small hydropower projects

The economic feasibility of SHPP construction depends on a number of factors: hydrological characteristics of the location, construction costs, electricity tariffs, operating periods, and discount rates.

Analysis of levelized cost of electricity (LCOE) [12]:

$$LCOE = (CAPEX \times CRF + OPEX_{\text{annual}}) / E_{\text{annual}} \quad (1)$$

where:

- LCOE – levelized cost of electricity, USD/MWh
- CAPEX – capital expenditure, USD
- CRF – capital recovery factor
- OPEX_{annual} – annual operating costs, USD/year
- E_{annual} – annual electricity production, MWh/year

Capital recovery factor:

$$CRF = [r(1+r)^t] / [(1+r)^t - 1] \quad (2)$$

where:

- r – discount rate
- t – operating period, years

Typical calculation for a 1 MW SHPP:

Input data:

- Installed capacity: P = 1000 kW
- Capacity factor: CF = 0.40 (typical for the Carpathian region)

- Capital expenditure: CAPEX = 2.5 million USD (2500 USD/kW – average cost for SHPP using existing infrastructure)
- Annual operating costs: OPEX = 50 thousand USD/year (2% of CAPEX)
- Operating period: $t = 40$ years (SHPPs have a very long service life)
- Discount rate: $r = 0.08$ (8%)

Calculation:

Capital recovery factor: $CRF = [0.08(1+0.08)^{40}] / [(1+0.08)^{40} - 1] \approx 0.084$

Annual electricity production: $E_{\text{annual}} = P \times CF \times 8760$ hours = $1000 \text{ kW} \times 0.40 \times 8760 = 3,504,000 \text{ kWh} = 3504 \text{ MWh}$

Annual capital servicing costs: $\text{Capital Cost}_{\text{annual}} = 2.5 \text{ million} \times 0.084 = 0.210 \text{ million USD}$

Total annual costs: $\text{Total Cost}_{\text{annual}} = 0.210 + 0.050 = 0.260 \text{ million USD}$

Levelized cost: $LCOE = 260,000 / 3504 = 74.2 \text{ USD/MWh}$

Comparison with other sources:

- Wind energy: 60-90 USD/MWh
- Solar energy: 50-80 USD/MWh
- Large hydropower: 40-70 USD/MWh
- Combined cycle (gas): 60-100 USD/MWh
- Coal generation: 70-120 USD/MWh [13]

Thus, small hydropower is a competitive source of electricity, especially considering the advantages for baseload generation (unlike intermittent solar and wind).

Project payback period:

At an average electricity tariff for SHPPs of 0.12 USD/kWh (according to the "green" tariff until 2030):

Annual revenue = $3504 \text{ MWh} \times 120 \text{ USD} = 420,480 \text{ USD}$

Payback period (simple) = $2.5 \text{ million} / (0.420 - 0.050 \text{ million}) \approx 6.8 \text{ years}$

Taking into account discounting, the payback period is approximately 9-10 years, which is an acceptable indicator for infrastructure projects.

4. Environmental aspects of small HPP development in Ukraine

The development of small hydroelectric power plants (small HPPs) in Ukraine's watershed provides a renewable production resource with relatively low direct greenhouse gas emissions during the operation period, contributing to reducing the overall carbon footprint of the energy sector compared to fossil fuel generation. At the same time, the impact of small HPPs on aquatic ecosystems must be assessed at the local level and taken into account in design. The main environmental risks are associated with the disruption of ichthyofauna migration routes, changes in the hydrological regime, accumulation and redistribution of sediments, as well as the transformation of coastal and

riverbed landscapes. To minimize them, technical solutions (design of fish passage facilities, fish passage channels, ecological releases), management measures (regulation of sanitary and ecological releases), and monitoring of biodiversity status and sediment accumulation are applied [14].

The problem of fish passage is one of the most common for small HPPs. The absence or inadequate implementation of solutions for fish migration leads to local decline in the numbers of migratory species and disruption of trophic links in river systems. Effective migration engineering includes combined solutions: spawning passages, flow deflectors, adaptive release management, and measures to restore bottom structures.

Sedimentation in created ponds and behind dams changes the transport of bottom material, which reduces reservoir volumes and negatively affects benthic biocenoses. Sediment management strategies include planned sludge removal operations, design of reservation volumes for sediments, sediment bypass systems, or periodic regulatory releases for channel flushing. Comprehensive approaches taking into account erosion load in the basin (work with land management and forestry upstream) increase the durability of structures.

Changes in hydrological regime due to flow regulation can lead to water level fluctuations below the dam, which worsen conditions for riparian vegetation and can change the conditions for the generation and growth of aquatic organisms. To prevent this, minimum ecological flows (ecological releases) are established, programmatic limitation of the speed and amplitude of hydropeaking, and a justified combination of production schedules with the biological cycles of local fauna are applied [15].

Landscape and socio-economic changes in the coastal zone require design solutions that provide for integration of structures into the environment, minimization of coastal land flooding, restoration of wetland ecosystems, and transparent communication with local communities regarding compensation measures and access to water resources.

Environmental Impact Assessment (EIA) must be mandatory and carried out in accordance with current Ukrainian legislation; EIA reports must include measurements of biodiversity, hydrological indicators, sediment transport models, risk assessment, and an environmental and social management plan (ESMP). In Ukrainian practice, problems with the quality of some EIA reports for small HPPs are noted, which emphasizes the need to improve assessment standards and the validation of results by independent experts.

Some studies show that when proper design and operational requirements are met, the impact of small HPPs on water chemical parameters can be limited; however, biological and morphological changes remain critical for assessing project acceptability. Therefore, decisions on small HPP construction should be based on a comprehensive multi-criteria assessment that combines energy efficiency, environmental safety, and social acceptability [16].

Discussion: Small HPPs can be part of the decarbonization and energy resilience strategy provided that mandatory high-quality EIA is conducted, engineering solutions are applied to preserve ichthyofauna and sediment transport, ecological releases are established, and long-term ecosystem monitoring is organized. Decisions on specific projects must be based on evidence and comply with national legislation and international recommendations.

Regulatory challenges for small HPP development in Ukraine. The development of small hydroelectric power plants in Ukraine is complicated by fragmentation of the regulatory framework and inconsistency between different sectoral laws, which leads to duplication of requirements when obtaining permits for water resource use, construction, and operation of energy facilities; project implementation often requires permits on water use, urban planning, ecology, and energy, which increases administrative costs and implementation timelines. Tariff uncertainty following electricity market reforms—particularly the transition from fixed incentives ("green tariff") to market mechanisms and auctions—has reduced the investment attractiveness of small HPPs due to the absence of guaranteed long-term revenues, which is especially critical for capital-intensive projects with long payback periods.

Regulation in the field of EIA (environmental impact assessment) formally exists, but in practice, there are cases of insufficient quality of reports, problems with integrating EIA results into urban planning documentation, and a lack of proper control and accountability mechanisms for compliance with environmental conditions; this increases the risks of implementing projects without full consideration of environmental consequences. Insufficient digitalization of permits and the absence of a unified state register of small HPPs complicate monitoring of technical condition and environmental obligations, hinder strategic planning, and create risks of unauthorized construction [17]. Inconsistency in water and energy legislation, as well as fragmentation of powers among the State Water Agency, the Ministry of Environment, and energy regulatory structures, creates legal uncertainty regarding the duration of water resource use rights, licensing conditions, and liability for environmental violations.

International standards and tools for hydropower sustainability preservation (Hydropower Sustainability Standard; Hydropower Sustainability Guidelines) offer comprehensive approaches to assessing environmental, social, and management risks, but their application in Ukraine is limited by the lack of national adaptation and mandatory requirements for compliance with these standards. Recommended regulatory measures include: unification of definitions and technical criteria for small HPPs in legislation; simplification and digitalization of permitting procedures through a single electronic portal; introduction of transparent long-term financial support mechanisms (contracts for difference or auctions with guarantees); creation of a unified register of small HPPs with data on technical condition and environmental obligations; implementation

of international sustainability standards as guidelines for EIA and design; clear distribution of powers between regulatory bodies and strengthening of public consultation practices with local communities.

International experience in small hydroelectric power plant development. Analysis of global practices shows several successful models for small hydroelectric power plant development that may be useful for adaptation in the Ukrainian context.

Within the framework of the European Renewable Energies Federation (EREF), it is noted that small HPPs (installed capacity up to ~10 MW) in the European Union play an important role in decarbonizing the energy system, providing renewable, controllable generation with high efficiency (up to over 85%) and flexibility for integration of variable sources. At the same time, the EU emphasizes the importance of coordinating energy and water directives (for example, the Water Framework Directive (2000/60/EC)) and applying innovations (retrofitting existing small HPPs) to improve environmental performance [18].

In countries with high levels of renewable energy integration, particularly Norway and Switzerland, small HPPs are included in local energy systems as part of decentralized generation and flexible systems. For example, Switzerland has over 1,400 small hydroelectric power plants with a total capacity of approximately 1000 MW, which represents approximately 10-15% of the country's hydro generation. In Norway, companies specializing in small HPPs (1-5 MW) use modular turbines, work in partnership with local resource owners, thereby ensuring decentralized water resource exploitation.

In Canada and the USA, there is a practice of simplifying licensing procedures for low-power hydroelectric plants. In particular, in the USA, the Federal Energy Regulatory Commission (FERC) has introduced licensing and exemption processes for small/low-impact HPPs to simplify and accelerate approval. Government reports also emphasize the desire to reduce licensing timelines and eliminate unnecessary procedures without compromising environmental protection [19].

China applies a comprehensive approach to hydropower development, including small-scale solutions and decentralized generation. According to research, at the end of 2019, the country had over 46,785 hydroelectric power plants with a total installed capacity of ~2,376.9 million kW, with significant attention paid to small HPPs. Chinese guidance documents on small hydropower sector development ("Guiding Opinions for promoting the sustainable and healthy development of small hydropower") clearly state the priority of "ecological priority" and integration of water-ecological components from planning to operation [20].

These examples can serve as a basis for adaptation and application in Ukraine, taking into account its specifics (mountain rivers, small scale, need for decentralized solutions).

CONCLUSIONS

The comprehensive analysis confirms that the development of small hydropower (SHPPs) in Ukraine is a strategically important tool for ensuring energy security, especially in the face of war-related challenges and the need to decentralize the energy system.

Strategic significance and economic competitiveness. Decentralization and resilience. SHPPs, as decentralized generation facilities, are less vulnerable to targeted attacks than large centralized plants, making them a key element of energy system resilience. Their significant technical potential (approximately 1500-2000 MW) and the possibility of using existing infrastructure (historical hydro nodes, pond dams) enable rapid (1-3 years) replacement of lost generating capacity.

Economic feasibility. Under conditions of restoring existing infrastructure, small hydropower is a competitive source of baseload generation. Analysis of the levelized cost of electricity (LCOE), calculated using the formula $LCOE = (CAPEX \times CRF + OPEX_{\text{annual}}) / E_{\text{annual}}$ (3), for a typical SHPP project yields an LCOE of ≈ 74.2 USD/MWh. This is a competitive indicator compared to coal generation and gas combined cycle, confirming the financial attractiveness of projects with a payback period of approximately 9-10 years.

Innovative potential. Implementation of innovative technologies such as Archimedes screw turbines, automated control systems, and micro-turbines increases the efficiency of low-head utilization and minimizes operational costs while ensuring environmental safety (e.g., ichthyofauna passage).

Regulatory-environmental paradox and challenges. Unjustified "green" tariff. A paradox has developed in Ukraine, where, until 2015, an excessively high "green" tariff stimulated not only the development but also the destruction of natural rivers and protected sites, driven by excessive profits for owners. Although temporary measures by NEURC reduced the tariff, there remains a need for legislative establishment of environmental criteria, compliance with which must be mandatory for receiving state support.

Absence of environmental safeguards. Despite the critical impact on river ecosystems (disruption of the hydrological regime, loss of river integrity), legislation on SHPP support has long ignored the need for mandatory implementation of environmental criteria (for example, locating outside habitats of "Red Book" species and ensuring ecological flow). Reform of water policy according to the principles of the EU Water Framework Directive is critically important for transitioning to ecologically sensitive SHPP design.

International experience and investment support. Support models. International experience (Norway, Sweden) shows that small hydropower success requires comprehensive state support mechanisms such as electricity certificates (Elcertificate system), not just fixed tariffs. The joint electricity certificate market of Norway and Sweden is an

example of successful interstate cooperation to achieve climate goals. **Financing in wartime conditions:** The governments of Norway and Germany are already providing grant support to enhance the energy resilience of micro- and small enterprises in Ukraine, including the purchase of solutions for autonomous energy sources. These programs, often combined with low-interest loans, can become a key investment channel for restoring small hydropower at the regional level.

RECOMMENDATIONS

Implementation of Environmental Criteria: At the legislative level, it is urgently necessary to establish environmental criteria for all new and renovated SHPPs. The provision of any form of state support (including the "green" tariff) must be conditional upon the mandatory siting of facilities outside nature conservation zones, ensuring ecological flow, and the installation of new-generation fish passage facilities.

Diversification of Support Mechanisms: Instead of concentrating exclusively on the fixed "green" tariff, it is necessary to implement market-based support mechanisms such as green certificates or contracts for difference (CfD), which will reduce state expenditures, increase transparency, and attract private investment, drawing on European experience.

Simplification of Regulatory Procedures: Licensing procedures and issuance of permit documentation for the restoration and construction of SHPPs on existing hydraulic structures (pond and reservoir dams) should be maximally simplified and unified, where environmental risks are minimal.

REFERENCES

1. State Agency on Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine. Hidroenerhetyka [Hydropower]. Available at: <https://sae.gov.ua/diialnist/vidnovliuvalna-enerhetyka/alternatyvna-enerhetyka/hidroenerhetyka> [in Ukr].
2. QUARANTA Emanuele; BODIS Katalin; KASIULIS Egidijus; MCNABOLA Aonghus; PISTOCCHI Alberto Is There a Residual and Hidden Potential for Small and Micro Hydropower in Europe? A Screening-Level Regional Assessment. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC126080> (accessed: 30.12, 2026) [in Eng].
3. Paish O. (2022). A Review of Small Hydropower Performance and Cost. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 169. Available at: <https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v169y2022ics1364032122007808.html>
4. Anderson D., Moggridge H., Warren P., Shucksmith J. (2021). The Impacts of 'Run-of-River' Hydropower on the Physical and Ecological Condition of Rivers. Water and Environment Journal. Available at:

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121001271>
5. Kuznietsov M. P. Osoblyvosti kombinovanykh enerhosystem z vidnovlyuvanymy dzherelamy enerhii: monohrafiia [Features of Combined Energy Systems with Renewable Energy Sources: Monograph]. Kyiv: IVE, 2024, 152 p. [in Ukr].
 6. Havryliuk R. B., Veremiichyk H. K. et al. Hidroenerhetychnyi potentsial richok Ukrainy: rozvinchannia mifiv [Hydropower Potential of Ukrainian Rivers: Debunking the Myths]. Kyiv: Feniks Publishing, 2018, 32 p. ISBN 978-966-136-549-9 [in Ukr].
 7. Stankevych-Volosyanchuk O. Yaka hidroenerhetyka potribna Karpatam? [What Kind of Hydropower Do the Carpathians Need?]. Available at: <https://ekosphera.org/yaka-gidroenergetyka-potribna-karpatam/> [in Ukr].
 8. Stefanyshyn D. V., Vlasiuk Yu. S. Deyaki krytychni zauvazhennya shchodo yakosti zvitiv z otsinky vplyvu na dovkillya malykh hidroelektrostantsiy v Ukrayini [Some Critical Remarks on the Quality of Environmental Impact Assessment Reports of Small Hydropower Plants in Ukraine]. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannya*, 2019, No. 4 (32), pp. 43–59. [in Ukr].
 9. State Agency for Water Resources of Ukraine. Vodni resursy Ukrainy: statystyka richok ta vodnykh ob'ektiv [Water Resources of Ukraine: Statistics of Rivers and Water Bodies]. Kyiv, 2025. Available at: <https://buvrd.gov.ua/vodni-resursy/> (accessed: October 21, 2025) [in Ukr].
 10. Hydropower and its role in the reconstruction of Ukraine's economy]. Available at: https://uhe.gov.ua/media_tsentr/novyny/hidroenerhetyka-ta-yiyi-rol-u-perebudovi-ekonomiky-ukrayiny [in Ukr].
 11. Landau Yu. Velykyi potentsial maloi vody [The Great Potential of Small Water]. *Dzerkalo Tyzhnia*, March 7, 2023. Available at: <https://zn.ua/ukr/energetics/velikij-potentsial-maloi-vodi.html> (accessed: November 4, 2025) [in Ukr].
 12. LCOE vidnovlyuvanykh dzherel enerhii v Ukraini [LCOE of Renewable Energy Sources in Ukraine]. Analytical Report Supported by Heinrich Böll Foundation, 2018. Available at: <https://cel.com.ua/statics/media/doc23929.pdf> [in Ukr].
 13. Fedotkin O. Kinets epokhy: 90% proektiv vidnovlyuvanoi enerhetyky vzhe deshevshi za vykorystannia vykopnoho palyva [The End of an Era: 90% of Renewable Energy Projects Are Already Cheaper than Fossil Fuels]. Available at: <https://itc.ua/ua/novini/kinets-epohy-90-proyektiv-vidnovlyuvanoi-energetyky-vzhe-deshevshi-za-vykorystannya-vykopnoho-palyva/> [in Ukr].
 14. Therrien J., Bourgeois G. (2000). Fish Passage at Small Hydro Sites. Report by Genivar Consulting Group for CANMET Energy Technology Centre, Ottawa, 114 p.
 15. Pandit M. K. (2016). The Effects of Run-of-River Hydroelectric Power Schemes on Fish Community Composition in Temperate Streams and Rivers. *Environmental Science and Pollution Research*. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4871443/>
 16. Assessment of the Impact of Small Hydropower Plants on the Ecological Status Indicators of Water Bodies: A Case Study in Lithuania. *Water*, 2021, Vol. 13, No. 4, Article 433. Available at: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/4/433>
 17. IEA Hydropower. Standards/Manuals: Small Hydropower Definition and Glossary of Terms. International Energy Agency, 2020. Available at: <https://www.ieahydro.org/media/7e7156c6/1-1-Small-Hydropower-Definition-and-Glossary-of-Terms.pdf>
 18. EREF. Small Hydropower Campaign. European Renewable Energies Federation. Available at: <https://eref-europe.org/eref-small-hydropower-campaign/>
 19. National Hydropower Association (USA). Small Hydro. Available at: <https://www.doi.gov/ocl/hydropower-licensing-process>
 20. National Energy Administration of China. Guiding Opinions for Promoting the Sustainable and Healthy Development of Small Hydropower. Available at: <https://chinaenergyportal.org/en/guiding-opinions-for-promoting-the-sustainable-and-healthy-development-of-small-hydropower-draft-for-comments/>