

УДК 621.22+556.06

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.100.14>

О. Ободовський, д-р геогр. наук, проф.,

E-mail: obodovskiy@univ.kiev.ua;

О. Кривець, канд. геогр. наук,

E-mail: like_mila@ukr.net;Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
географічний факультет, пр. Глушкова, 2, м. Київ, Україна

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕНЬ У ГАЛУЗІ МАЛОЇ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ ТА ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ РІЧОК УКРАЇНИ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.Є. Кошляковим)

Встановлено основні напрямки та виконано аналіз досліджень у галузі гідроенергетики та гідроенергетичного потенціалу річок України. Здійснено короткий огляд класифікації малих ГЕС. Розглянуто оцінки гідроенергетичного потенціалу річок. Відтінено екологічні аспекти використання гідроенергетичного потенціалу річок. Проаналізовано тенденції розвитку української енергетики і, зокрема, гідроенергетики. Показано роль "зеленого" тарифу на електричну енергію, вироблену малою гідроенергетикою. Висвітлено роль "Енергетичної стратегії України на період до 2030 року" в галузі малої гідроенергетики. Дано характеристику методичним підходам оцінки впливу на довкілля під час будівництва малих ГЕС. Оцінено перспективи використання гідроенергетичного потенціалу річок України та запропоновано нову технологічну парадигму розвитку малої гідроенергетики України.

Ключові слова: методичні підходи становлення малої гідроенергетики, оцінка гідроенергетичного потенціалу річок України, екологічні аспекти використання гідроенергетичного потенціалу річок, класифікація малих ГЕС, УВМГЕС та їх ефективність.

Вступ. Зростання вартості традиційних енергоресурсів та їх вичерпність спонукає до збільшення питомої ваги альтернативних відновлювальних енергетичних джерел, що є актуальним для зміцнення енергонебезпечності та енергобезпеки держави. З огляду на це та враховуючи положення програми Кабінету Міністрів України щодо розвитку гідроенергетики на період до 2026 р., зростає потреба у диверсифікації гідроенергетичних комплексів України, зокрема за рахунок малої гідроенергетики, на яку встановлюється "зелений" тариф. Тому використання енергетичного потенціалу річок України є одним з ключових напрямків вирішення забезпечення енергетичних потреб економіки країни (*Гідрокологічна оцінка...*, 2020).

Мета роботи – аналітичний огляд досліджень та перспективи їх розвитку в галузі гідроенергетики та гідроенергетичного потенціалу річок.

Аналіз попередніх досліджень. На сьогодні існує доволі значна кількість досліджень у галузі гідроенергетики та гідроенергетичного потенціалу річок України, які можна згрупувати у такі основні напрями:

- **етапи становлення малої гідроенергетики в Україні.**

Наукові праці, присвячені проблематиці використання гідроенергетичного потенціалу малих річок, поділяються на етапи активного нагромадження знань (1940–60-ті рр.) та їхнього аналізу (1990–2000-ні рр.) та етап, протягом якого кількість наукових праць на цю тематику значно зменшується (1970–90-ті рр.);

- **будівництво малих гідроелектростанцій та їх економічна ефективність.** Цей напрям об'єднує наукові дослідження, що стосуються як загальнотеоретичних питань малої гідроенергетики, так і практичних аспектів, наприклад, проектування малих ГЕС, пошукових досліджень для цілей будівництва малих ГЕС, а також економічних передумов відновлення малої гідроенергетики;

- **розроблення, виробництво та вдосконалення обладнання для малих ГЕС.** Прикладні наукові дослідження в галузі малої гідроенергетики здійснюються в Інституті відновлюваної енергетики НАН України (ІВЕ НАН України). Зокрема, створено інформаційну базу універсальних зведених гідромеханічних характеристик турбін вітчизняної розробки для малих гідроелектростанцій за зміни частоти обертання та витрат води в діапазонах (0,6–1,3) номінального значення для таких

конструктивних схем: пропелерних – 11 типів турбін; поворотно-лопатевої – 12 типів турбін; радіально-осьових – 20 типів турбін. ІВЕ НАН України має важливі розробки зі створення енергоефективної техніки та технологій у галузі малої гідроенергетики (*Васько та ін.*, 2012; *Голованов*, 2007, 2012). Розроблення та удосконалення обладнання для малих ГЕС здійснюється також на базі Вінницького національного технічного університету (*Хоменко, Лежнюк*, 2012), у Національному університеті водного господарства та природокористування, інших закладах і підприємствах (*Касян, Лебедь*, 2011). Окрім традиційних для малої гідроенергетики дериваційних, пригребельних і руслових ГЕС, у КНУ імені Тараса Шевченка проведено наукові дослідження, присвячені розробленню безгребельних малих ГЕС (*Гідрокологічна оцінка...*, 2015, 2016, 2017, 2020);

- **гідроенергетичний потенціал річок України.** Вперше питання про гідроенергетичний потенціал малих річок України було поставлене у 20-х рр. XX ст. У 1926 р. здійснено спробу визначити потенціальну енергію 13 малих річок України, яка оцінювалась у 178 тис. кВт (цю величину було прийнято як максимальну потужність річок за витрати 50 % забезпеченості). Дослідження з метою визначення гідроенергетичного потенціалу малих річок УРСР здійснювались і в 1936, 1946, 1947 рр., однак використання різних методик і недостатня точність робіт стали причиною значних відмінностей в отриманих результатах (*Гідрокологічна оцінка...*, 2020). Найбільш повними вважаються дані, отримані у 1950-ті рр., коли гідроенергетичний потенціал малих річок визначався шляхом розбивання річок на ділянки, межі яких вибирались по точках зміни похилів і по місцю впадіння приток. Водночас приймавалось, що мінімальна потужність ГЕС повинна бути понад 20 кВт. За отриманими результатами потенційні ресурси малих річок України сягали 19,6 млрд кВт·год. У подальших дослідженнях гідроенергетичний потенціал малих річок України уточнювався, і, наприклад, у працях (*Атлас енергетичного потенціалу...*, 2018) загальний потенціал малої гідроенергетики України оцінюється вже в 12501 млн кВт·год/рік (на 7101,4 млн кВт·год/рік менше, ніж за даними 50-х рр.).

З 2014 і до 2020 р. дослідження гідроенергетичного потенціалу річок України проводила дослідницька група

© Ободовський О., Кривець О., 2023

з НДС "Гідроєкології і гідрохімії" географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка під керівництвом професора О.Г. Ободовського (*Obodovskiy et al., 2020; Hydropower Potential Assessment ..., 2021; Ободовський та ін., 2017, 2016*);

- **екологічні аспекти використання гідроенергетичного потенціалу річок.** Питання, пов'язані з можливими загрозами природному середовищу через будівництво малих гідроелектростанцій, тривалий час розглядаються дослідниками, однак консенсусу в цьому напрямі не досягнуто. У наукових колах активно пропагуються дві взаємопротилежні позиції щодо екологічних наслідків такого будівництва. Згідно з однією позицією – малі ГЕС здійснюють мінімальний вплив на природне середовище, згідно з іншою – завдають шкоди не тільки іхтіофауні басейну, але і рослинному й тваринному світу прибережних територій, можуть стати причиною катастрофічного обміління малих річок і зникнення води у колодязях, спотворюють природні річкові долини, змінюють ландшафти тощо. Окремі дослідження підтверджують, що наслідки впливу на природне середовище при спорудженні малих гідроелектростанцій, зокрема при створенні водосховищ, можуть бути в одних аспектах позитивними (наприклад, активізація процесів самоочищення за рахунок розбавлення води, збагачення її киснем тощо), в інших – негативними (розвиток процесів заболочення, зміна мікроклімату тощо). Тому важливого значення набувають природоохоронні заходи, що передбачають мінімізацію порушень у природному середовищі (*Віхорев, Соловійов, 2013*).

Л.М. Архипова та ін. вважають безпечнішими для довкілля дериваційні ГЕС (*Архипова, 2011*). А з метою недопущення пересихання русел, що є одним із аргументів проти спорудження малих ГЕС дериваційного типу, дослідниця пропонує в руслах (за межами дериваційного каналу) залишати меженний стік – протягом усього року на рівні мінімальної середньомісячної витрати маловодного року 75 % забезпеченості (*Білецький, 2014*). Небезпеки дериваційних ГЕС, окрім обміління річок, полягають у можливості зниження рівнів ґрунтових вод, зменшенні кисню у воді через перегрів обмілілої річки влітку тощо (*Висновки громадської експертизи ..., 2012*).

Разом з тим у роботах (*Гідроєкологічна оцінка ..., 2015, 2016, 2017, 2020; Obodovskiy et al., 2020; Hydropower Potential Assessment ..., 2021; Ободовський та ін., 2017*) запропоновано нові підходи до встановлення екологічного гідроенергетичного потенціалу річок;

- **методичні підходи до розрахунків гідроенергетичного потенціалу.** Гідроенергетичний потенціал – це здатність частини річкового стоку, що використовується, або тієї, що може бути використана, до виробництва електроенергії, необхідної людині в певних масштабах без зміни основних властивостей водного об'єкта за певний період (*Цепенда, 2009*). Методичні питання щодо оцінювання гідроенергетичного потенціалу річок набули актуальності починаючи з 50-х рр. XX ст. напередодні спорудження перших великих ГЕС у СРСР. Одними з перших у цьому напрямі були розробки інституту Гідроенергопроект (*Яцук ін., 2011*). Серед інших робіт 50-х рр. заслуговують на увагу праці, у яких чітко виписані методика розрахунку потенційних гідроенергетичних ресурсів, методика розрахунку потенційних гідроенергетичних ресурсів басейну та оцінювання гідроенергетичних ресурсів, що реально використовуються.

Удосконалені підходи до встановлення гідроенергетичного потенціалу річок запропоновані в роботах (*Гідроєкологічна оцінка ..., 2015, 2016, 2017; Obodovskiy et al., 2020; Ободовський та ін., 2017*);

- **зарубіжний досвід у галузі малої гідроенергетики.** Виходячи із зарубіжного досвіду, мала гідроенергетика є економічно вигідним і перспективним напрямом у виробництві електроенергії із відновлюваних джерел. Малі ГЕС вважаються інвестиційно привабливими об'єктами для кредитування, і, як наслідок – гідроенергетичний потенціал більшості розвинених країн Західної Європи і Північної Америки значною мірою вже використовується (на 75 і 69 % відповідно). До 2035 р. гідроенергетика залишатиметься основним виробником відновлюваної електроенергії у світі (*Survey of Energy Resources, 2007*), водночас темпи зростання виробництва електроенергії на малих ГЕС до 2030 р. випереджатимуть темпи зростання виробництва на великих ГЕС більше ніж удвічі;

- **відновлення об'єктів критичної інфраструктури, зруйнованих унаслідок повномасштабного російського вторгнення, та побудова нових об'єктів.** У національному плані відновлення України (*План відновлення України, 2022*), представленому на конференції в Лугано, запропонована національна програма 4 "Енергетична безпека та перехід", у пункті програми 4В "Підтримка зеленого енергетичного переходу ЄС" задекларовано підпункт 4В.1. Будівництво 5–10 ГВт ВДЕ та 3,5 ГВт ГЕС та ГАЕС (може бути вища потужність залежно від потенційного експорту). Отже, дана тематика є актуальною. Наукові дослідження та їх результати можуть стати раціональним ресурсом для реалізації даної програми з національного плану відновлення України.

Виклад основного матеріалу. Класифікації ГЕС. За встановленою потужністю (*Енергетика: історія ..., н.д.*) ГЕС поділяють на потужні – понад 1000 МВт, середньої потужності – від 30 до 1000 МВт, малої потужності (малі ГЕС) – менш як 30 МВт.

На сьогодні існує чимало класифікацій малих ГЕС: за способом створення напору, схемою основних споруд, конструкцією будівлі ГЕС, потужністю, напором, розмірами робочого колеса турбіни і т. ін. Важливою характеристикою малих ГЕС є максимальна потужність, яку може розвинути електростанція. За цим показником всі гідроелектростанції малої потужності поділяються на малі ГЕС, міні-ГЕС, мікро-ГЕС (у альпійській зоні Швейцарії – ще й піко-ГЕС). Однак у світовій практиці немає єдиної загальноприйнятої класифікації, яка б чітко визначала верхню межу потужності, за якої ГЕС вважається малою (табл. 1, (*Рябенко, Лутаєв, 2012*)).

В Україні, згідно із Законом "Про внесення змін до Закону України "Про електроенергетику" щодо стимулювання виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії" (*Атлас енергетичного потенціалу ..., 2018*) встановлена потужність мікро-ГЕС не перевищує 200 кВт, міні-ГЕС – від 200 кВт до 1 МВт, малої ГЕС – 1–10 МВт.

Мікро-ГЕС (<0,2 МВт) використовуються для електропостачання сільських населених пунктів, невеликих промислових підприємств тощо. Вони розташовуються безпосередньо у водотоці або у створі із зосередженням напором. Мікро-ГЕС доцільні для використання у регіонах, ізольованих від енергосистеми (*Обухов, 1999*).

За способом створення напору малі гідроелектростанції поділяють на гребельні, дериваційні та змішані (*Енергетика: історія ..., н.д.*). На гребельних ГЕС напір створюється підпором рівня річки греблею з утворенням водосховища. Такі ГЕС споруджуються як на рівнинних, так і на гірських річках. Дериваційними називаються ГЕС, напір на яких забезпечується створенням перепаду шляхом відведення води водоводом (трубопроводом, каналом або тунелем) до гідротурбіни. Зазвичай такі ГЕС будують на гірських річках, які характеризуються

великими похилами і малими витратами води, оскільки в таких умовах відносно невелика довжина дериваційного водоводу забезпечує великий напір. На змішаних

(гребельно-дериваційних) ГЕС напір утворюється за рахунок підпору рівня ріки греблею і створення водосховища, з якого вода відводиться у дериваційний канал.

Таблиця 1

Класифікації ГЕС малої потужності

Країни і організації	Мікро-ГЕС, кВт	Міні-ГЕС, кВт	Малі ГЕС, кВт
Міжнародна мережа малої гідроенергетики	≤ 100	101–500	501–10000
UNIDO (Організація розвитку промисловості ООН)	≤ 100	101–2000	2001–10000
ESHA (Європейська асоціація малої гідроенергетики)	–	–	≤ 15000
OLADE (Латиноамериканська енергетична організація)	≤ 50	51–500	501–5000
Китай	≤ 100	101–500	501–50000
США	≤ 500	501–2000	2001–30000
Канада	–	≤ 1000	1001–30000
Німеччина	≤ 500	501–1000	1001–5000
Швеція	–	–	101–15000
Норвегія, Японія, Бразилія	–	–	≤ 10000
Італія, Латвія	–	–	< 3000
Україна	≤ 200	201–1000	1001–10000

Залежно від величини напору і розміщення споруди ГЕС, гребельні ГЕС поділяються на руслові і пригребельні, а дериваційні – на ГЕС із безнапірною і напірною деривацією.

У руслових ГЕС машинна споруда, як і гребля, створює напір і сприймає тиск з верхнього б'єфа. Спорудження таких ГЕС характерне для рівнинних річок, які мають невеликий похил. У пригребельних ГЕС напір створює лише гребля, сама ж будівля ГЕС розташовується за греблею і не сприймає тиску води зі сторони верхнього б'єфа. Пригребельні ГЕС будують на гірських і передгірських ділянках річок, а також на рівнинних річках із глибоко врізаним руслом.

У КНУ імені Тараса Шевченка запропоновано універсальну високоекологічну малу гідроелектростанцію (УВМГЕС) (Онищук, Ободовський, 10.07.2015, 27.10.2014, 10.02.2017, 10.04.2017, 11.12.2017, 26.11.2018, 26.12.2019, 10.01.2020; Онищук та ін., 26.12.2017, 25.04.2018, 26.11.2018). Вона містить у собі турбіну на одному валу з генератором електричного струму. Сама турбіна знаходиться на опорі і має зверху подвійну обкладку. При цьому УВМГЕС має форсунку з подвійною обкладкою, яка розміщена між турбіною та підвідним напірним трубопроводом. Сама будівля станції розташована на заплаві біля самого русла або біля схилу долини чи за дамбою обвалування. Поруч розміщений акумулювальний басейн, в який надходить річкова вода через перепускну трубу. З останнього за допомогою гідравлічного сифона вона подається у зрівноважувальну ємність, розміщену на пальових опорах, з якої відбувається заповнення деривації (яка складається з напірного трубопроводу і форсунки). Відвід води з кільцевого басейну здійснюється за допомогою скидного трубопроводу в буферну ємність, де вона має частково звільнитись від молекул озону. Із цього басейну вода перекачується гідравлічним сифоном у достатньо високу ємність (заввишки не більш як 6 м, що відповідає робочим характеристикам існуючих сифонів), що дає змогу скидною трубою направитись у річку. Універсальність даного винаходу пояснюється тим, що таку конструкцію деривації можна використати для нових ГЕС на будь-якому водному об'єкті (гірській чи рівнинній річці, озері, водосховищі або біля наливного басейну) (Онищук, Ободовський, 27.10.2014).

Перевагами малої гідроенергетики вважається те, що вона характеризується прогнозованим відновлюваним енергоресурсом, низькою вартістю виробництва електроенергії порівняно з іншими джерелами,

тривалим періодом експлуатації обладнання і споруд ГЕС (експлуатаційний ресурс обладнання становить 40 років, гідроспоруд – 100 років), унікальними маневровими й мобільними властивостями (Віхорев, Соловйов, 2013). Позитивними аспектами є також незалежність від палива, відсутність відходів виробництва, зменшення обсягів викидів шкідливих речовин у атмосферу (оскільки гідроенергетика заміщує використання викопного органічного палива), невеликі терміни проектування, зведення та монтажу малих ГЕС, незначні капіталовкладення для їх спорудження та невеликий об'єм будівельних і монтажних робіт при зведенні, застосування спрощених схем виконання робіт і конструктивних рішень, низькі експлуатаційні витрати, розширення можливостей рекреації, риборозведення, виконання функцій протиаварійного захисту територій тощо.

У 2018 р. в Україні було вироблено 159 351 ГВт·год електроенергії. З них 7–10 % електроенергії виробляють гідроелектростанції, які перебувають на балансі "Укргідроенерго" (Огляд енергетичного ..., 2019).

Щодо регіонального розподілу діючих малих ГЕС (МГЕС) у 2020 р., то найбільше їх було у: Хмельницькій (28), Вінницькій (25) та Житомирській (19) областях. Значна кількість МГЕС розташована у Закарпатській (13), Черкаській, (12), Тернопільській (12), Кіровоградській (10) та Полтавській (8) областях, а найменша – в Івано-Франківській (5), Сумській (4), Київській (4), Чернівецькій (3), Львівській (2), Рівненській (2), Миколаївській (2), Чернігівській (1), Одеській (1), Харківській (1), Донецькій (1), Запорізькій (1), Херсонській (1) та Дніпропетровській (1) областях.

Сьогодні в Україні діють понад 30 приватних компаній, що інвестують у відновлювальну енергетику. Найбільші з них: "AICE Hydro A/S" (приватна компанія, Норвегія), "ANDRITZ Hydro" (дочірня компанія "ANDRITZ Technology Group", Австрія), ЗЕА "Новосвіт", ТОВ "Енергоінвест" та ін. Інвестиції направлені були переважно у Вінницьку, Черкаську, Хмельницьку, Тернопільську та Житомирську області. На сьогодні тут розташовано 64 % загальної кількості станцій, тоді як технічний гідропотенціал малих річок у цих областях становить всього 14 %.

Станом на 2020 р. в Україні діє 157 МГЕС загальною потужністю 113,993 МВт (Гідрокологічна оцінка ..., 2020).

Оцінка гідроенергетичного потенціалу річок. У 1956 р. Комітет з електроенергії Європейської економічної комісії ООН з метою упорядкування розрахунків гідроенергетичних ресурсів окремих країн прийняв рекомендації з визначення основних категорій гідроенергетичного потенціалу, а також з методики його оцінки.

Ці рекомендації встановлювали таку класифікацію у визначенні потенціалу:

1. Теоретичний валовий (брутто) гідроенергетичний потенціал:

а) поверхневий, який враховує енергію стікаючих вод на території цілого району або окремого річкового басейну;

б) річковий, що враховує енергію водотоку.

2. Експлуатаційний чистий (нетто) гідроенергетичний потенціал:

а) технічний – частина теоретичного валового річкового потенціалу, яка технічно може бути використана або вже використовується;

б) економічний – частина технічного потенціалу, використання якої в реальних умовах економічно може бути виправдане.

Методичним аспектам оцінювання гідроенергетичного потенціалу малих річок присвячені праці (Васько та ін., 2012 та інші). За М.М. Цепендою (Цепенда, 2009), для розрахунку теоретичного валового гідроенергетичного потенціалу варто використовувати лише річковий потенціал, оскільки поверхневий гідроенергетичний потенціал врахувати на сьогодні немає можливості. Для визначення річкового теоретичного гідроенергетичного потенціалу в практиці розрахунків використовуються такі методи, як метод "лінійного обліку" ("подільного обліку"); метод наближеної оцінки енергоресурсів за кількісним зв'язком між потенційною і умовною теоретичною потужністю потоку; метод "середньої річки".

В Атласі енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України на основі бази розрахункових даних представлено осучаснені показники річного технічно-досяжного енергетичного потенціалу відновлюваних джерел України, який можна реалізувати за допомогою технічних засобів для наступних напрямів освоєння: енергія вітру, сонячна енергія, енергія малих річок, геотермальна енергія, енергія біомаси. Інформаційно-аналітична система оцінки енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України являє собою єдине інформаційне середовище із взаємозв'язаною картографічною і цифровою інформацією, довідковим, методичним та програмним забезпеченням. У рамках цієї структури в Атласі застосовано сучасні засоби комп'ютерного картографування інформації. Інформаційну підтримку реалізовано шляхом розробки нових і удосконалення відомих методик, а також використання лише валідних даних довгострокових спостережень. Додатково представлено інформацію щодо розміщення об'єктів на основі відновлюваних джерел енергії, впроваджених на сьогодні на території областей України (Атлас енергетичного потенціалу ..., 2018).

Дослідницька група з НДС гідроекології та гідрохімії географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка провела детальні дослідження гідроенергетичного потенціалу річок України (Гідроекологічна оцінка ..., 2015, 2016, 2017, 2020). Всього для оцінювання було залучено 1824 річок із площами водозбору, не менших за 100 км² та середніми багаторічними витратами води понад 0,3 м³/с для рівнинних та 30 км² річок (завдовжки не менш як 10 км) і витратами води понад 0,3–0,7 м³/с для гірських річок. На основі повздовжніх профілів річок та з урахуванням річкової мережі на всіх досліджуваних річках було виділено 4630 ділянок для встановлення гідроенергетичного потенціалу. Виявлено, що розподіл показників загального гідроенергетичного потенціалу районів річкових басейнів України у цілому сягає 3459457 кВт (майже 3459,5 МВт). Загальний гідроенергетичний потенціал

річки Дніпро в природних умовах водного стоку становить близько 1365 МВт. Отже, загальний гідроенергетичний потенціал річок України згідно з новим гідрографічним її районуванням (Гребінь та ін., 2013) сягає 4824,5 МВт (Гідроекологічна оцінка ..., 2017, 2020).

Крім того, були розроблені методики визначення екологічного та технічно можливого гідроенергетичних потенціалів річок і експертної оцінки збалансованого розміщення необхідної кількості малих гідроелектростанцій на території суббасейнів України. Зокрема, рекомендується п'ятибальна експертна оцінка екологічного техніко-економічно можливого використання гідроенергетичного потенціалу річок з урахування збалансованого розміщення високоекологічних малих ГЕС (Obodovskiy et al., 2020; Hydropower Potential Assessment ..., 2021; Ободовський та ін., 2017, 2016).

Екологічні аспекти використання гідроенергетичного потенціалу річок. Екологічний підхід дає змогу збалансовано використовувати гідроенергетичний потенціал річок України. Важливим екологічним аспектом використання гідроенергетичного потенціалу річок є врахування наявності природоохоронних зон усіх типів при будівництві об'єктів малої гідроенергетики (Гідроекологічна оцінка ..., 2016, 2017).

Інноваційними є розробки науковців Київського національного університету імені Тараса Шевченка (Онищук, Ободовський, 10.07.2015, 27.10.2014, 10.02.2017, 10.04.2017, 11.12.2017, 26.11.2018, 26.12.2019, 10.01.2020; Онищук та ін., 26.12.2017, 25.04.2018, 26.11.2018). Серед них: патенти на корисні моделі способів розміщення і конструктивних особливостей малих високоекологічних ГЕС та технологій їх оптимізації, раціоналізації, інновацій та використання на гірських та рівнинних річках.

Вирішуючи питання про доцільність чи недоцільність використання гідроенергетичного потенціалу малих річок, слід усвідомлювати, що будь-яка мала ГЕС спричиняє певні небажані наслідки у природному середовищі. Адже навіть один із законів екології, сформульованих Б. Коммонером, говорить про те, що "ніщо не дається дарма", тобто будь-яке досягнення супроводжується певними втратами. Саме тому важливе значення має об'єктивна оцінка всіх переваг і недоліків спорудження малих ГЕС (як і виробництва електроенергії за допомогою інших джерел). Тому підходи до використання саме високоекологічних малих гідроелектростанцій є актуальними і перспективними в цьому контексті (Гідроекологічна оцінка ..., 2015, 2016, 2017, 2020).

Сучасний стан і перспективи подальших досліджень. Тенденції розвитку української енергетики. Розгляд проблем та перспектив розвитку малої гідроенергетики в Україні неможливий без аналізу сучасного стану галузі. Для аналізу візьмемо індикатор енергетичного виробництва – динаміку виробництва первинної енергії. За статистичними даними, що оприлюднені Державною службою статистики України в збірнику "Паливно-енергетичні ресурси України" за 2018 р., динаміка виробництва первинної енергії за джерелами виробництва з 2007 по 2018 р. характеризується тенденцією до зменшення виробництва електроенергії з вугілля та торфу, а також із сирової нафти; стабільні показники виробництва електроенергії в галузі атомної енергетики та з природного газу. У цей же час частка виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії: гідро, вітрової та сонячної – дуже мала. Проте простежується тренд зростання частки виробленої енергії з біопалива та відходів (рис. 1) (Огляд енергетичного ..., 2019).

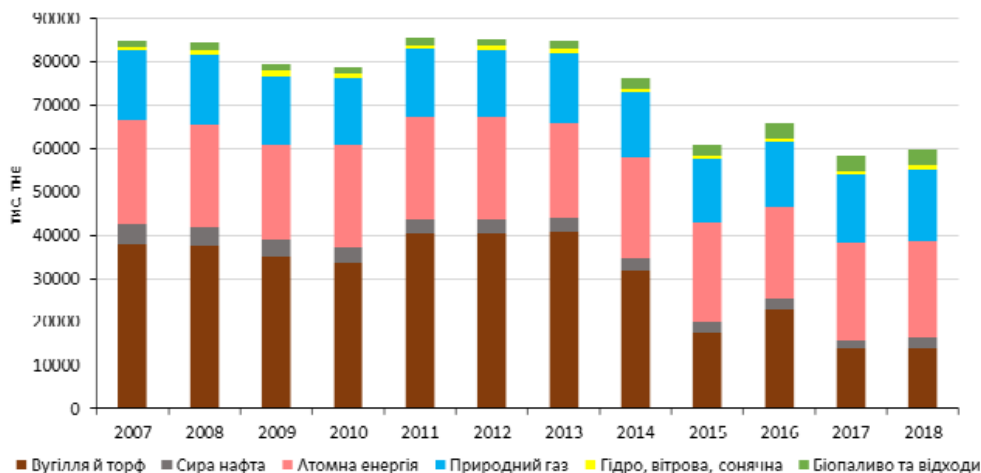


Рис. 1. Виробництво первинної енергії

У 2018 р. виробництво електроенергії з відновлюваних джерел енергії в Україні становило 8,2 % (13 млрд кВт·год.) від загального виробництва електроенергії. У структурі виробництва переважає виробництво електроенергії на ГЕС – 6,5 % (10,4 млрд кВт·год.). Слід

зазначити, що частка у виробництві електроенергії вітрових електростанцій, сонячних електростанцій і біопалива та відходів доволі мала: 0,8 % (1,2 млрд кВт·год.), 0,7 % (1,1 млрд кВт·год.), 0,2 % (0,3 млрд кВт·год.) відповідно (рис. 2) (Огляд енергетичного..., 2019).

13 млрд кВт·год всього – це 8,2% загального виробництва електроенергії.

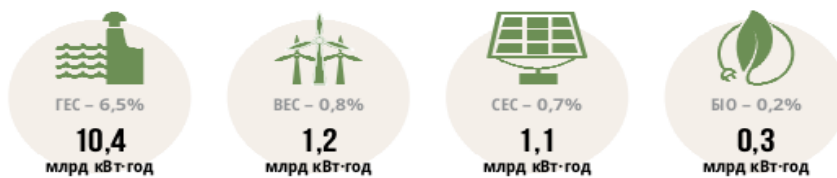


Рис. 2. Виробництво електроенергії з ВДЕ в Україні в 2018 р.

Аналізуючи сучасний стан галузі, не можна не враховувати фактор кон'юнктури енергетичного ринку України. За офіційними статистичними даними, у 2018 р. попит споживачів на електроенергію, вироблену з відновлюваних джерел енергії, менший від існуючої пропозиції на ринку. Що підтверджує неконкурентоспроможність "зелених тарифів" на енергетичному

ринку (рис. 3) (Огляд енергетичного ..., 2019). У той час у світі за останні 15 років спостерігається тренд до зростання потужностей відновлюваної енергетики і, зокрема, зростання частки потужностей гідроенергетики у структурі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) до 50 % (Паливно-енергетичні ресурси України, 2018).



Рис. 3. Структура загального (а) постачання первинної енергії і кінцевого (б) споживання енергії за 2018 р.

За прогнозними даними щодо виробництва електроенергії в Україні на періоди на 2025, 2030 та 2035 рр. можуть бути такі показники: 12, 13 та 13 млрд кВт·год.

Серед проблем розвитку малої гідроенергетики в Україні в окремі напрями можна виділити:

- відсутність оновленої і детальної інформації про гідроенергетичний потенціал малих річок України;
- відсутність державної координації у розміщенні малих ГЕС, стимулюванні процесу відродження малої

гідроенергетики і координації дій суб'єктів господарювання та інвесторів, неконкурентоспроможний на ринку електроенергії "зелений тариф";

- слабка виробнича та ремонтна база підприємств, які випускають гідротехнічне обладнання для малих ГЕС, необхідність розроблення державної програми серійного виготовлення вітчизняного обладнання для малих ГЕС;
- недосконалість нормативно-правової бази та практично повна відсутність нормативно-технічної бази,

системи нормування, стандартизації і технічного регулювання у сфері створення та експлуатації малих ГЕС;

- відсутність методик оцінки і прогнозування можливого впливу малих ГЕС на природне середовище та господарську діяльність тощо.

"Зелений" тариф на електричну енергію. Однією з важливих проблем відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) – це існування неконкурентоспроможного на ринку електроенергії "зеленого тарифу". Протягом останніх років Україна намагалася збільшити частку ВДЕ в енергетичному балансі в рамках сприяння ефективності та безпеці. Зокрема, Енергетична стратегія України передбачає зростання загального обсягу використання ВДЕ до 12 % до 2025 р. та до 25 % до 2035 р., у тому числі для виробництва електроенергії. У рамках

стимулювання розвитку сектору відновлюваної енергетики Україна запровадила систему "зелених" тарифів для закупівлі електроенергії, виробленої з ВДЕ, та її передачі загальними мережами. Тарифи відрізняються залежно від виробника та типу альтернативного джерела енергії. Їхній коефіцієнт запроваджується на рівні роздрібного тарифу для споживачів другого класу напруги на січень 2009 р., помноженого на коефіцієнт "зеленого" тарифу для електричної енергії, виробленої споживачами, у тому числі енергетичними кооперативами, з гідроенергії генеруючими установками, встановлена потужність яких не перевищує 150 кВт (табл. 2) (*Енергетична стратегія України ...*, 2013, 2017; *Концепція "зеленого" ...*, 2020).

Таблиця 2

Коефіцієнт "зеленого" тарифу для категорій об'єктів електроенергетики (*Концепція "зеленого" ...*, 2020)

Категорії об'єктів електроенергетики, для яких застосовується "зелений" тариф	Коефіцієнт "зеленого" тарифу для об'єктів або його черг/пускових комплексів, введених в експлуатацію			
	2013–2014 рр.	2015–2019 рр.	2020–2024 рр.	2025–2029 рр.
для електроенергії, виробленої мікрогідроелектростанціями	3,6	3,24	2,92	2,59
для електроенергії, виробленої мінігідроелектростанціями	2,88	2,59	2,33	2,07
для електроенергії, виробленої малими гідроелектростанціями	2,16	1,94	1,75	1,55

Для електроенергетичних установок, які виробляють електроенергію з альтернативних джерел енергії та використовують обладнання українського виробництва, передбачені надбавки до "зеленого" тарифу, аукціонної ціни. Законом передбачена надбавка в розмірі 5 % до "зелених" тарифів для виробників, які беруть участь в аукціоні, що використовують 30–50 % обладнання українського виробництва, і надбавка в розмірі 10 % за використання 50 % і більше обладнання українського виробництва (Закон України "Про альтернативні джерела енергії" (зі змінами та доповненнями від 22 травня 2019 року) (*Огляд енергетичного ...*, 2019).

Енергетична стратегія України. На жаль, ще й досі на загальнодержавному рівні відсутня оновлена і детальна інформація про гідроенергетичний потенціал малих річок України (*Гребінь та ін.*, 2013; *Закон України ...*, 2016), а також державна координація у розміщенні малих ГЕС. Проте позитивним є те, що триває робота з уточнення економічно доцільного гідроенергопотенціалу України, у тому числі на раніше споруджених водосховищах і на об'єктах утилізації енергетичних скидів технічних систем водозабезпечення та водовідведення. Згідно з "Енергетичною стратегією України на період до 2030 року" в галузі малої гідроенергетики передбачається здійснити:

- реконструкцію та відновлення МГЕС загальною потужністю 135 МВт;
- будівництво нових МГЕС на річці Тиса та її притоках загальною потужністю 400 МВт;
- будівництво нових МГЕС на річці Дністер і її притоках загальною потужністю 560 МВт;
- будівництво нових децентралізованих МГЕС на малих водотоках (загальна потужність – 45 МВт).

До 2030 р. передбачається довести генеруючу потужність всіх МГЕС України до 1140 МВт з річним обсягом виробництва електрики 3,75 млрд кВт·рік. Розвиток малої гідроенергетики сприятиме децентралізації загальної енергетичної системи, що зніме ряд проблем в енергопостачанні віддалених і важкодоступних сільських регіонів. Малі гідроелектростанції можуть стати суттєвою складовою енергозабезпечення регіонів України.

В енергетичній стратегії передбачається розроблення та затвердження Схеми комплексного використання водних і гідроенергетичних ресурсів річок України та уточнення невикористаного економічно ефективного гідроенергетичного потенціалу, а також вказано на необхідність оновлення регіональних програм розвитку малої гідроенергетики з урахуванням питань будівництва нових малих ГЕС у комплексі інфраструктури для захисту від повеней.

У стратегічних документах у контексті розвитку малої гідроенергетики визнано одним з необхідних заходів підготовку експертних висновків щодо визначення гідроенергетичного потенціалу та місць для встановлення об'єктів малої гідроенергетики (у рамках заходу з удосконалення організаційної структури водогосподарського комплексу для забезпечення протипаводкового захисту). Однак такі дослідження потенціалу розміщення ВДЕ (зокрема, малих ГЕС) не пов'язують з обов'язковим комплексним розглядом також на предмет доцільності з погляду екологічної безпеки.

Зростають перспективи використання відновлюваних джерел енергії (у тому числі енергії малих річок) в Україні і у зв'язку з ратифікацією "Протоколу про приєднання до Договору про створення Енергетичного Співтовариства" у 2010 р., оскільки у рамках цього документу Україна взяла на себе зобов'язання відповідати нормам Директиви 2001/80/ЄС зі зниження викидів забруднюючих речовин (пилу, оксидів сірки й азоту) великими паливо-вспалювальними установками до 01.01.2018 р. (*Левіна*, 2018). За умови оптимального розвитку мала гідроенергетика України мала б можливість виробництва близько 6,4–6,8 млрд кВт·год електроенергії, що еквівалентно заміщенню органічного палива в обсязі 2,2–2,4 млн тонн (*Закон України ...*, 2019).

Варто зазначити, що у 2019 р. були видані "Науково-методичні рекомендації щодо підготовки звіту ОВД при будівництві малої ГЕС" (*Науково-методичні рекомендації ...*, 2019), що мають позитивно вплинути на розвиток галузі. Методичний посібник розроблено в обсязі екологічного блоку міжнародної системи оцінки Environmental and Social Impact Assessment (ESIA), яку застосовують

при наданні кредитів Групи світового банку (ЄБРР, МФК, СБ та ін.), у тому числі для фінансування будівництва гідроенергетичних об'єктів відповідно до "Екологічної і соціальної політики ЄБРР", з урахуванням Керівних принципів сталого розвитку гідроенергетики у басейні Дунаю, Директиви ЄС зі стимулювання використання енергії з відновлювальних джерел, Водної рамкової директиви ЄС та міжнародного досвіду, а також нормативних документів України та іншої офіційної інформації, з урахуванням останніх досягнень гідроенергетики. Посібник містить практичні рекомендації щодо підготовки звіту з ОВД залежно від типу гідроспоруд, регіону планової діяльності та потенційних ризиків, що можуть виникнути під час будівництва/реконструкції чи експлуатації малих гідроелектростанцій, а також настанови щодо необхідного збору матеріалів та розробки компенсаторних заходів. У ньому розглянуто основні ризики та типи ефектів, що можуть виникнути у процесі будівництва чи експлуатації малих гідроелектростанцій; запропоновано пояснення, яких негативних наслідків при цьому можна уникнути або принаймні звести їх до мінімуму за різних умов. Також висвітлюються такі актуальні та важливі для розвитку МГЕС питання: нормативно-правові акти щодо процедури оцінки впливу на довкілля в Україні; визначення встановленої потужності станції, визначення обсягу досліджень та рівня деталізації інформації; визначення факторів довкілля, які, ймовірно, зазнають впливу; опис можливого впливу на довкілля; сукупний вплив каскадів МГЕС; підбір та опис методів прогнозування наслідків впливів; розробка заходів, спрямованих на запобігання негативного впливу та пошуки компенсаторних механізмів; приклади компенсаторних заходів; демонтаж гідроспоруд у разі припинення діяльності чи виникнення аварійних ситуацій; розробка програми екологічного моніторингу та ін. Практичні рекомендації є саме тим інструментом, що дозволить будувати нові МГЕС з якомога вищою ефективністю як економічною, так і екологічною (*Науково-методичні рекомендації...*, 2019).

За підтримки громадської спілки "Всесвітній фонд природи. Україна" група науковців представила методику визначення особливо цінних ділянок річки з метою їхнього збереження та охорони, яка була використана як методологічна основа для Проекту Закону України "Про внесення змін до деяких законодавчих актів з метою збереження річок". Методика, розроблена відповідно до Водного кодексу України та Законів України "Про охорону навколишнього природного середовища", "Про екологічну мережу України", "Про природно-заповідний фонд України", з урахування вимог Директиви 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради "Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики" від 23 жовтня 2000 року (*Методика визначення...*, 2019), чітко і детально окреслює шляхи визначення та оцінки особливо цінних ділянок річки та може слугувати "дорожньою картою" для інвесторів при виборі ділянок під будівництво МГЕС. Методика дозволяє зберегти унікальні цінні ділянки річок або, навпаки, використовувати ділянки річок із 100-відсотковою впевненістю щодо їх придатності до забудови. Така детальна оцінка ділянок річок робить процес створення МГЕС більш "прозорим" та дає змогу суттєво підняти рівень довіри місцевої громади до інвестора.

Перспективи використання гідроенергетичного потенціалу річок України. З початку ХХ ст. в Україні були побудовані малі ГЕС на багатьох малих річках. На кінець 1940-х – першу половину 50-х років чисельність малих гідроелектростанцій в Україні становила понад 950 із загальною встановленою потужністю 300 МВт (у 70-ті –

понад 1500 МГЕС). Однак у зв'язку з розвитком централизованого електропостачання і тенденцією виробництва електроенергії на потужних ТЕС (ТЕЦ), ГЕС та АЕС, будівництво МГЕС в середині 60-х років минулого століття було майже повністю призупинено, а пізніше припинено зовсім. Більшість існуючих малих ГЕС були згодом демонтовані, сотні з них зруйновані.

Натомість гідроенергетика на МГЕС набула широкого розвитку у багатьох розвинутих країнах як Європи, так і світу – у Швейцарії відсоток виробництва електроенергії на малих ГЕС становить 8,3 %, в Іспанії – 2,8 %, у Швеції – майже 3 %, а в Австрії – 10 %. Ще більш вражаючих показників вдалося досягти Китаю, близько 18–20 % всієї електроенергії тут виробляють понад 80 тисяч МГЕС (*Лежнюк та ін.*, 2011).

В Україні відновлення малої гідроелектрогенерации розпочалося лише на початку нового тисячоліття. Цьому питанню може сприяти впровадження "зеленого тарифу". Рентабельність генерації і досить швидка окупність проєктів (близько 5–7 років) зацікавила приватного інвестора. Однак широкого розвитку малої гідроенергетики в нашій країні не відбулось у зв'язку з великим спротивом громадськості. Наприклад, так звана історія намірів будівництва малої ГЕС на Росі біля м. Біла Церква сягає десяти років (*Екологічна проблема № 1...*, 2016).

Виходячи з основних положень міжнародних стандартів (*WaterQuality...*, 2005), технічне використання загального (теоретичного) гідроенергетичного потенціалу не повинно виходити за межі екологічного гідроенергетичного потенціалу (допустимого за умовами збереження природного стану річок). За такого підходу річковий стік буде обґрунтовано допущеним до альтернативних джерел енергетики. Для гірських та малих за водністю рівнинних річок технічно можливе використання гідроенергетичного потенціалу не повинно перевищувати 20–40 % від загального (теоретичного) гідроенергетичного потенціалу, оскільки це погіршить гідробіологічні умови водного об'єкта загалом. У цьому контексті слід зауважити, що погіршення гідробіологічних умов для традиційних ГЕС пов'язане зі значним дискретним відбором річкового стоку (*Гідроенкологічна оцінка...*, 2015, 2016, 2017, 2020).

Технологічна парадигма розвитку малої гідроенергетики. Сучасні технології будівництва малих ГЕС є модернізованими варіантами конструктивних елементів (робочих органів), які обґрунтовані на старих традиційних методологічних підходах щодо використання гідроенергетичного потенціалу річок (*Онищук, Ободовський*, 10.07.2015, 27.10.2014, 10.02.2017, 10.04.2017, 11.12.2017, 26.11.2018, 26.12.2019, 10.01.2020; *Онищук та ін.*, 26.12.2017, 25.04.2018, 26.11.2018). Експлуатація таких ГЕС не може кардинально вирішити проблему розвитку гідроенергетики, оскільки потужності їх є незначними, а сумарний вплив на русловий режим надзвичайно суттєвий. Натомість розвиток великої гідроенергетики потребує значних матеріальних і фінансових затрат, які будуть окупатись протягом багатьох років з урахуванням реальних незворотних змін навколишнього середовища. Крім того, для їх будівництва вкрай мало зручних місць.

Переваги малої гідроенергетики за новими технологічними підходами щодо високоекологічного використання водних ресурсів (*Гідроенкологічна оцінка...*, 2015, 2016, 2017; *Онищук, Ободовський*, 10.07.2015, 27.10.2014, 10.02.2017, 10.04.2017, 11.12.2017, 26.11.2018, 26.12.2019, 10.01.2020; *Онищук та ін.*, 26.12.2017, 25.04.2018, 26.11.2018) можуть бути сформульовані таким чином:

- виробництво електроенергії без використання викопного органічного та ядерного палива;

- значний термін служби та висока надійність експлуатації;
- передбачуваність та забезпеченість режимів роботи станції при зміні напруги в мережі споживачів;
- висока маневреність і коефіцієнт готовності станції для підключення до єдиної енергетичної системи;
- можливість повної автоматизації процесу експлуатації;
- мінімальний вплив на навколишнє середовище при правильному виборі місця розташування ГЕС та дотримання екологічного законодавства;
- мінімальний вплив на ландшафт та незначне відчуження земельних ділянок;
- додаткові можливості для ведення рибного господарства, зрошення, водопостачання;
- експлуатація ГЕС за малих витрат води (у межах від 30 до 400 л/с) і її скидання поруч з водозабором практично не змінює режимів рівнів води в басейні, ставку, річці, озері, водосховищі.

Перспективним напрямом будівництва малих та середніх за потужністю ГЕС є використання електромагнітного поля на окремих елементах деривації (при збереженні сучасних традиційних за базовою конструкцією усіх інших об'єктів гідроенергетики). У цьому контексті задекларовані нові конструктивні елементи деривації ГЕС та їх раціональне комплексне розміщення на гірських і рівнинних річках (Онищук, Ободовський, 10.07.2015, 27.10.2014, 10.02.2017, 10.04.2017, 11.12.2017, 26.11.2018, 26.12.2019, 10.01.2020; Онищук та ін., 26.12.2017, 25.04.2018, 26.11.2018). Гідроелектростанції з новою конструкцією деривації були науково обґрунтовані і отримали назву – високоекологічні малі гідроелектростанції (ВЕМГЕС). В їх основі використано підходи до поліпшення конструктивних елементів деривації високоекологічної малої ГЕС, які змогли б успішно конкурувати з існуючими малими та середніми за потужністю ГЕС у безпечному екологічному режимі її експлуатації.

Висновки. Аналіз попередніх досліджень засвідчив доволі розгалужений їх спектр у галузі гідроенергетики та гідроенергетичного потенціалу річок України. Оцінка виробництва первинної енергії засвідчила доволі малу частку відновлювальної енергетики взагалі і малої гідроенергетики зокрема, особливо в її генерації, що не відповідає загальним світовим тенденціям. Розроблено нові підходи щодо оцінки гідроенергетичного потенціалу річок України та впровадження високоекологічних МГЕС у реальний енергетичний сектор, що є перспективним щодо вирішення гідроенергетичних питань на гірських і рівнинних річках України. Експлуатація високоекологічних малих ГЕС дозволить розв'язати цілий ряд інших проблем, а саме: підвищити якість річкової води, поліпшити гідробіологічний стан водних об'єктів; отримати дешеву за собівартістю електроенергію та відкрити нові робочі місця.

Список використаних джерел

- Архипова, Л.М. (2011). Природно-техногенна безпека гідроенергостис-тем. Монографія. ІФ: ІФНТУНГ, 366.
- Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. (2020). Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 82 с.
- Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України. (н.д.). Отримано 15.08.2018 з: <http://live.org.ua/atlas.html>
- Білецький, П. (2014). Малі ГЕС: енергонебезпечність чи надумана небезпека? *Новини Закарпаття*, 66–67, (4237–4238), 8.
- Васко, П.Ф., Бриль, А.О., Мороз, А.В. (2012). Визначення гідроенергетичного потенціалу малих річок за довірливої забезпеченості витрат води. *Відновлювана енергетика*, 1, 42–49.
- Віхорев, Ю.О., Соловйов, П.Б. (2013). Вирішення проблем розвитку малої гідроенергетики України потребує загальнодержавної координації. *Відновлювана енергетика*, 1(32), 69–75.

Гідроенергетична оцінка енергетичного потенціалу річок басейну Дніпра (в межах України) в умовах змін клімату. (2016). *Звіт про НДР (проміжний) № 16БП050-01*. Київський національний університет імені Тараса Шевченка. № ДР 0116U004827.К., 192 с.

Гідроенергетична оцінка енергетичного потенціалу річок басейну Дніпра (в межах України) в умовах змін клімату. (2017). *Звіт про НДР (заключний) № 16БП050-01*. Київський національний університет імені Тараса Шевченка. № ДР 0116U004827.К., 291 с.

Гідроенергетична оцінка та прогноз гідроенергетичного потенціалу річок України в умовах кліматичних змін. (2020). *Звіт про НДР (остаточний) № 18БП050-01*. Київський національний університет імені Тараса Шевченка. № ДР 0118U001098.К., 687 с.

Гідроенергетична оцінка та прогноз енергетичного потенціалу річок Українських Карпат. (2015). *Звіт про НДР (заключний) № 14БП050-01*. Київський національний університет імені Тараса Шевченка. № ДР 0114U003482.К., 336 с.

Голованов, І.М. (2007). Оцінка інвестиційної привабливості проєктів спорудження та реконструкції малих ГЕС. *Матер. VIII міжнарод. конф. "Відновлювана енергетика XXI століття"*, АР Крим, Миколаївка, 17–21 вер. 2007, 200–201.

Голованов, І.М. (2012). Особливості використання гідронасосів у турбінному режимі для об'єктів малої гідроенергетики. *Відновлювана енергетика*, 2, 58–64.

Гребін, В.В., Яцюк, М.В., Чунарьов, О.В. (2013). Гідрографічне районування території України: принципи, критерії, порядок здійснення. *Гідрологія, гідрохімія і гідроенергетика*, 1, 6–16.

Екологічна проблема № 1: масове будівництво ГЕС на річках України. (2016). <http://pryroda.in.ua/miniges/mala-hes-na-richtsi-ros/>

Енергетика: історія, сучасність і майбутнє 2012–2013. (н.д.). Отримано 11.10.2019 з: <http://energetika.in.ua/ua/about-books>

Енергетична стратегія України на період до 2030 року. (2013). Схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України № 1071 від 24.07.2013 р. Отримано 11.10.2020 з: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13#n3>

Енергетична стратегія України на період до 2035 року "Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність". (2017). Схвалена розпорядженням Уряду від 18 серпня 2017 р. № 605-р. Отримано 11.10.2020 з: <http://195.78.68.67/minugol/doccatalog/document?id=245234103>

Закон України "Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії". (2019). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2712-19>

Закон України "Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом". (2016). <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/en/1641-19>

Касян, В.П., Лебедь, А.Г. (2011). Оптимизация работы модели водяной турбины типа ротора Дарье с активным управлением лопастями. *Відновлювана енергетика*, 4, 42–48.

Концепція "зеленого" енергетичного переходу України до 2050 року. (2020). Отримано 21.01.2020 з: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?sessionId=12D73B364595AE9BC3059133CE27EA7A.app1?art_id=245434883&cat_id=35109

Левіна, Г. (2018). Мала гідроенергетика України. Стислий огляд законодавства України щодо основних засад розвитку малої гідроенергетики. І частина, 46 с.

Методика визначення особливо цінних ділянок річки з метою їхнього збереження та охорони. (2019). WWF України, 20 с.

Науково-методичні рекомендації щодо підготовки звіту ОВД при будівництві малої ГЕС. (2019). Методичний посібник. За ред. С.О. Афанасьєва. Київ, 94 с.

Ободовський, О., Данько, К., Почаєвець, О. (2017). Загальний гідроенергетичний потенціал річок Українських Карпат. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Географія*, 1 (66), 15–28. DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2721.2017.66.2>

Ободовський, О., Данько, К., Почаєвець, О., Ободовський, Ю. (2016). Методика встановлення гідроенергетичного потенціалу річок (на прикладі річок Українських Карпат). *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Географія*, 1 (64), 5–12. DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2721.2016.64.1>

Обухов, Є.В. (1999). Використання відновлювальних джерел енергії. Навч. посібник. Одеса: ТЕС, 254 с.

Огляд енергетичного сектору України. Інституції, управління та політичні засади OECD. (2019). 78 с.

Онищук, В.В., Ободовський, О.Г. (10.01.2020). Високоекологічна гідроелектростанція з шестифазними генераторами. *Патент України на корисну модель № 139617*. Опубл. *Бюл.*, № 1, 2020.

Онищук, В.В., Ободовський, О.Г. (10.01.2020). Генератор шестифазного перемінного електричного струму. *Патент України на корисну модель № 139618*. Опубл. *Бюл.*, № 1, 2020.

Онищук, В.В., Ободовський, О.Г. (10.02.2017). Універсальна високоекологічна мала гідроелектростанція (УВМГЕС). *Патент України на корисну модель № 113587*. Опубл. *Бюл.*, № 3, 2017.

Онищук, В.В., Ободовський, О.Г. (10.04.2017). Універсальний гідравлічний сифон. *Патент України на корисну модель № 115332*. Опубл. *Бюл.*, № 7, 2017.

Онищук, В.В., Ободовський, О.Г. (10.07.2015). Спосіб розміщення високоекологічної малої ГЕС. *Патент України на корисну модель № 100050*. Опубл. *Бюл.*, № 13, 2015.

Онищук, В.В., Ободовський, О.Г. (11.12.2017). Високоекоекологічна гідроелектростанція. *Патент України на корисну модель №121730*. Опубл. *Бюл.*, № 23, 2017.

Онищук, В.В., Ободовський, О.Г. (26.11.2018). Модернізована високоекоекологічна гідроелектростанція. *Патент України на корисну модель № 130189*. Опубл. *Бюл.*, № 22, 2018.

Онищук, В.В., Ободовський, О.Г. (26.12.2019). Високопотужна високоекоекологічна гідроелектростанція. *Патент України на корисну модель № 139302*. Опубл. *Бюл.*, № 24, 2019.

Онищук, В.В., Ободовський, О.Г. (27.10.2014). Високоекоекологічна мала ГЕС. *Патент України на корисну модель №93887*. Опубл. *Бюл.*, № 20, 2014.

Онищук, В.В., Ободовський, О.Г., Почаєвцев, О.О. (26.11.2018). Спосіб регулювання мінімального стоку гірських річок. *Патент України на корисну модель № 130190*. Опубл. *Бюл.*, № 22, 2018.

Онищук, В.В., Ободовський, О.Г., Хабель, М. (25.04.2018). Високоекоекологічна гідроелектростанція. *Патент України на корисну модель №124817*. Опубл. *Бюл.*, № 8, 2018.

Онищук, В.В., Ободовський, О.Г., Хабель, М. (26.12.2017). Універсальна високоекоекологічна гідроелектростанція. *Патент України на корисну модель №121863*. Опубл. *Бюл.*, № 24, 2017.

Паливно-енергетичні ресурси України. (2018). Статистичний збірник. Державна служба статистики України. Київ, 194 с.

План відновлення України. (2022) Отримано 22.10.2022 з: <https://ua.urc2022.com/plan-vidnovlennya-ukrayini>

Рябенко, О.А., Лутаєв, В.В. (2012). Сучасні тенденції в будівництві малих ГЕС в Україні. *Гідроенергетика України*, 2, 45–49.

Хоменко, В.О., Лежнюк, П.Д. (2012). Аналіз стану та перспективи розвитку малої гідроенергетики в Україні. Експлуатація малих ГЕС та каскадів малих ГЕС в сучасних умовах. *Вісник Вінницького політех. ін-ту*, 6, 118–123.

Цепенда, М.М. (2009). Методичні особливості економіко-географічної оцінки гідроенергетичного потенціалу Середнього Придністров'я. *Наук. записки Вінницького держ. ун-ту ім. М. Коцюбинського. Географія*, 18, 211–219.

Яцик, А.В., Яцик, В.А., Басюк, Т.О. (2011). Управління розвитком та ефективністю використання малої гідроенергетики в Україні. *Гідроенергетика України*, 3-4, 7–10.

Hydropower Potential Assessment: mountain rivers of Ukrainian Carpathians. (2021). O.Obodovskiy (Ed.). LAP Lambert Akademik Publishing, 122 p.

Obodovskiy, O.G., Danko, K.Yu., Pochayevets, O.O., Onyshchuk, V.V., Snizhko, S.I., Lukyanets, O.I. (2020). Methodic Aspects of Hydroecological Assessment of Hydropower Potential of the Plain Rivers' (by Example of Dnieper Right-Bank Rivers). *Hydrobiological Journal*, 56, 4, 84–102. DOI: 10.1615/HydrobJ.v56.i4.70

Water Quality. (2005). EN14614:2004. Guidance Standard for assessing the hydromorphological features of rivers. Brussels: CEN, European Committee for Standardization, 24 p.

Survey of Energy Resources. (2007). Hydropower. London: World Energy Council, 600 p.

References

Atlas of Energy Potential of Renewable and Non-Traditional Energy Sources of Ukraine. (n.d.). Retrieved 15.08.2018 from: <http://live.org.ua/atlas.html> [in Ukrainian]

Atlas of Energy Potential of Renewable Energy Sources of Ukraine. (2020). Kyiv: Institute for Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, 82. [in Ukrainian]

Biletsky, P. (2014). Small hydropower plants: energy dependence or a contrived threat? *Novyny Zakarpattya*, 66–67, (4237–4238), 8. [in Russian]

Cependa, M.M. (2009). Methodological Peculiarities of Economic and Geographic Assessment of Hydroenergetic Potential of the Middle Dniester Region. *Notes of the Vinnytsia State Pedagogical University named after M. Kotsyubynskiy. Geography*, 18, 211–219. [in Ukrainian]

Concept of Green Energy Transition of Ukraine until 2050. (2020). http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?jsessionid=12D73B364595AE9BC3059133CE27EA7A.app1?art_id=245434883&cat_id=35109 [in Ukrainian]

Energy strategy of Ukraine for the period up to 2030. (2013). Captured by the Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 1071 of 24.07.2013. Retrieved 11.10.2020 from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13#n3> [in Ukrainian]

Energy Strategy of Ukraine for the period up to 2035 "Safety, energy efficiency, competitiveness". (2017). Approved by the Order of the Government of Ukraine of 18 September 2017 № 605-r. Retrieved 11.10.2020 from: <http://195.78.68.67/minugol/doccatalog/document?id=245234103> [in Ukrainian]

Energy: History, Modernity and the Future 2012–2013. (n.d.). Retrieved 11.10.2019 from: <http://energetika.in.ua/ua/about-books> [in Ukrainian]

Environmental Problem No. 1: Massive construction of hydropower plants on rivers of Ukraine (2016). <http://pryroda.in.ua/miniges/mala-hes-na-richtsiros/>. [in Ukrainian]

Golovanov, I.M. (2007). Estimation of Investment Privatization of Projects of Construction and Reconstruction of Small Hydroelectric Power Plants. *VIII International Conference "Renovated Energy of the XXI Century", Autonomous Republic of Crimea, Mykolayivka, May 17-21 2007*, 200-201. [in Ukrainian]

Golovanov, I.M. (2012). Peculiarities of Use of Hydropumps in Turbine Mode for Small Hydropower Objects. *Renewable Energy*, 2, 58-64. [in Ukrainian]

Grebin, V.V., Yatsyuk, M.V., Chunariv, O.B. (2013). Hydrographic zoning of the territory of Ukraine: principles, criteria, order of implementation. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 1, 6-16. [in Ukrainian]

Hydrological and ecological assessment and forecast of hydropower potential of Ukrainian rivers under conditions of climatic changes. (2020). *Report on the results of the Scientific and Practical Work (Residual) No. 185П050-01*. Kyiv National Taras Shevchenko University. NO. DR 0118U001098. K., 687 p. [in Ukrainian]

Hydrological and ecological assessment of energy potential of the Dniro basin rivers (within Ukraine) under conditions of climate changes. (2016). *Report on the Scientific-Development Report (Extensive) No. 16BP050-01*. Kyiv National Taras Shevchenko University. NO. DR 0116U004827. K., 192 p. [in Ukrainian]

Hydrological and ecological assessment of energy potential of the Dniro basin rivers (within Ukraine) under conditions of climatic changes. (2017). *Report on the DNR (conclusion) No. 16BP050-01*. Kyiv National Taras Shevchenko University. NO. DR 0116U004827. K., 291 p. [in Ukrainian]

Hydrological assessment and forecast of the energy potential of the rivers of the Ukrainian Carpathian Mountains. (2015). *Report on the Scientific and Practical Report (final) No. 14BP050-01*. Kyiv National Taras Shevchenko University. NO. DR 0114U003482. K., 336 p. [in Ukrainian]

Hydropower Potential Assessment: mountain rivers of Ukrainian Carpathians (2021). O. Obodovskiy (Ed.). LAP Lambert Akademik Publishing, 122 p.

Kasyan, V.P., Lebed, A.G. (2011). Optimization of a water turbine model of the Daprier-type rotor with active blade control. *Vidnovluyana Energetika*, 4, 42-48. [in Russian]

Khomenko, V.O., Lezhnyuk, P.D. (2012). Analyses of the state and prospects for the development of small hydroenergy in Ukraine. Exploitation of small hydro power plants and cascades of small hydro power plants in modern conditions. *Journal of the Vinnytsa Polytechnic Institute*, 6, 118-123. [in Ukrainian]

Law of Ukraine "On Amendments to Certain Laws of Ukraine on Ensuring Competitive Conditions for Electricity Production from Alternative Energy Sources". (2019). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2712-19> [in Ukrainian]

Law of Ukraine "On Amendments to Certain Legislative Acts of Ukraine on Implementation of Integrated Approaches in Water Resources Management by Basin Principle". (2016). <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/en/1641-19>. [in Ukrainian]

Levina, G. (2018). Small hydroenergetics of Ukraine. Stylish review of the legislation of Ukraine on the basic preconditions for the development of small hydroenergetics. Part I, 46. [in Ukrainian]

Methodology for identifying especially valuable river areas for their conservation and preservation. (2019). WWF Ukraine. 20 p. [in Ukrainian]

Obodovskiy, O., Danko, K., Pochayevets, O., Obodovskiy, U. (2016). Methodology of establishing hydroenergetic potential of rivers (on the application of rivers of the Ukrainian Carpathians). *Bulletin of Kyiv National Taras Shevchenko University. Geography*, 1 (64), 5–12. DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2721.2016.64.1> [in Ukrainian]

Obodovskiy, O.G., Danko, K.Yu., Pochayevets, O.O., Onyshchuk, V.V., Snizhko, S.I., Lukyanets, O.I. (2020). Methodic Aspects of Hydroecological Assessment of Hydropower Potential of the Plain Rivers' (by Example of Dnieper Right-Bank Rivers). *Hydrobiological Journal*, 56, 4, 84–102. DOI: 10.1615/HydrobJ.v56.i4.70

Obodovskiy, O., Danko, K., Pochayevets, O. (2017). Overall hydroenergetic potential of rivers of the Ukrainian Carpathians. *Bulletin of Kyiv National Taras Shevchenko University. Geography*, 1 (66), 15–28. DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2721.2017.66.2> [in Ukrainian]

Obukhov, Y.V. (1999). Utilization of renewable energy sources. Odessa: TEC, 254 p. [in Ukrainian]

Onyshchuk V.V., Obodovskiy, O.G. (10.01.2020). Six-phase alternating electric current generator. *Ukrainian patent for utility model No. 139618*. Publ. *Bulletin*, no. 1, 2020. [in Ukrainian]

Onyshchuk, V.V., Obodovskiy, O.G. (10.01.2020). Highly efficient hydroelectric power plant with six-phase generators. *Ukrainian patent for utility model No. 139617*. Published *Bulletin*, No. 1, 2020. [in Ukrainian]

Onyshchuk, V.V., Obodovskiy, O.G. (10.02.2017). Universal high-efficiency small hydroelectric power plant (UVMHES). *Ukrainian patent for utility model No. 113587*. Published by *Bulletin*, No. 3, 2017. [in Ukrainian]

Onyshchuk, V.V., Obodovskiy, O.G. (10.04.2017). Universal hydraulic siphon. *Ukrainian patent for utility model No. 115332*. Published by *Bulletin*, No. 7, 2017. [in Ukrainian]

Onyshchuk, V.V., Obodovskiy, O.G. (10.07.2015). Method of placement of high-level small hydroelectric power station. *Patent of Ukraine for the utility model No. 100050*. Published *Bulletin*, No. 13, 2015. [in Ukrainian]

Onyshchuk, V.V., Obodovskiy, O.G. (11.12.2017). Highly efficient hydroelectric power plant. *Ukrainian patent for utility model No. 121730*. Republished *Bulletin*, No. 23, 2017. [in Ukrainian]

Onyshchuk, V.V., Obodovskiy, O.G. (26.11.2018). Modernized high-efficiency hydroelectric power plant. *Ukrainian patent for utility model No. 130189*. Published *Bulletin*, No. 22, 2018. [in Ukrainian]

Onyshchuk, V.V., Obodovskiy, O.G. (26.12.2019). Highly efficient high-voltage hydroelectric power plant. *Patent of Ukraine for the utility model No. 139302*. Published *Bulletin*, No. 24, 2019. [in Ukrainian]

Onyshchuk, V.V., Obodovskiy, O.G. (27.10.2014). Highly efficient GES machine. *Patent of Ukraine for the utility model No. 93887*. Published by *Bulletin*, No. 20, 2014. [in Ukrainian]

Onyshchuk, V.V., Obodovskiy, O.G., Habel, M. (26.12.2017). Highly efficient hydroelectric power plant. *Ukrainian patent for utility model No. 124817*. Published by *Bulletin*, No.8, 2018. [in Ukrainian]

Onyshchuk, V.V., Obodovskiy, O.G., Habel, M. (26.12.2017). Universal high-capacity hydroelectric power plant. *Ukrainian patent for utility model No. 121863*. Published by *Bulletin*, No. 24, 2017. [in Ukrainian]

Onyshchuk, V.V., Obodovskiy, O.G., Pochayevets, O.O. (26.11.2018). Method of regulation of the minimum flow of mountain rivers. *Ukrainian patent for utility model No. 130190*. Published by *Bulletin*, No. 22, 2018. [in Ukrainian]

Ptashkina-Girina, O.S., Saplin, L.A. (2000). Evaluation of energy resources of small rivers. *Technique in agriculture*, 6, 14–16. [in Ukrainian]

Review of the energy sector of Ukraine Institutions, Management and Political Grounds OECD. (2019). 78 p. [in Ukrainian]

Ryabenko, O.A., Lutayev, V.B. (2012). Modern tendencies in the construction of small hydropower plants in Ukraine. *Hydroenergetics of Ukraine*, 2, 45–49. [in Ukrainian]

Scientific and methodological recommendations on the preparation of a report of the Department of Internal Affairs during the construction of a small

hydropower plant. (2019). Methodological guidebook. Edited by S.O. Afanasiev. Kiev, 94 p. [in Ukrainian]

Survey of Energy Resources. (2007). Hydropower. London: World Energy Council, 600 p.

The coal-energy resources of Ukraine. (2018). Statistical collection. The State Statistics Service of Ukraine. Kyiv, 194 p. [in Ukrainian]

Vasko, P.F., Bril, A.O., Moroz, A.V. (2012). Determination of hydropower potential of small rivers for water consumption. *Renewable energy*, 1, 42–49. [in Ukrainian]

Vikhorev, Y.O., Solovyov, P.B. (2013). The implementation of problems of small hydroenergetics development in Ukraine requires a nationwide coordination. *Renewed Energy*, 1(32), 69–75. [in Ukrainian]

Water Quality. (2005). EN14614:2004. Guidance Standard for assessing the hydromorphological features of rivers. Brussels: CEN, European Committee for Standardization, 24 p.

Yatsik, A.V., Yatsik, V.A., Basyuk, T.O. (2011). Management of Development and Efficiency of Small Hydroenergy in Ukraine. *Hydroenergetics of Ukraine*, 3–4, 7–10. [in Ukrainian]

Arkipova, L.M. (2011). Natural-technogenic bezpeka gidroekosti: monografia. IFNTUNG, 366. [in Russian]

Надійшла до редколегії 12.08.22

O. Obodovskiy, Dr. Sci. (Geogr.), Prof.,
E-mail: obodovskiy@univ.kiev.ua;
O. Kryvets, PhD (Geogr.),
E-mail: like_mila@ukr.net;
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Geography Department,
2 Glushkov Ave., Kyiv, Ukraine

ANALYTICAL REVIEW AND PROSPECTS OF RESEARCH IN THE FIELD OF SMALL HYDROENERGETICS AND HYDROENERGETIC POTENTIAL OF UKRAINIAN RIVERS

The main directions and analysis of research in the field of hydropower and hydropower potential of Ukrainian rivers are established. A brief review of the classification of small hydropower plants is given. Estimates of hydropower potential of rivers are considered. The ecological aspects of the use of hydropower potential of rivers are highlighted. Tendencies of development of Ukrainian power engineering and, in particular, hydropower are analyzed. The role of "green" tariff for electric energy produced by small hydropower is shown. The role of "Energy Strategy of Ukraine for the period up to 2030" in the field of small hydropower is highlighted. The methodical approaches to environmental impact assessment in the construction of small hydropower plants are characterized. The prospects for using the hydropower potential of Ukrainian rivers and a proposed new technological paradigm for the development of small hydropower in Ukraine was assessed.

Keywords: *methodological approaches to formation of small hydroenergetics, assessment of hydroenergetic potential of Ukrainian rivers, ecological aspects of hydroenergetic potential of rivers, small hydro energy resources and their types, High-tech small hydroelectric power plants and their efficiency.*