



# ТЕХНІЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ МАЛИХ РІЧОК УКРАЇНИ З УРАХУВАННЯМ ПРИРОДООХОРОННИХ ОБМЕЖЕНЬ

*Зроблено оцінку технічного потенціалу гідроенергетичних ресурсів малих річок України з урахуванням природоохоронних обмежень згідно положень чинної нормативно-правової бази на використання територій для будівництва малих ГЕС та на використання стоку води річки для виробництва електроенергії*

*К л ю ч о в і с л о в а: гідроенергетика, мала річка, потужність, електроенергія, екологія*

**Вступ.** У вересні 2017 року Урядом України було представлено Національну Доповідь «Цілі сталого розвитку: Україна» [1], що являє собою результат адаптації глобальних Цілей сталого розвитку (ЦСР) [2] до особливостей поступу нашої держави. Цілі являють собою концепцію встановлення балансу між задоволенням сучасних потреб людства і захистом інтересів майбутніх поколінь, включно з їх потребою в безпечному і здоровому довкіллі. Єдиним прийнятним шляхом вирішення завдань, поставлених національною системою ЦСР, є безкомпромісне врахування потреб усіх взаємозалежних систем діяльності людини, а також систем, що прямо, або опосередковано зазнають антропогенного впливу. Тобто питання відновлення та збереження цілісності природного середовища набирає вагомості поряд із завданнями економічного та соціального зростання. Цілі стосовно подальшого розвитку енергетичної сфери полягають в наступному:

- забезпечення доступу до недорогих, надійних, стійких і сучасних джерел енергії для всіх, в тому числі за рахунок збільшення частки енергії з відновлюваних джерел;

- забезпечення переходу до раціональних моделей споживання і виробництва, зокрема домогтися раціонального освоєння й ефективного використання природних ресурсів.

Адаптація та прийняття Україною міжнародних документів подібного роду відбувається не вперше. Фундаментальні законодавчі документи в сфері енергетики, такі як закон «Про електроенергетику» та Енергетична стратегія України, підтверджують важливість розвитку енергетичного сектору із врахуванням природоохоронних цілей, задач енергозбереження та енергоефективності. В довгостроковій перспективі розвитку енергетичної галузі відзначено необхідність скорочення частки викопного та ядерного палива, і відповідно їх заміщення відновлюваними та альтернативними джерелами енергії.

Вже на сьогодні створено певні механізми стимулювання державою виробництва електроенергії об'єктами відновлюваної енергетики, зокрема і малими гідроелектростанціями (ГЕС): «зелений» тариф і надбавки за використання обладнання українського виробництва, пільги в оподаткуванні,

пільговий режим приєднання до електричної мережі, тощо. Проте, до 17-ти глобальних ЦСР, офіційно затверджених Генеральною Асамблеєю ООН, включено ціль «забезпечення наявності та раціонального використання водних ресурсів і санітарії для всіх», що відзначає виключну цінність водних ресурсів. Тому в нинішніх умовах перед малою гідроенергетикою постає завдання створення ГЕС з максимально можливим збереженням природного середовища річки. Розробка та реалізація програм будівництва малих ГЕС потребують визначення потенціалу гідроенергетичних ресурсів малих річок із врахуванням чинних природоохоронних вимог.

**Мета роботи** полягає в оцінці технічного потенціалу гідроенергетичних ресурсів малих річок України з урахуванням природоохоронних обмежень згідно положень чинної нормативно-правової бази на використання територій для будівництва малих ГЕС та на використання стоку води річки для виробництва електроенергії.

**Метод дослідження.** Повномасштабне уточнення гідроенергетичного потенціалу малих річок на території сучасної України після 1960 року не проводилося [3]. Результати його оцінки на початок 2000-х років висвітлено в [4]. За останні роки суттєво змінилась нормативно-правова база малої гідроенергетики України в природоохоронній та енергетичній сферах [5]. Згідно з положеннями ДСТУ 7501:2014 [6] поняття гідроенергетичного потенціалу формулюються наступним чином:

- природний потенціал малої гідроенергетики – енергетичний еквівалент запасів гідравлічної енергії, зосереджений у джерелах малої гідроенергетики (кВт-годин за рік);

- технічний потенціал малої гідроенергетики – частина природного потенціалу, яку можуть використати малі гідроелектростанції з урахуванням соціально-екологічних вимог (сукупність нормативно-правових та нормативно-технічних актів з охорони та поліпшення природних, соціальних і техногенних умов існування людського суспільства);

- економічний потенціал малої гідроенергетики – частина технічного потенціалу, використання якого економічно доцільне для заданого проміжку часу.

У даній роботі досліджувались лише природний та технічний потенціали.

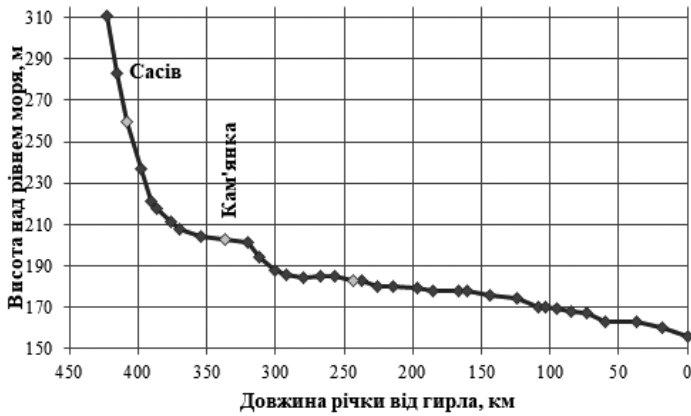


Рис. 1.

Соціально-екологічні вимоги докладно наведені у багатьох вітчизняних законах і програмах з охорони, збереження та розумного використання природних ресурсів, а також в міжнародних договорах, конвенціях і протоколах до них, які враховувались під час проведення досліджень [5]. До основних з них належать:

- Рамкова конвенція про охорону та сталий розвиток Карпат (2004) та Протокол до Рамкової конвенції про збереження і стале використання біологічного та ландшафтного різноманіття (2009);
- Бернська конвенція (1979);
- Європейська ландшафтна конвенція (2006)
- Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» (поточна редакція 06.09.2018);
- Водний кодекс (поточна редакція 18.12.2017);
- Земельний кодекс (поточна редакція 0.07.2018);
- Лісовий кодекс (поточна редакція 01.01.2019);
- Закон України № 2059-VIII від 23.05.2017. «Про оцінку впливу на довкілля» (поточна редакція 23.05.2017).

Також враховувались природоохоронні положення міжнародного документа «Керівні принципи розвитку гідроенергетики», затвердженого 18–19 червня 2013 року в м. Сараєво (Боснія і Герцеговина) на зустрічі Міжнародної комісії із захисту річки Дунай. Ці принципи ґрунтуються на критеріях екологічної цінності території. Керуючись даним документом громадські та екологічні організації України розробили «Критерії і принципи вибору місць для будівництва малих ГЕС на гірських річках Карпат», які пройшли апробацію на громадських слуханнях і обговореннях [7, 8].

Природоохоронні обмеження на використання гідроенергетичного ресурсу річки під час проведення розрахункових досліджень були зведені до двох типів, а саме [9, 10]:

- обмеження на використання території для спорудження гідроелектростанцій (національні природні парки, заповідники, пам'ятки природи, місця покладів корисних копалин та мінеральних вод, історико-культурні території, земельні ділянки спеціального призначення);
- обмеження на використання води для вироб-

ництва електроенергії малою ГЕС (санітарний попуск, безперервне функціонування рибоходів, межень, повені та паводки, оперативні заходи з регулювання водного потоку через гідроспоруди).

Станом на 2017 рік Державний кадастр територій та об'єктів природно-заповідного фонду України містить понад 8 тисяч захищених ділянок місцевості загальною площею 4,3 мільйона га (6,6% загальної площі країни), в тому числі 19 природних і 5 біосферних заповідників, 49 національних парків, 81 регіональних ландшафтних парків, 3441 пам'яток природи, 3167 заказників, 600 ботанічних садів і пам'яток паркового мистецтва, 812 заповідних урочища [11]. Забезпечення реалізації державної політики в галузі використання та охорони земель входить до повноважень обласних адміністрацій.

В процесі досліджень вводились також обмеження на використання гідроенергетичних ресурсів малих річок за ухилом вертикального профілю, з метою унеможливлення затоплення значних територій у випадку спорудження ГЕС. Практика будівництва гідроелектростанцій засвідчила, що недоцільно розташовувати малі ГЕС близько до місця впадіння річки. У цих місцях об'єм води достатньо великий, але перепад висот – малий. Будівництво верхнього б'єфу призводить до затоплення великих площ земель, а насипання дамби – до великих витрат на матеріали для будівництва. Наприклад, перепад висот ділянки річки Південний Буг від смт. Олександрівка до м. Миколаїв складає всього 3 м при довжині у 147 км. Тобто ухил річки на цій ділянці 0,02 м/км. Схожі властивості має ділянка на річці Західний Буг від с. Литовеж до с. Кошари. Перепад висот ділянки складає 27 м, а довжина ділянки – 240 км. Ухил річки на цій ділянці – 0,11 м/км. Інші річки на рівнинній території мають схожі властивості. Так, річка Сіверський Донець має досить малий ухил у розмірі 0,1 м/км. Довжина р. Сіверський Донець на території України складає близько 745 км, а перепад висот – всього 76 м. Середні витрати води річки більш, ніж 55 м<sup>3</sup>/с. Але цей об'єм води за малого ухилу не становить інтересу для спорудження малої ГЕС. Показовою річкою на рівнинній території, на якій споруджено декілька малих ГЕС, є річка Псел із середнім ухилом 0,13 м/км. На основі виконаного аналізу було прийнято в подальших розрахунках наступне значення мінімального ухилу ділянки річки:

$$H/L \leq 0,12 \text{ м/км.}$$

Досліджувалися ділянки річок з витратами води в межах (2–150) м<sup>3</sup>/с, що в залежності від типу конструкції ГЕС (гребельна, дериваційна) відповідає потужності станції в межах 50 кВт–10 МВт.

Кожна річка також аналізувалась на відповідність вимог екологічно-правової бази стосовно будівництва малої ГЕС [12]. Наприклад, річка Лімниця, яка протікає по території Івано-Франківської області і є правою притокою Дністра, характеризується унікальною чистотою води, де у великих кількостях водиться форель та інші види риб, занесені до Червоної книги [13]. На деяких



річках виключенню підлягали лише деякі ділянки. За приклад, на річці Стрий біля смт. Верхне Синьовидне під час інженерних вишукувань були знайдені поклади мінеральної води. Згідно з умовами законодавчої бази з охорони навколишнього середовища будівництво ГЕС на таких ділянках заборонено, тому вони повинні бути вилучені з розрахункових досліджень.

Визначення стоку води на кожній  $j$ -ій ділянці річки здійснювалося за результатами спостережень на пунктах вимірювань, або з використанням модуля стоку і відповідної водозбірної поверхні [14–16]. Для розрахунку перепаду висот вертикального профілю (Рис. 1) і площі водозбірної поверхні ділянки річки застосовувалися сучасні методи інженерної гідрології та комп'ютерних технологій на основі цифрових топографічних карт (Рис. 2), які отримані шляхом аерокосмічного зондування земної поверхні [17].

В цьому дослідженні використовувалися загальнодоступні результати космічного зондування і відповідні програмні засоби для її обробки, зокрема цифрова карта і програма Google Earth Pro [18].

Наведені вище обмеження на використання води для виробництва електроенергії малої ГЕС враховувалися в роботі шляхом застосування імовірнісного підходу до визначення рівнів забезпеченості відповідних витрат води стоку річки [10, 17], а обмеження на використання територій для будівництва станцій – відповідним вибором критеріїв екологічної цінності передбачуваних територій.

Розрахункові дослідження проводилися для всієї території України, яка була умовно розділена на 6 гідрологічних зон (Рис. 3) згідно з рекомендаціями [19].

Для кожної гідрологічної зони розраховувався природний потенціал стоку ( $E_{np}$ ) всіх малих річок відповідно до виразу [20]:

$$E_{np} = gT\eta \sum_{j=1}^M \left[ k_{ej} k_{Hj} H_j \int_{Q_{jmin}}^{Q_{jmax}} \left( \frac{1}{L_j} \int_{l_{jn}}^{l_{jk}} Q'_j dl_j \right) f(Q'_j) dQ'_j \right], \quad (1)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $T$  – кількість годин у році, год;  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії станції;  $M$  – кількість ділянок відносно витоків, на які розділено вертикальний профіль;  $k_{ej}$ ,  $k_{Hj}$  – значення критеріїв екологічної цінності території та



Рис. 2.



Рис. 3.

критеріїв нахилу вертикального профілю;  $l_j$ ,  $L_j$ ,  $H_j$  – координати протяжності на ділянці, довжина ділянки, перепад висот на ділянці, м;  $Q_{jmin}$ ,  $Q_{jmax}$  – мінімальне та максимальне значення витрат води для виробництва електроенергії, м<sup>3</sup>/с; ( $Q'_j$ ) – витрати води за результатами строкових спостережень на  $j$ -ій



Рис. 4.

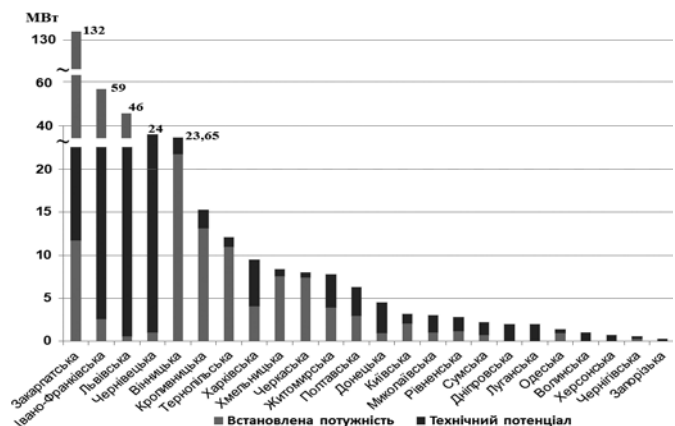


Рис. 5.



ділянці річки,  $m^3/c$ ;  $f(Q'_j)$  – диференційна щільність річного імовірнісного розподілу витрат води;  $l_{jn}$ ,  $l_{jk}$  – значення координати початку та кінця  $j$ -ї ділянки річки. Розрахунки природного потенціалу річки здійснювалися за умов:  $Q_{jmax} > Q_j > Q_{jmin}$ ,  $\eta = 1,0$ ;  $k_{ej} = 1$ ,  $k_{Hj} = 1$ ,  $p = 1,0$ , які знімають обмеження на використання води та територій для спорудження ГЕС.

Для річки з найбільшим природним потенціалом, яка приймалася як базова для  $z$ -ї зони ( $z = 1, 2, \dots, 6$ ), визначався її технічний потенціал  $E_m$  з урахуванням природоохоронних обмежень згідно з (1), та відповідний коефіцієнт енергетичного використання гідроресурсу  $k_{ez}$  за [21]:

$$k_{ez} = (E_m / E_{np})_z, \quad (2)$$

Для решти річок зони значення коефіцієнта (2) приймалося (на основі експертної оцінки) на рівні  $0,7 k_{ez}$ .

Значення технічного потенціалу всієї території країни  $E_T$  визначалося таким чином:

$$E_T = \sum_{z=1}^6 (E_{mz} + 0,7 k_{ez} \sum_{i=1}^I E_{npj}), \quad (3)$$

де  $z = 1, 2, \dots, 6$  – нумерація гідрологічних зон,  $i = 1, 2, \dots, I$  – нумерація річок гідрологічної зони.

**Результати дослідження.** Для всіх гідрологічних зон були систематизовані характеристики стоку малих річок за весь період спостережень з врахуванням прийнятих обмежень. Розрахунки виконувались з використанням гідрологічної інформації по 273 пунктам виміру середньорічних витрат стоку малих річок, яка отримана від Центральної геофізичної обсерваторії Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ЦГО) за період спостережень 1950–2010 років [22], та була доповнена довідниковими даними за ред. академіка А.В.Яцика [23]. Загальна кількість гідрологічних пунктів дорівнювала 320, а кількість досліджуваних річок складала 166 одиниць.

Проведені за даним методом розрахункові дослідження технічного потенціалу гідроенергетичних ресурсів малих річок на всій території країни дозволили визначити його значення на рівні 1270 млн. кВт·год/рік (375 МВт встановленої потужності малих ГЕС). Розподіл потенціалу за гідрологічними зонами зображено на Рис. 4.

Найбільший технічний потенціал гідроенергетичних ресурсів малих річок зосереджений в Карпатському регіоні (76%). Другою за обсягом гідроенергетичного потенціалу є Правобережно-Дніпровська гідрологічна зона (13%). На лівобережній частині країни потенціал складає 7%. До малоперспективних територій для розвитку малої гідроенергетики відносяться Західна та Поліська гідрологічні зони (разом 4%).

На території України знаходиться в експлуатації, станом на кінець 2018 року, 154 малі ГЕС загальною потужністю 99 МВт з річним обсягом виробництва електроенергії на рівні 250 млн кВт·год/рік. Розподіл технічного потенціалу гідроенергетичних

ресурсів малих річок та введених в експлуатацію малих ГЕС за адміністративно-територіальним устроєм країни наведено на Рис. 3. Для ряду областей, зокрема Вінницької, Кропивницької, Тернопільської, Хмельницької, Одеської та Чернігівської технічний потенціал гідроенергетичних ресурсів малих річок практично освоєний, тому суттєве збільшення встановленої потужності малих ГЕС на цих територіях малоімовірне. Перспективними територіями для спорудження нових малих ГЕС можна вважати Закарпатську, Івано-Франківську, Львівську та Чернівецьку області.

Отримані результати є істотними для розробки сучасної концепції регіональних програм розвитку малої гідроенергетики та реалізації заходів Національного плану дій з відновлюваної енергетики.

**Висновок.** 1. В Україні розроблено нормативно-правові акти та громадсько-політичні заходи міжнародного, державного і регіонального рівня, які спрямовані на захист природного навколишнього середовища від забруднення, посиленої експлуатації й іншого шкідливого впливу в результаті створення об'єктів малої гідроенергетики.

2. Значення технічного потенціалу гідроенергетичних ресурсів малих річок України з урахуванням чинних природоохоронних обмежень складає близько 375 МВт з річним обсягом виробництва електроенергії на рівні 1270 млн. кВт·год/рік. До найбільш перспективних територій для спорудження нових малих ГЕС в значних обсягах відносяться Закарпатська, Івано-Франківська, Львівська та Чернівецька області. Тому необхідне проведення стратегічної екологічної оцінки будівництва малих ГЕС в Карпатському регіоні, та вжиття заходів стосовно виконання системного аналізу доцільності спорудження кожної окремої малої ГЕС з урахуванням перспектив розвитку території (туризм, рекреація, тощо).

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Цілі Сталого Розвитку: Україна. Національна доповідь 2017. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.ua.undp.org/content/dam/ukraine/docs/SDGReports/SDGs\\_NationalReportUA\\_Web.pdf](https://www.ua.undp.org/content/dam/ukraine/docs/SDGReports/SDGs_NationalReportUA_Web.pdf).
2. Sustainable development: 17 Goals to Transform Our World. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/climate-change/>.
3. Мороз А. В. Аналіз розрахункових досліджень гідроенергетичних ресурсів малих річок України / А. В. Мороз // Відновлювана енергетика. – 2014. – № 1. – С. 70 – 75.
4. Васько П.Ф. Сучасний стан, потенційні можливості та передумови подальшого розвитку малої гідроенергетики в Україні // Відновлювана енергетика. 2006. № 1. С. 60–65.
5. Васько П.Ф., Мороз А.В. Законодательные стимулы и природоохранные ограничения использования гидроэнергетических ресурсов малых рек Украины // Альтернативная энергетика и экология. - 2014. - №15. - С.82-92.
6. ДСТУ 7501:2014. Гідроенергетика. Гідроелектростанції малі. Терміни та визначення понять / А. Бриль; П. Васько, Ю. Віхорев, А. Мороз; П. Соловійов. - Київ: ДП «УкрНДНЦ» – 2018. - 26 с.
7. Guiding Principles on Sustainable Hydropower [Електронний ресурс] // International Commission for the



Protection of the Danube River. – Режим доступа: <http://www.icpdr.org/main/activities-projects/hydropower>

8. Мороз А.В. Природоохоронні аспекти розвитку малої гідроенергетики в Карпатському регіоні / А. В. Мороз. Відновлювана енергетика. – 2012. – № 4. – С. 63–69.

9. Васько П.Ф., Мороз А.В., Бриль А.О., Ібрагімова М.Р. Екологічні аспекти розвитку гідроенергетики в Україні. Відновлювана енергетика. – 2018. – №2 – С. 57–69.

10. Васько П.Ф., Ібрагімова М.Р. Энергетическая эффективность малой гидроэлектростанции при экологических ограничениях на использование стока воды реки для производства электроэнергии // Альтернативная энергетика и экология. – 2017 – № 04–06 (216–218). – С. 103–115. (ISSN 1608 – 8298)

11. Території та об'єкти ПЗФ України // Природно-заповідний фонд України, 2018. URL: <http://pzf.menr.gov.ua/pzf-ukraini/teritorii-ta-ob-ekti-pzf-ukraini.html> (дата звернення: 24.04.2018)

12. Про оцінку впливу на довкілля: Закон України № 2059-VIII від 23.05.2017. Офіційний вісник України. 2017. №50. С. 5. Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 29, ст. 315. URL : <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19>.

13. Красная книга Украины. URL: <http://redbook-ua.org/ru/> (Дата обращения: 12.11.2018)

14. Гидрологические основы гидроэнергетики / А.Ш. Резниковский, М.А. Великанов, С.Г. Костина [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 260с.

15. Малинин Н.К. Теоретические основы гидроэнергетики: Учебник для вузов по специальности «Гидроэлектростанции»/Н.К. Малинин. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 312 с.

16. Гідрологічні розрахунки для річок України (при відсутності спостережень) / П.Ф. Вишневецький, Н.Й. Дрозд, Й.А. Железняк, А.Б. Крижанівська, Г.П. Кубишкін, К.А. Лисенко, В.І. Мокляк, Г.О. Чіппінг, Г.І. Швець.; за ред. Г.І. Швеця. – К.: Видавництво Академії наук Української РСР, 1962. – 388 с.

17. Васько П.Ф., Бриль А.О., Мороз А.В., Озорин Д.Ф. Расчёт теоретического значения гидроэнергетического потенциала малых рек с учётом обеспеченности стока воды. Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). – 2012. – № 7. – С. 126–132. (ISSN 1608 – 8298)

18. Програма Google Earth Pro. URL: <https://www.google.com/earth/download/gep/agree.html> (дата звернення: 12.11.2018).

19. Клименко В.Г. Гідрологія України: Навчальний посібник для студентів географів / В.Г. Клименко. – Харків: ХНУ імені В.Н.Каразіна, 2010. – 124 с.

20. Мороз А.В. Математична імовірнісна модель визначення технічного потенціалу малих річок / А.В. Мороз. Відновлювана енергетика. – 2017. – № 2. – С. 75–84.

21. Васько П.Ф., Мороз А.В. Потенціал використання гідроенергетичних ресурсів основних малих річок України. Відновлювана енергетика. – 2016. – №3 – С. 50 – 56.

22. Праці центральної геофізичної обсерваторії / За ред. О.О. Косовця. – К.: Інтерпрес ЛТД, 2014. – Вип. 10(24). – 104 с.

23. Яцик А.В., Бишовець Л.Б., Богатов Є.О. та ін. Малі річки України: Довідник / За ред. А.В. Яцика. – К.: Урожай, 1991. – 296 с.

© Бриль А.О., Васько П.Ф., Мороз А.В., 2019

