

УДК 621.311.21.001.2

СУЧАСНИЙ СТАН БУДІВНИЦТВА МАЛИХ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В УКРАЇНІ ТА ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЇХ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ

П.Ф. Васько, доктор технічних наук, **А.В. Мороз**, кандидат технічних наук, **А.О. Бриль**

Інститут відновлюваної енергетики НАН України
02094 м. Київ, вул. Гната Хоткевича, 20А

Визначено актуальність подальшого розвитку малої гідроенергетики України в світлі Рішення Ради Міністрів Енергетичного Співтовариства D/2012/04/MC-EnC, згідно з яким Україна взяла на себе зобов'язання до 2020 року досягти виробництва енергії з відновлюваних джерел енергії в загальній структурі енергопостачання країни на рівні 11%. Виконано аналіз сучасного стану будівництва малих гідроелектростанцій (ГЕС) та визначено їх розподіл за кількістю та потужністю за адміністративно-територіальними областями країни. Загальна потужність станцій на початок 2018 року дорівнювала 99 МВт. Прیدілено увагу суперечливості різних експертних значень індикативних показників подальшого розвитку малої гідроенергетики, що зумовлена значними змінами чинної нормативно-правової бази в електроенергетичній та природоохоронній сферах стосовно будівництва малих ГЕС. Узагальнено природоохоронні обмеження на використання води стоку річки для виробництва електроенергії та використання територій для спорудження малих ГЕС. Запропоновано математичну модель для розрахунку технічного потенціалу гідроенергетичних ресурсів, яка враховує критерії екологічної цінності території та витрати води на безперервне функціонування рибиходів, витрати в межінь, повінь, інше. З використанням розробленої моделі проведено розрахункові дослідження технічного потенціалу малих ГЕС на території країни. В якості вихідної інформації для досліджень застосовувалася легітимна база даних гідрологічних показників малих річок та результати космічного зондування земної поверхні і відповідне програмне забезпечення. За результатами виконаних досліджень технічний потенціал будівництва малих ГЕС на території України знаходиться на рівні 1270 млн. кВт·год /рік. Отримані результати є істотними для розроблення сучасної концепції регіональних програм розвитку малої гідроенергетики і реалізації заходів Національного плану дій з відновлюваної енергетики. Бібл. 25, табл. 1, рис. 3.

Ключові слова: гідроенергетика, екологія, електроенергія, потенціал, потужність, стік річки.

CURRENT STATE OF CONSTRUCTION OF SMALL HYDROPOWER STATIONS IN UKRAINE AND AN ASSESSMENT OF THE TECHNICAL POTENTIAL OF THEIR FURTHER DEVELOPMENT

P. Vasko, Doctor of Technical Sciences, **A. Moroz**, Candidate of Technical Sciences, **A. Bril**

Institute for Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine
02094, 20A Hnata Khotkevycha Street, Kyiv, Ukraine

The paper determines the relevance of the further development of small hydropower in Ukraine in view of the decision of the Council of Ministers of the Energy Community D/2012/04/MC-EnC, under which Ukraine has committed itself to achieving renewable energy production in the overall energy supply of the country by 2020 at a level of 11%. An analysis of the current state of construction of small hydroelectric power stations (HPP) is carried out and their distribution by quantity and capacity according to the administrative-territorial regions of the country is determined. The total capacity of the stations at the beginning of 2018 was 99 MW. The attention is paid to contradictions of expert values of indicative indicators of the further development of small hydropower, which is caused by significant changes in the current regulatory framework in the electricity and nature protection spheres in relation to construction of small hydroelectric power stations. Environmental restrictions for water use of river runoff for the production of electricity and the use of territories for the construction of small hydroelectric plants were generalized. The mathematical model for calculating the technical potential of hydropower resources is proposed, which takes into account the criteria of the ecological value of the territory and water consumption for the continuous functioning of the rivers, the cost of floods, and others. The estimated technical potential of small hydroelectric plants on the territory of the country was carried out using the developed model. The legitimate database of hydrological indicators of small rivers, and the results of space-based Earth surface sensing and related software served as the source information for the research. According to the results of the research, the technical potential of building small hydroelectric power stations on the territory of Ukraine is at 1270 million kWh a year. The obtained results are essential for the development of a modern concept of regional development programs for small hydropower and implementation of measures of the National Renewable Energy Action Plan. References 25, table 1, fig. 3.

Keywords: ecology, electricity, flow of the river, hydropower, potential, power.

© П.Ф. Васько, А.В. Мороз, А.О. Бриль, 2018



П. Васько
P. Vasko

Відомості про автора: доктор технічних наук за спеціальністю «Перетворення відновлюваних видів енергії», завідувач відділом гідроенергетики Інституту відновлюваної енергетики Національної академії наук України.

Освіта: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». Спеціальність «Електричні машини і апарати».

Наукова сфера: альтернативна енергетика, енергозбереження, перетворення поновлюваних видів енергії та установки на їх основі, мала гідроенергетика.

Публікації: 235.

ORCID: 0000-0001-8807-7173

Контакти:

Тел./факс +38 (044) 206-28-09

e-mail: hydro@ive.org.ua

Author information: Doctor of Technical Sciences majoring in «Renewable Energy Transformation», Head of Hydropower Department of the Institute for Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine.

Education: National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute». Specialty «Electric machines and devices».

Research area: alternative energy, energy saving, conversion of renewable energy types and installations based on them, small hydropower.

Publications: 235.

ORCID: 0000-0001-8807-7173

Contacts:

Phone /fax +38 (044) 206-28-09

e-mail: hydro@ive.org.ua



А. Мороз
A. Moroz

Відомості про автора: кандидат технічних наук за спеціальністю «Перетворення відновлюваних видів енергії», старший науковий співробітник Інституту відновлюваної енергетики Національної академії наук України.

Освіта: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». Спеціальність «Нетрадиційні джерела енергії».

Наукова сфера: альтернативна енергетика, енергозбереження, перетворення поновлюваних видів енергії, мала гідроенергетика.

Публікації: 23.

ORCID: 0000-0002-9284-3624

Контакти:

Тел./факс +38 (044) 206-28-09

e-mail: hydro@ive.org.ua

Author information: Candidate of Technical Sciences in the field of «Renewable Energy Transformation», Senior Researcher in the Institute for Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine.

Education: National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute». Specialty «Non-traditional sources of energy».

Research area: alternative energy, energy saving, renewable energy transformation, small hydropower.

Publications: 23.

ORCID: 0000-0002-9284-3624

Contacts:

Phone/fax +38 (044) 206-28-09

e-mail: hydro@ive.org.ua



А. Бриль
A. Bryl

Відомості про автора: науковий співробітник відділу гідроенергетики Інституту відновлюваної енергетики Національної академії наук України.

Освіта: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». Спеціальність «Електричні мережі і системи».

Наукова сфера: перетворення поновлюваних видів енергії та установки на їх основі, мала гідроенергетика.

Публікації: 47.

ORCID: 0000-0002-5134-0393

Контакти:

Тел./факс +38 (044) 206-28-09

e-mail: hydro@ive.org.ua

Author information: Researcher at the Hydropower Department of the Institute for Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine.

Education: National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute». Specialty «Electrical networks and systems».

Research area: conversion of renewable energy types and installations based on them, small hydropower.

Publications: 47.

ORCID: 0000-0002-5134-0393

Contacts:

Phone/fax +38 (044) 206-28-09

e-mail: hydro@ive.org.ua

Перелік використаних позначень та скорочень:

ВДЕ – відновлювані джерела енергії;
 ГЕС – гідроелектростанція;
 IRENA – Міжнародне агентство з відновлюваної енергетики;
 ЄС – Європейське Співтовариство;
 КМ – Кабінет Міністрів;

ДСТУ – Державний стандарт України;
 тис. т.н.е. – тисяч тон нафтового еквіваленту;
 МВт – мегават;
 млрд – мільярд.

Вступ. Використання енергії відновлюваних джерел (ВДЕ) нині є одним із пріоритетних напрямів розвитку світової енергетики. Частка відновлюваних джерел енергії у загальному світовому енергоспоживанні становить близько 19%, а в електроспоживанні – 23% [1]. При цьому левова частка припадає на велику гідроенергетику, яка зокрема в електроспоживанні складає 16,6%. Міжнародне агентство з відновлюваної енергетики (IRENA) передбачає до 2030 р. досягнення частки відновлюваних джерел енергії у світовому споживанні до 36% [2].

Відповідно до щорічної інформації Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України частка енергії, яка вироблена відновлюваними джерелами енергії, у загальному енергоспоживанні країни та розрахована за правилами Директиви 2009/28/ЄС, збільшилася з 2,9% (2010 р.) до 5,8% (2016 р.), а в електроенергетиці – з 6,5% (2010 р.) до 7,7% (2016 р.). Одним із найбільших виробників електроенергії з ВДЕ є гідроелектростанції, які виробили у 2016 році 915 тис. т.н.е. (28%) [3].

Згідно з Рішенням Ради Міністрів Енергетичного Співтовариства D/2012/04/МС-EnC Україна взяла на себе зобов'язання до 2020 року досягти рівня 11 відсотків енергії, виробленої з відновлюваних джерел енергії в загальній структурі енергопостачання країни [4, 5].

Мала гідроенергетика відноситься до перспективних напрямків розвитку відновлювальних джерел енергії, оскільки вона спричиняє незначний негативний вплив на навколишнє природне середовище. Крім виробництва електроенергії, вона сприяє водопостачанню населених пунктів і промислових об'єктів та може брати участь у ви-

рішенні проблеми паводків, підтоплень тощо.

Постановка завдання. Мета цієї публікації полягає в аналізі сучасного стану малої гідроенергетики та обґрунтуванні значення технічного потенціалу гідроенергетичних ресурсів малих річок України перспективного для будівництва гідроелектростанцій. Значення технічного потенціалу визначалося як частина природного потенціалу стоку річок, яку можуть використати малі гідроелектростанції з урахуванням соціально-екологічних вимог [6, 7, 8].

Сучасний стан малої гідроенергетики. Сектор малої гідроенергетики відіграє важливу роль у досягненні цілей, визначених Європейським Співтовариством. Станом на початок 2018 року в Україні діють 154 малих ГЕС із загальною встановленою потужністю близько 99 МВт. За даними Реєстру об'єктів електроенергетики альтернативної енергетики Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг на 31 грудня 2017 року для 136 малих ГЕС встановлено «зелений» тариф, з яких 11 об'єктів були введені в експлуатацію у 2017 році та 1 об'єкт у першому кварталі 2018 року [9]. Динаміка введених потужностей та обсягів виробництва електроенергії малими ГЕС у 2010–2017 роках наведена в табл. 1 згідно з [5].

Необхідно відмітити, що з 2010 року в Україні до малих ГЕС відносяться станції потужністю до 10 МВт включно [10, 11]. Кількісний розподіл станцій за областями країни станом на 2017 рік наведено на рис. 1 для першої десятки областей з найбільшою встановленою потужністю, де на стовпчиках гістограми вказано кількість малих ГЕС в кожній адміністративній області.

Таблиця 1. Загальна потужність та обсяг виробництва електроенергії малими ГЕС у 2010–2017 роках

Table 1. Total capacity and volume of electricity produced by small hydropower stations in 2010–2017

Рік	2010	2011	2012	2013	2014	2016	2017
Встановлена потужність, МВт	62	71	73	75	83	95	99
Виробництво електро-енергії, млн. кВт·год	192	203	172	286	250	210	212

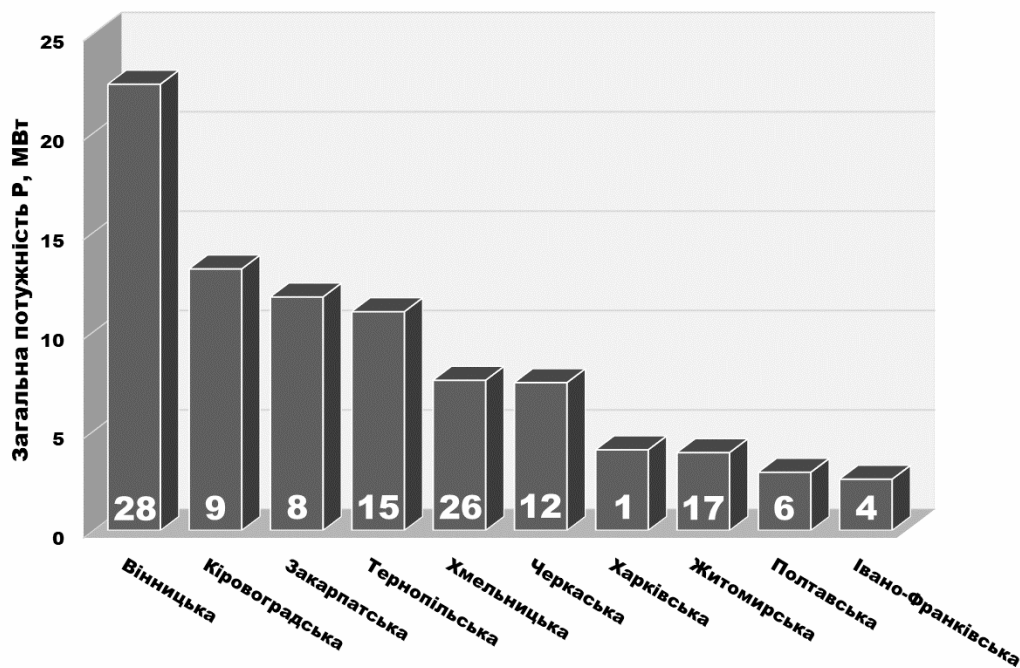


Рис. 1. Розподіл гідроенергетичних станцій за областями країни (2017 рік)

Fig. 1. Allocation of hydropower stations by regions in the country (2017)

Перспективи будівництва малих ГЕС на території України в документах державного значення. Потенційні можливості малої гідроенергетики в Україні були оцінені в Енергетичній стратегії на період до 2030 року (схвалено КМ України 15 березня 2006 р. №145-р) [12] на рівні 1147 МВт потужності з річним обсягом виробництва електроенергії 3,75 млрд. кВт·год/рік. В редакції Енергетичної стратегії, схваленої КМ України 24 липня 2013 р. №1071-р [13] зазначено, що доцільний потенціал малих ГЕС в Україні становить до 4 ГВт. В чинній редакції Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», схваленої Розпорядженням КМ України від 18 серпня 2017 р. № 605-р [14], зазначені індикативні показники подальшого розвитку всього сектору гідроенергетики без акцентування на малих ГЕС. Положення Програми розвитку гідроенергетики на період до 2026 року, схваленої КМ України 13 липня 2016 року [15], також стосуються тільки великої гідроенергетики. Значна розбіжність в кількісних показниках перспектив розвитку малих ГЕС в різноманітних джерелах інформації зумовлена проведенням лише експертної оцінки без виконання наукових досліджень на основі результатів гідрологічних спо-

стережень стоку води річок та врахування положень чинної нормативно-правової бази в енергетичній та природоохоронних сферах.

Оцінка технічного потенціалу гідроенергетичних ресурсів малих річок України. Повномасштабне уточнення гідроенергетичного потенціалу малих річок на території сучасної України після 1960 року не проводилося [16, 17]. За останні роки суттєво змінилась нормативно-правова база малої гідроенергетики України. Згідно з положеннями ДСТУ 7501:2014 [18, 19] поняття гідроенергетичного потенціалу формулюються таким 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, викорис-

тання якого економічно доцільне для заданого проміжку часу.

У цій роботі досліджуються лише природний та технічний потенціали.

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 необхідно враховувати під час проведення досліджень. Також слід враховувати 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 цим 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 [6].

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

- обмеження на використання води для виробництва електроенергії малою ГЕС (санітарний попуск, безперервне функціонування рибоходів, межень, повені та паводки, оперативні заходи з регулювання водного потоку через гідропоруди);

- 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).

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'ятників паркового ми-

стецтва, 812 заповідних урочища [20]. Забезпечення реалізації державної політики в галузі використання та охорони земель входить до повноважень обласних адміністрацій.

Необхідно ввести 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 впадання 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 м³/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 таке значення мінімального ухилу ділянки річки:

$$H/L \geq 0,12 \text{ м/км.}$$

Досліджувалися ділянки річок з витратами води в межах (2–150) м³/с, що в залежності від типу конструкції ГЕС (гребельна, дериваційна) відповідає потужності станції в межах 50 кВт–10 МВт.

Кожна річка також повинна аналізуватися на відповідність вимог екологічно-правової бази

стосовно будівництва малої ГЕС. 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 [21]. На деяких річках виключенню підлягають лише деякі ділянки. За приклад, на річці Стрий біля смт. Верхнє 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. Для розрахунку перепаду висот вертикального профілю і площі водозбірної поверхні ділянки річки застосовувалися сучасні методи інженерної гідрології та комп'ютерних техноло-

гій на основі цифрових топографічних карт, які отримані шляхом аерокосмічного зондування земної поверхні [22]. В цьому дослідженні використовувалися загальнодоступні результати космічного зондування і відповідні програмні засоби для її обробки, зокрема цифрова карта і програма Google Earth [23].

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 [8, 24], а обмеження на використання територій для будівництва станцій – відповідним вибором критеріїв екологічної цінності передбачуваних територій [24].

Розрахункові дослідження проводилися для всієї території України, яка була розділена на 6 гідрологічних зон (рис. 2) згідно з рекомендаціями [25]. Для них систематизовані гідрологічні характеристики стоку малих річок за весь період спостережень з врахуванням прийнятих обмежень.



Рис. 2. Розподіл території країни на гідрологічні зони

Fig. 2. Allocation of country's territory by the hydrological zone

Для кожної гідрологічної зони розраховувався природний потенціал стоку (E_{np}) всіх малих річок відповідно до матмоделі [24]:

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

де: g – прискорення вільного падіння, m/c^2 ; T – кількість годин у році, год; η – коефіцієнт корисної дії станції; M – кількість ділянок відносно витоків, на які розділено вертикальний профіль; k_{ej} , k_{Hj} – значення критеріїв екологічної цінності території та 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, m^3/c ; Q'_j – витрати води за результатами строкових спостережень на j -ій ділянці річки, m^3/c ; $f(Q'_j)$ – диференціальна щільність річного імовірнісного розподілу витрат води; l_{jn} , l_{jk} – значення координати початку та кінця j -ої 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 -ої зони

($z=1,2,3,\dots,6$), визначався її технічний потенціал (E_m) з урахуванням природоохоронних обмежень згідно з (1) та відповідний коефіцієнт енергетичного використання гідроресурсу k_{ez} за [24]:

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

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

Значення технічного потенціалу всієї території країни (E_T) визначалося таким чином:

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

де $z=1,2,3,\dots,6$ – нумерація гідрологічних зон, $i=1,2,3,\dots,I$ – нумерація річок гідрологічної зони.

Проведені розрахункові дослідження технічного потенціалу на всій території країни по (3) дозволили визначити його значення на рівні 1270 млн. кВт·год/рік (375 МВт встановленої потужності малих ГЕС). Розподіл потенціалу на гідрологічні зони зображено на рис. 3.



Рис. 3. Розподіл технічного гідроенергетичного потенціалу малих річок за гідрологічними зонами

Fig. 3. Allocation of technical hydropower potential of small rivers by the hydrological zone

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%).

Висновки. 1. Визначено природоохоронні обмеження, які ґрунтуються на критеріях екологічної цінності території та на принципах збереження навколишнього середовища і різноманіття іхтіофауни річок. Обмеження на використання води для виробництва електроенергії малою ГЕС враховують санітарний попуск, безперервне функціонування рибоходів, межень, повені та паводки, оперативні заходи з регулювання водного потоку через гідроспуди, регулювання потужності ГЕС по водотоку. Обмеження на використання території для будівництва малих ГЕС враховують наявність національних природних парків, заповідників, пам'яток природи, місць покладів корисних копалин і мінеральних вод, історико-культурних спадщин, земельних ділянок спеціального призначення.

2. Обґрунтовано значення технічного потенціалу гідроенергетичних ресурсів малих річок України на рівні 1270 млн. кВт·год /рік (близько 375 МВт встановленої потужності малих ГЕС) і його розподіл по території країни з урахуванням вимог чинної нормативно-правової бази в енергетичній та природоохоронних сферах. Отримані результати є істотними для розробки сучасної концепції регіональних програм розвитку малої гідроенергетики та реалізації заходів Національного плану дій з відновлюваної енергетики.

1. Возобновляемые источники энергии 2016. Глобальный отчет о состоянии – Париж: Секретариат РЕН21, 2016. – 272 с. (ISBN 978-3-9818107-0-7)

2. Doubling the Global Share of Renewable Energy A Roadmap to 2030. Working paper – United Arab Emirates, Abu Dhabi: IRENA Secretariat, 2013. – 60 с.

3. Інформація щодо частки енергії, виробленої з відновлюваних джерел, у кінцевому енергоспоживанні в Україні // Держенергоєфективності України, 2018.

URL: http://sae.gov.ua/sites/default/files/Renewable_energy_Ukraine_energy_balance_2016.pdf (дата звернення: 12.11.2018)

4. Decision of the Ministerial council of the energy community D/2012/04/MC-EnC: Decision on the implementation of Directive 2009/28/EC and amending Article 20 of the Energy community Treaty.

URL: https://www.energy-community.org/dam/jcr:f2d4b3b8-de85-41b2-aa28-142854b65903/Decision_2012_04_MC_RE.pdf (дата звернення: 12.11.2018)

5. Розпорядження КМ України № 902-р від 1.10.2014 «Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року» // Верховна Рада України, 2014. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80> (дата звернення: 12.11.2018)

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

7. Закон України № 1264-ХІІ від 12.10.2018 «Про охорону навколишнього природного середовища» // Верховна Рада України, 2018.

URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/про%20охорону%20навколишнього%20природного%20середовища> (дата звернення: 12.11.2018)

8. П.Ф. Васько, М.Р. Ибрагимова. 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)

9. Реєстр об'єктів електроенергетики альтернативної енергетики Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг // НКРЕКП, 2018. URL: http://www.nerc.gov.ua/data/filearch/litsenziini_reestry/ REESTR_ALT.pdf (дата звернення: 12.11.2018)

10. Закон України № 575/97-ВР від 16.10.1997 «Про електроенергетику» // Верховна Рада України, 1998.

URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/575/97-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 12.11.2018)

11. Закон України № 555-IV від 11.06.2017 «Про альтернативні джерела енергії» // Верховна Рада України, 2017. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/555-15> (дата звернення: 12.11.2018)

12. Розпорядження КМ України № 145-р від 15.03.2006 «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року» // Верховна Рада України, 2006. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/145-2006-p> (дата звернення: 12.11.2018)

13. Розпорядження КМ України № 1071-р від 24.07.2013 «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року» // Верховна Рада України, 2013. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1071-2013-p> (дата звернення: 12.11.2018)

14. Енергетична стратегія України: за станом на 19 січ. 2015 р. // Міністерство енергетики та вугільної

промисловості України. URL:

<http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>. – (дата звернення: 12.11.2018)

15. Розпорядження КМ України № 552-р від 13.07.2016 «Програма розвитку гідроенергетики на період до 2026 року» // Верховна Рада України, 2016.

URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/552-2016-%D1%80/page> (дата звернення: 12.11.2018)

16. Мороз А. В. Аналіз розрахункових досліджень гідроенергетичних ресурсів малих річок України / А. В. Мороз // Відновлювана енергетика. – 2014. – № 1. – С. 70 – 75.

17. Васько П. Ф. Сучасний стан, потенційні можливості та передумови подальшого розвитку малої гідроенергетики в Україні // Відновлювана енергетика. – 2006. – № 1. – С. 60–66.

18. Мороз А. В. Проект державного стандарту «Гідроенергетика. Гідроелектростанції малі. Терміни та визначення понять» / А. В. Мороз, П. Ф. Васько, А. О. Бріль // Відновлювана енергетика. – 2013. – № 2. – С. 65–67.

19. ДСТУ 7501: 2014. Гідроенергетика. Гідроелектростанції малі. Терміни та визначення. – Введ. 2015-01-01. URL: http://document.ua/gidroenergetika_gidroelektrostanciyi-mali_termini-ta-vizna-std7229.html (Дата звернення: 12.11.2018).

20. 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)

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

22. Васько П. Ф., Бріль 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)

23. Програма Google Earth Pro.

URL: <https://www.google.com/earth/download/gep/agree.html> (Дата звернення: 12.11.2018).

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

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

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА МАЛЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В УКРАИНЕ И ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ИХ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ

П. Ф. Васько, доктор технических наук, **А. В. Мороз**, кандидат технических наук, **А. А. Бріль**

Институт возобновляемой энергетики НАН Украины
02094 ул. Гната Хоткевича, 20А, г. Киев

Определена актуальность дальнейшего развития малої гидроенергетики України в свете Решения Совета Министров Энергетического Сообщества D/2012/04/MC-EnC, согласно которому Украина взяла на себя обязательства до 2020 года достичь производства энергии из возобновляемых

источников энергии в общей структуре энергоснабжения страны на уровне 11%. Выполнен анализ современного состояния строительства малых гидроэлектростанций (ГЭС) и определено их распределение по количеству и мощности за административно-территориальными областями страны. Общая мощность станций на начало 2018 года равнялась 99 МВт. Уделено внимание противоречивости различных экспертных значений индикативных показателей дальнейшего развития малої гидроенергетики, обусловленной значительными изменениями действующей нормативно-правовой базы в электроэнергетической и природоохранной сферах по строительству малых ГЭС. Обобщены природоохранные ограничения на использование воды стока реки для производства электроэнергии и использования территорий для строительства малых ГЭС. Предложена математическая модель для расчета технического потенциала гидроэнергетических ресурсов, которая учитывает критерии экологической ценности территорий и расхода воды на непрерывное функционирование рыбоходов, расходы в межень, наводнение, другое. С использованием разработанной модели проведены расчетные исследования технического потенциала малых ГЭС на территории страны. В качестве исходной информации для исследований служила легитимная база данных гидрологических показателей малых рек и результаты космического зондирования земной поверхности, и соответствующее программное обеспечение. По результатам выполненных исследований технический потенциал строительства малых ГЭС на территории Украины находится на уровне 1270 млн. кВт·часов/год. Полученные результаты являются существенными для разработки современной концепции региональных программ развития малої гидроенергетики и реализации мероприятий Национального плана действий по возобновляемой энергетике. Библ. 25, табл. 1, рис. 3.

Ключевые слова: гидроенергетика, мощность, потенциал, сток реки, экология, электроэнергия.

REFERENCES

1. *Renewable Energy 2016. Global Status Report*. (2016). Paris, Secretariat REN21. p. 272 [in Russian]
2. *Doubling the Global Share of Renewable Energy A Roadmap to 2030. Working paper*. (2013). United Arab Emirates, Abu Dhabi, IRENA Secretariat, p. 60 [in English]
3. Informatsiia shchodo chastky enerhii, vyroblenoi z vidnovliuvanykh dzherel, u kintsevomu enerhospozhyvanni v Ukraini [Information on the share of energy from renewable sources in final energy consumption in Ukraine]. (2018, 12 November). sae.gov.ua. Retrieved from http://sae.gov.ua/sites/default/files/Renewable_energy_Ukraine_energy_balance_2016.pdf [in Ukrainian]
4. D/2012/04/MC-EnC: Decision on the implementation of Directive 2009/28/EC and amending Article 20 of the Energy Community Treaty. (2012). Energy Community. www.energy-community.org. Retrieved from https://www.energy-community.org/dam/jcr:f2d4b3b8-de85-41b2-aa28-142854b65903/Decision_2012_04_MC_RE.pdf [in English]
5. Rozporiadzhennia KM Ukrainy No. 902-r vid 1.10.2014 Natsionalnyj plan dij z vidnovliuvanoi enerhetyky na period do 2020 roku [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 902-r On National Action Plan for Renewable Energy for the period until 2020] (2014, 1 October). The Verhovna Rada of Ukraine. Retrieved from <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/>

show/902-2014-%D1%80 [in Ukrainian]

6. *Moroz A.V.* Pryrodookhoronni aspekty rozvytku maloyi hidroenerhetyky v Karpatskomu rehioni [Environmental protection aspects of small hydropower development in the Carpathian region]. *Vidnovlyvana energetika*, 2012, No. 4. pp. 63–69 [in Ukrainian]

7. Zakon Ukrainy No. 1264-XII vid 12.10.2018 *Pro okhoronu navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha* [Law of Ukraine No. 1264-XII *On environmental protection*] (2018). The Verhovna Rada of Ukraine. Retrieved from <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/про%20охорону%20навколишнього%20природного%20середовища> [in Ukrainian]

8. *Vasko P.F., Ibragimova M.R.* Energeticheskaya effektivnost maloy gidroelektrostantsii pri ekologicheskikh ogranicheniyakh na ispolzovanie stoka vody reki dlya proizvodstva elektroenergii [Energy efficiency of small hydropower plant through environmental restrictions on water use for power generation]. *Alternativnaya energetika i ekologiya*, 2017, No. 04–06. pp. 103–115 [in Russian]

9. Reiestr obiektiv elektroenerhetyky alternatyvnoi enerhetyky Natsionalnoi komisii, scho zdijsniue derzhavne rehuliuвання u sferakh enerhetyky ta komunalnykh posluh [Register of objects of renewable energy of Ukrainian National Energy and Utilities Regulatory Commission] (2018). Retrieved from http://www.nerc.gov.ua/data/filearch/litsenziini_reestry/REESTR_ALT.pdf [in Ukrainian]

10. Zakon Ukrainy No. 575/97-VR vid 16.10.1997 *Pro elektroenerhetyku* [Law of Ukraine No. 575/97-BP of 16.10.1997 *On Electricity*] (1998). The Verhovna Rada of Ukraine. Retrieved from <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/575/97-%D0%B2%D1%80> [in Ukrainian]

11. Zakon Ukrainy No. 555-IV vid 11.06.2017 *Pro alternatyvni dzherela enerhii* [Law of Ukraine No. 555-IV of 11.06.2017 *About alternative energy sources*] (2017). The Verhovna Rada of Ukraine. Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/555-15> [in Ukrainian]

12. Rozporiadzhennia KM Ukrainy No. 145-r vid 15.03.2006 *Pro skhvalennia Enerhetychnoi stratehii Ukrainy na period do 2030 roku* [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 145-p of 15.03.2006 *On approval of the Energy Strategy of Ukraine for the period until 2030*] (2006). The Verhovna Rada of Ukraine. Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/145-2006-p> [in Ukrainian]

13. Rozporiadzhennia KM Ukrainy No. 1071-r vid 24.07.2013 *Pro skhvalennia Enerhetychnoi stratehii Ukrainy na period do 2030 roku* [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1071-p of 24.07.2013 *On approval of the Energy Strategy of Ukraine for the period until 2030*] (2015). The Verhovna Rada of Ukraine. Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1071-2013-p> [in Ukrainian]

14. *Enerhetychna stratehiia Ukrainy: za stanom na 19 sich. 2015 r.* [The Energy Strategy of Ukraine] (2015). Ministerstvo enerhetyky ta vuhilnoi promyslovosti Ukrainy. The Ministry of energy and coal mining of Ukraine. Retrieved from <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358> [in Ukrainian].

15. Rozporiadzhennia KM Ukrainy No. 552-r vid 13.07.2016 *Prohrama rozvytku hidroenerhetyky na period do 2026 roku* [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 552-p of 13.07.2016 *On Approval of the Program of hydropower development for the period until 2026*] (2016). The Verhovna Rada of Ukraine. Retrieved from <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/552-2016-%D1%80/page> [in Ukrainian]

16. *Moroz A.V.* Analiz rozrahunkovih doslidzen gidroenergetichnih resursiv malih richok Ukraini [Analysis settlement studies of hydropower resources of small rivers Ukraine]. *Vidnovlyvana enerhetyka*, 2014, No. 1. pp. 70–75 [in Ukrainian]

17. *Vasko P.F.* Suchasnyi stan, potentsiini mozhlyvosti ta peredumovy podalshoho rozvytku maloi hidroenerhetyky v Ukraini [Current state, potential opportunities and prerequisites for the further development of small hydropower in Ukraine]. *Vidnovlyvana enerhetyka*, 2006, No. 1. pp. 60–66 [in Ukrainian]

18. *Moroz A.V.* Projekt derjavnogo standartu *Gidroenergetika. Gidroelektrostantsiy mali. Termini ta viznachennya ponyat* [The project of the state standard *Hydropower. Small hydropower plants. Terms and definitions*]. *Vidnovlyvana enerhetyka - Renewable Energy*, 2013, No. 2. pp. 65–67 [in Ukrainian]

19. DSTU 7501: 2014. Hydroenerhetyka. Hydroelektrostantsyy mali. Termyny u opredeleniya. [DSTU 7501: 2014: *Hydropower engineering. Small hydroelectric power plants. Terms and definitions*] (2015). HOST DSTU 7501: 2014 from 1st January 2015. Retrieved from http://document.ua/gidroenergetika_-gidroelektrostantsiyi-mali_-termini-ta-vizna-std27229.html [in Ukrainian]

20. Terytorii ta obiekty PZF Ukrainy [Territories and objects of nature reserve fund of Ukraine]. (2018). Pryrodnozapovidnyj fond Ukrainy. Nature reserve fund of Ukraine. Retrieved from <http://pzf.menr.gov.ua/пзф-україни/території-та-об'єкти-пзф-україни.html> [in Ukrainian]

21. *Krasnaia knyha Ukrainy*. [The Red Book of Ukraine] (n.d.). Retrieved from <http://redbook-ua.org/ru/> [in Ukrainian].

22. *Vasko P.F., Bril A.O., Moroz A.V., Ozorin D.F.* Raschet teoreticheskogo znacheniya gidroenergeticheskogo potentsiala malykh rek s uchetom obespechennosti stoka vody [Calculation of the theoretical value of the hydropower potential of small rivers, taking into account the availability of water flow]. *Alternativnaya energetika i ekologiya*, 2012, No. 7. pp. 126–132 [in Russian]

23. Google Earth Pro. (n.d.). Retrieved from <https://www.google.com/earth/download/gep/agree.html> [in Russian]

24. *Moroz A.V.* Matematychna imovirnisna model vyznachennya tekhnichnoho potentsialu malykh richok [Mathematical probabilistic model for determining the technical potential of small rivers]. *Vidnovlyvana enerhetyka*, 2017, No. 2. pp. 75–84 [in Ukrainian]

25. *Klymenko V.G.* Hidrolohiya Ukrayiny: Navchalnyy posibnyk dlya studentiv heohrafiv [Hydrology of Ukraine: A manual for students of geographers]. Kharkiv, VN Karazin KhNU, 2010. 124 p. [in Ukrainian]

SYNOPSIS

РЕФЕРАТ

The paper carried out an analysis of the current state of small hydropower of Ukraine. At the beginning of 2018 there were 154 small HPPs in operation, with a total installed capacity of about 99 MW. Further construction of small hydroelectric power stations should take place taking into account changes in the regulatory and legal framework of the country in the electricity and environmental sectors, which provide for restrictions on the use of territories for the construction of stations and the use of water for electricity production.

The environmental restrictions, which are based on the criteria of the ecological value of the territory and on the principles of environmental conservation and the diversity of fish fauna of the rivers are determined. Restrictions on the use of water for the production of electricity at a small hydroelectric power station include the sanitary discharge, the continuous functioning of the fish path, low-water level, floods, operational measures for regulating the water flow through hydrobuildings, and regulating the power of the hydroelectric power station by watercourse. Restrictions on the use of the territory for the construction of small hydroelectric power stations take into account the presence of national natural parks, nature reserves, sites of deposits of minerals and mineral waters, historical and cultural heritage, land parcels of special purpose.

The value of the technical potential of hydropower resources of small rivers in Ukraine is substantiated at the level of 1270 million kWh per year (about 375 MW of installed capacity of small hydroelectric power stations), and its distribution on the territory of the country, taking into account the requirements of the current regulatory framework in the energy and environmental sectors. The obtained results are essential for the development of a modern concept of regional development programs for small hydropower and implementation of measures of the National Renewable Energy Action Plan.

Наведено аналіз сучасного стану малої гідроенергетики України. На початок 2018 року в експлуатації знаходиться 154 малих ГЕС загальною встановленою потужністю близько 99 МВт. Подальше будівництво малих ГЕС повинно відбуватися з урахуванням змін в нормативно-правовій базі країни в електроенергетичній та природоохоронній сферах, що передбачають обмеження на використання територій для спорудження станцій та використання води для виробництва електроенергії.

Визначено природоохоронні обмеження, які ґрунтуються на критеріях екологічної цінності території та на принципах збереження навколишнього середовища і різноманіття іхтіофауни річок. Обмеження на використання води для виробництва електроенергії малою ГЕС враховують санітарний попуск, безперервне функціонування рибоходів, межень, повені та паводки, оперативні заходи з регулювання водного потоку через гідроспоруди, регулювання потужності ГЕС по водотоку. Обмеження на використання території для будівництва малих ГЕС враховують наявність національних природних парків, заповідників, пам'яток природи, місць покладів корисних копалин і мінеральних вод, історико-культурних спадщин, земельних ділянок спеціального призначення.

Обґрунтовано значення технічного потенціалу гідроенергетичних ресурсів малих річок України на рівні 1270 млн. кВт·год / рік (близько 375 МВт встановленої потужності малих ГЕС) і його розподіл по території країни з урахуванням вимог чинної нормативно-правової бази в енергетичній та природоохоронних сферах. Отримані результати є істотними для розробки сучасної концепції регіональних програм розвитку малої гідроенергетики та реалізації заходів Національного плану дій з відновлюваної енергетики.

Стаття надійшла до редакції 19.11.18

Остаточна версія 28.11.18