

УДК 621.311.21.001.2

ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА МАЛЫХ РЕК УКРАИНЫ С УЧЁТОМ ПРИРОДООХРАННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ*

А.А. Брыль, П.Ф. Васько, А.В. Мороз

Институт возобновляемой энергетики, Национальная академия наук Украины
д. 20А, ул. Г. Хоткевича, Киев, 02094, Украина
тел./факс: +38(044)206-28-09; e-mail: renewable@ukr.net

doi: 10.15518/isjaee.2018.25-30.086-095

Заключение совета рецензентов: 20.06.18 Заключение совета экспертов: 28.06.18 Принято к публикации: 05.07.18

Разработан экспресс-метод оценки потенциала гидроэнергетических ресурсов малых рек Украины с учетом требований действующей нормативно-правовой базы в природоохранной и энергетической сферах, что позволяет получить объективную информацию для разработки программ строительства малых гидроэлектростанций (ГЭС) на современном этапе развития альтернативной энергетики.

Определены природоохранные ограничения малой гидроэнергетики, основанные на положениях действующей нормативно-правовой базы Украины, критериях экологической ценности территории и принципах сохранения разнообразия ихтиофауны рек. Ограничения на использование воды для производства электроэнергии малой ГЭС учитывают санитарный попуск, непрерывное функционирование рыбоходов, межень, наводнения и паводки, оперативные мероприятия по регулированию водного потока через гидросооружения, регулирование мощности ГЭС по водотоку, которое даёт возможность практически не исказить природный гидрологический режим и биологическое состояние русла реки ниже створа станции. Ограничения на использование территории для строительства малых ГЭС учитывают наличие национальных природных парков, заповедников, памятников природы, мест залежей полезных ископаемых и минеральных вод, историко-культурного наследия, земельных участков специального назначения. Введены ограничения на допустимый уклон участков рек с учетом природоохранных ограничений.

Обосновано значение технического потенциала гидроэнергетических ресурсов малых рек Украины на уровне 1 270 млн. кВт·час/год (около 375 МВт установленной мощности малых ГЭС) и его распределение по гидрологическим зонам территории страны. Установлено, что объем технически достижимого потенциала гидроэнергетических ресурсов, даже для основных полноводных малых рек Украины, находится в пределах 3–15 % их природного потенциала.

Полученные результаты являются существенными для разработки современной концепции региональных программ развития малой гидроэнергетики и Энергетической стратегии, реализации мероприятий Национального плана действий по возобновляемой энергетике Украины.

Ключевые слова: гидроэнергетика; малая река; мощность; экология; электроэнергия.

EXPRESS ASSESSMENT OF HYDROPOWER POTENTIAL OF THE SMALL RIVERS IN UKRAINE WITH ACCOUNT OF ENVIRONMENTAL RESTRICTIONS

A.A. Bril, P.F. Vasko, A.V. Moroz

Institute of Renewable Energy of NASU
20A G.Khotkevych St., Kiev, 20294, Ukraine
tel./fax: +38 044 206 28 09, e-mail: renewable@ukr.net

doi: 10.15518/isjaee.2018.25-30.086-095

Referred 20 June 2018 Received in revised form 28 June 2018 Accepted 5 July 2018

*Брыль А.А., Васько П.Ф., Мороз А.В. Экспресс-оценка гидроэнергетического потенциала малых рек Украины с учётом природоохранных ограничений // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE), 2018;25-30:86-95.



The article is devoted to the development of an express method for assessing the potential of hydropower resources of the small rivers in Ukraine, taking into account the requirements of the current regulatory framework in the environmental and energy sectors, which provides objective information for the development of small hydropower stations at the current stage of alternative energy development.

The article determines the environmental restrictions of small hydropower based on the provisions of the current regulatory and legal framework of Ukraine, the criteria for the ecological value of the territory and the principles of preserving the diversity of wild fauna of rivers. Restrictions on the use of water for the production of small hydropower plants take into account the sanitary discharge, the continuous operation of fishers, low water, floods, operational measures to regulate the water flow through hydroconstructions, the regulation of hydroelectric power through the watercourse which allows practically no distortion of the natural hydrological regime and biological state of river below the station. Restrictions on the use of the territory for the construction of small hydropower stations take into account the presence of national natural parks, reserves, and natural monuments, places of deposits of minerals and mineral waters, historical and cultural heritage, special purpose land. Restrictions on the permissible bias of river sections have been introduced with regard to environmental restrictions.

The article substantiates the significance of the technical potential of the hydropower resources of small rivers in Ukraine, taking into account environmental restrictions, at the level of 1270 million kWh/year (about 375 MW of installed capacity of small HPPs), and its distribution over the hydrological zones of the country. It is established that the volume of technically achievable potential of hydropower resources, even for the main deep-water small rivers of Ukraine, is within 3–15% of their natural potential.

The results obtained are essential for the development of a modern concept of regional programs for the development of small hydropower and the Energy Strategy, implementation of the activities of the National Action Plan for Renewable Energy in Ukraine.

Keywords: capacity; ecology; electric power; hydropower engineering; small river.



Анатолий Алексеевич
Брыль
Anatoly Bryl

Сведения об авторе: научный сотрудник отдела гидроэнергетики Института возобновляемой энергетики Национальной академии наук Украины.

Образование: Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»; специальность «Электрические сети и системы» (1979 г.).

Область научных интересов: преобразование возобновляемых видов энергии и установки на их основе; малая гидроэнергетика.

Публикации: 46.

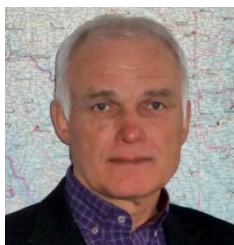
ORCID : 0000-0002-5134-0393

Information about the author: Researcher at the Hydropower Department of the Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine.

Education: National technical university of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"; Specialty "Electrical Networks and Systems", 1979.

Research interests: conversion of renewable energy types and installations based on them; small hydropower.

Publications: 46.



Петр Федосеевич Васько
Petr Vasko

Сведения об авторе: д-р техн. наук, ведущий отделом гидроэнергетики Института возобновляемой энергетики Национальной академии наук Украины.

Образование: Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»; специальность «Электрические машины и аппараты» (1973 г.).

Область научных интересов: альтернативная энергетика; энергосбережение; преобразование возобновляемых видов энергии и установки на их основе; малая гидроэнергетика.

Публикации: 234.

ORCID: 0000-0001-8807-7173

Information about the author: D.Sc. in Engineering, Head of Hydropower Department of the Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine.

Education: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"; Specialty "Electric Machines and Devices", 1973.

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

Publications: 234.





Анастасия Витальевна Мороз
Anastasia Moroz

Сведения об авторе: канд. техн. наук, старший научный сотрудник Института возобновляемой энергетики Национальной академии наук Украины.

Образование: Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»; специальность «Нетрадиционные источники энергии» (2012 г.).

Область научных интересов: альтернативная энергетика; энергосбережение; преобразование возобновляемых видов энергии; малая гидроэнергетика.

Публикации: 13.
ORCID: 0000-0002-9284-3624

Information about the author: Ph.D. in Engineering, Senior Researcher at the Institute of 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”, 2012.

Research interests: alternative energy; energy saving; transformation of renewable energy; small hydropower.

Publications: 13.

1. Введение

В настоящее время доля возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в общем мировом энергопотреблении составляет около 19 % с учётом использования традиционной биомассы для обогрева и приготовления пищи в развивающихся странах, а в электропотреблении – 23 % [1]. В общем энергообеспечении Украины ВИЭ составляют только около 4 %, а в электрообеспечении – 6 %, в основном за счет большой гидроэнергетики, потенциал которой практически уже исчерпан [2].

Согласно решению Совета Министров Энергетического Сообщества [3, 4], Украина взяла на себя обязательства до 2020 г. довести уровень производимой из ВИЭ энергии до 11 % в общей структуре энергоснабжения страны. Потенциальные возможности малой гидроэнергетики на территории Украины на период до 2030 г. оценены в Энергетической стратегии (редакция 2006 г.) [5] на уровне 1 147 МВт мощности с годовым объемом производства электроэнергии 3,75 млрд кВт·ч/год. В последующей редакции данного документа (2013 г.) [6] потенциал малой гидроэнергетики определен на уровне 4 ГВт установленной мощности малых гид-

роэлектростанций (ГЭС). Значительное расхождение в количественных показателях потенциала малой гидроэнергетики в разных документах обусловлено проведением только экспертной оценки без серьезных научных исследований.

Необходимо отметить, что полномасштабного уточнения гидроэнергетического потенциала малых рек на территории страны не проводилось с 1960 г. [7, 8]. За последние годы существенно изменилась нормативно-правовая база малой гидроэнергетики Украины [9, 10]: вместе с природоохранными требованиями изменилось и значение установленной максимальной мощности малой ГЭС, которое с 2012 г. составляет 10 МВт (до 2009 г. было 30 МВт) [11].

В данной статье впервые разработан метод аналитического определения гидроэнергетического потенциала участка малой реки, который в отличие от существующих учитывает требования нормативно-правовой базы в природоохранной и энергетической сферах. Расчетные исследования технического потенциала, проведенные согласно разработанному методу, позволили получить объективную информацию относительно технического потенциала для разработки программы строительства малых ГЭС на современном этапе.

Список обозначений	
<u>Буквы греческого алфавита</u>	
η	Коэффициент полезного действия
<u>Буквы латинского алфавита</u>	
E	Потенциал гидроэнергетических ресурсов
f	Дифференциальная плотность годовой вероятностной функции распределения расходов воды
g	Ускорение свободного падения, м/с ²
H	Напор воды, м
j	Порядковый номер участка реки относительно истока
k	Критерии выбора
L	Длина участка реки, м
l	Протяженность участка реки
N	Мощность, кВт
Q	Среднее значение расхода воды, м ³ /с
Q'	Расход воды вдоль участка реки, м ³ /с
T	Расчетный период времени, год
Z	Порядковый номер гидрологической зоны
<u>Буквы русского алфавита</u>	
М	Количество участков реки



Продолжение списка обозначений

<i>Индексы нижние</i>	
<i>e</i>	Экологическая ценность территории
<i>ez</i>	Энергетическое использование гидроресурса
<i>H</i>	Наклон вертикального профиля реки
<i>k</i>	Координата конца участка реки
<i>max</i>	Максимальный
<i>min</i>	Минимальный
<i>n</i>	Координата начала участка реки
<i>T</i>	Технический
<i>Аббревиатуры</i>	
ВИЭ	Возобновляемые источники энергии
ГЭС	Гидроэлектростанция
ДСТУ	Государственный стандарт Украины

2. Понятие потенциала малой гидроэнергетики и природоохранные ограничения при строительстве малых ГЭС

На территории Украины основные понятия малой гидроэнергетики регламентируются государственным стандартом ДСТУ 7501:2014 «Гидроэнергетика. Гидроэлектростанции малые. Термины и определения понятий» [12]. Понятие потенциала гидроэнергетических ресурсов малых рек, согласно определениям данного стандарта, формулируется следующим образом:

- природный потенциал малой гидроэнергетики – энергетический эквивалент запасов гидравлической энергии, сосредоточенный в источниках малой гидроэнергетики (кВт·час за год);
- технический потенциал малой гидроэнергетики – часть природного потенциала, которую могут использовать малые ГЭС с учетом социально-экологических требований (совокупности нормативно-правовых и нормативно-технических актов по охране и улучшению природных, социальных и техногенных условий существования человеческого общества);
- экономический потенциал малой гидроэнергетики – часть технического потенциала, использование которого экономически целесообразно для заданного промежутка времени.

В данной работе будет исследован только природный и технический потенциал гидроэнергетических ресурсов малых рек Украины.

Социально-экологические требования подробно изложены во многих украинских законах и программах по охране, сохранению и разумному использованию природных ресурсов, а также в международных договорах, конвенциях и протоколах к ним, которые необходимо учитывать при проведении исследований [9, 13]. Кроме того, следует учитывать природоохранные положения международного документа «Руководящие принципы развития гидроэнергетики», утвержденного 18–19 июня 2013 г. в г. Сараево (Босния и Герцеговина) на встрече Международной комиссии по защите реки Дунай. Данные принципы основываются на критериях экологической ценности

территории. Руководствуясь этим документом, общественные и экологические организации Украины разработали «Критерии и принципы выбора мест для строительства малых ГЭС на горных реках Карпат», которые прошли апробацию на общественных слушаниях и обсуждениях [14].

При проведении данного исследования природоохранные ограничения на использование гидроэнергетического ресурса реки были разделены на два типа ограничений, а именно:

- на использование воды для производства электроэнергии малой ГЭС (санитарный попуск, непрерывное функционирование рыбоходов, межень, наводнения и паводки, оперативные мероприятия по регулированию водного потока через гидросооружения, регулирование мощности ГЭС по водотoku);
- на использование территорий для строительства малых ГЭС (национальные природные парки, заповедники, памятники природы, места залежей полезных ископаемых и минеральных вод, историко-культурные территории, земельные участки специального назначения, значительные площади затопления).

По состоянию на январь 2015 г. Национальная система природоохранных территорий Украины состоит из более 8 тыс. защищенных участков местности общей площадью 3,3 млн га (6,05 % общей площади страны), в том числе 19 природных и 4 биосферных заповедника, 40 национальных парков, 45 региональных ландшафтных парков, 3 078 памятников природы, 2 729 заказников, 616 ботанических садов и памятников паркового искусства, 793 заповедных урочищ [15, 16]. Обеспечение реализации государственной политики в области использования и охраны земель входит в полномочия областных администраций.

Необходимо ввести также ограничения на использование гидроэнергетических ресурсов малых рек по уклону вертикального профиля с целью предотвращения затопления значительных территорий в случае сооружения ГЭС. Практика строительства показала, что нецелесообразно размещать малые ГЭС близко к месту впадения реки, где объем воды достаточно большой при малом перепаде высот.



Строительство верхнего бьефа приводит к затоплению больших площадей, а отсыпка дамбы – к большим затратам материальных средств. Например, перепад высот участка реки Южный Буг от пгт. Александровка до г. Николаев составляет всего 3 м при длине 147 км. Уклон реки на этом участке составляет 0,02 м/км. Похожие свойства имеет участок реки Западный Буг от с. Литовеж до с. Кошары. Другие реки на равнинной территории имеют схожие свойства. Так, река Северский Донец имеет достаточно малый уклон 0,1 м/км, протяженность этой реки на территории Украины составляет около 745 км, а перепад высот – всего 76 м. Средний расход воды реки превышает 55 м³/с, но этот объем воды ввиду малого уклона не представляет интереса для сооружения малых ГЭС. Показательной рекой для равнинной территории с малым уклоном является Псел (0,13 м/км), на котором построено несколько малых ГЭС. На основе выполненного анализа примем в дальнейших расчетах следующее значение минимального уклона участка реки: $H/L \geq 0,12$ м/км.

Каждая река должна быть также проверена на соответствие требованиям экологически-правовой базы для строительства малых ГЭС. Например, река Лимница, которая течёт по территории Ивано-Франковской области и является правым притоком Днестра, характеризуется уникальной чистотой воды, где в больших количествах водится форель и другие виды рыб, занесенные в Красную книгу Украины [17]. На некоторых реках исключению подлежат только некоторые участки, например, на реке Стрый возле с. Верхнее Синевидное при проведении инженерных изысканий были найдены залежи минеральной воды. Согласно условиям законодательной базы по охране окружающей среды, строительство ГЭС на таких участках запрещено, поэтому они должны быть изъяты из расчетных исследований.

Приведенные выше ограничения на использование воды для производства электроэнергии малой ГЭС учитывались в данной работе в рамках вероятностного подхода к определению уровней обеспеченности соответствующих расходов воды стока

реки [18, 19], а ограничения на использование территорий для строительства станций – соответствующим выбором критериев экологической ценности предполагаемых территорий [14].

3. Метод оценки природного и технического потенциала гидроэнергетических ресурсов малых рек

Вся территория страны была условно разделена, согласно основным положениям гидрологии [20], на 6 гидрологических зон, в которые входят реки с похожими гидрографическими и орографическими показателями.

На основе проведенного анализа гидрологических характеристик стока малых рек за весь период наблюдения, в каждой зоне была выбрана базовая река, имеющая наибольший природный потенциал гидроэнергетических ресурсов:

- Полесская гидрологическая зона – р. Тетерев;
- Западная гидрологическая зона – р. Западный Буг;

- Правобережно-Днепровская гидрологическая зона – р. Южный Буг;
- Левобережно-Днепровская гидрологическая зона – р. Псел;
- Северскодонецк-Приазовская гидрологическая зона – р. Оскол;
- Гидрологическая зона Украинских Карпат: Тисо-Латорицкая гидрологическая область – р. Тересва, Днестровско-Прутская гидрологическая область – р. Стрый.

Природный и технический потенциал для каждой базовой реки определялся следующим образом. Вертикальный профиль реки разделялся на M участков с последующей нумерацией относительно истока: $j = 1, 2, 3, \dots, M$. Текущую координату протяженности на участке, длину участка, перепад высот и среднее значение расхода стока на участке обозначим l_j , L_j , H_j и Q_j соответственно (рис. 1).

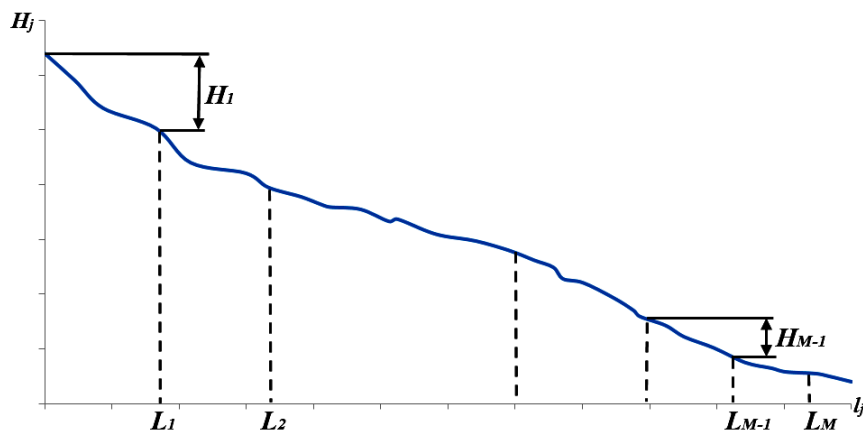


Рис. 1 – Координаты вертикального профиля реки
Fig. 1 – Coordinates of the river vertical profile

Введем в последующий анализ количественные значения критериев экологической ценности территории, обозначив их на j -м участке реки как k_{ej} . Если на определенном участке реки возможно строительство малой ГЭС, то присваиваем величине k_{ej} значение 1, а если строительство невозможно – то значение k_{ej} равно 0:

$$\begin{aligned} k_{ej} &= 1 - \text{строительство ГЭС разрешено,} \\ k_{ej} &= 0 - \text{строительство ГЭС запрещено.} \end{aligned} \quad (1)$$

Аналогичным образом будем учитывать и запрет на строительство ГЭС на участках реки с малым наклоном, чтобы обезопасить территорию от значительных затоплений. Для этого введем в анализ критерий наклона вертикального профиля j -го участка реки (k_{Hj}), количественные значения которого определяются как:

$$\begin{aligned} k_{Hj} &= 1 - \text{строительство ГЭС разрешено,} \\ k_{Hj} &= 0 - \text{строительство ГЭС запрещено.} \end{aligned} \quad (2)$$

При определении технического потенциала необходимо учесть и потери на преобразование энергии водотока в электрическую энергию, для чего используем понятие коэффициента полезного действия η . Дальнейший анализ выполним, предполагая, что значение η является одинаковым по всей протяженности реки, то есть:

$$\eta_j = \eta = const. \quad (3)$$

Среднее значение расходов стока на участке (Q_j) определим путем интегрирования переменной величины расходов вдоль протяженности участка (Q'_j) следующим образом (4):

$$E_m = gT\eta \sum_{j=1}^M \left[k_{ej} \cdot k_{Hj} \cdot H_j \int_{Q_{jmin}}^{Q_{jmax}} \left(\frac{1}{L_j} \int_{l_{jn}}^{l_{jk}} Q'_j dl_j \right) f(Q'_j) dQ'_j \right], \quad (7)$$

при условии $Q_{jmax} > Q'_j > Q_{jmin}$, $k_{ej} = 1$ или 0, $k_{Hj} = 1$ или 0,

где T – число часов в году.

Выражение (7) представляет собой математическую модель для определения технического гидроэнергетического потенциала реки с учетом критериев экологической ценности территорий и ограничений на использование воды для производства электроэнергии. Модель базируется на использовании вертикального профиля реки, вероятностного распре-

$$Q_j = \frac{1}{L_j} \int_{l_{jn}}^{l_{jk}} Q'_j dl_j, \quad (4)$$

где l_{jn} , l_{jk} – значение координаты начала и конца j -го участка реки.

Для учета экологических ограничений на использование расхода воды для производства электроэнергии используем функцию дифференциальной плотности вероятностного распределения стока реки [21]. Применение вероятностного распределения предоставляет возможность учесть расходы санитарного попуска, непрерывного действия рыбоходов и пропуска воды в паводковый период следующим образом:

$$\bar{Q}_j = \int_{Q_{jmin}}^{Q_{jmax}} Q'_j f(Q'_j) dQ'_j, \quad Q_{jmax} > Q'_j > Q_{jmin}, \quad (5)$$

где Q_{jmin} , Q_{jmax} – минимальное и максимальное значения расхода воды для производства электроэнергии; Q'_j – расход воды по результатам сезонных наблюдений на j -м участке реки; $f(Q'_j)$ – дифференциальная плотность годовой вероятностной функции распределения расходов воды.

Теперь, основываясь на положениях теоретических основ гидроэнергетики [22] и полученных выше результатах, можно записать мощность участка реки (N_j) с учетом ограничений на использование стока воды следующим образом:

$$N_j = gH_j \int_{Q_{jmin}}^{Q_{jmax}} \left[\frac{1}{L_j} \int_{l_{jn}}^{l_{jk}} Q'_j dl_j \right] f(Q'_j) dQ'_j, \quad (6)$$

где g – ускорение свободного падения.

Определение технического потенциала гидроэнергетического ресурса всей реки запишем как сумму составных участков вдоль течения реки:

ления расходов стока воды, природоохранных ограничений на использование стока воды и территории для строительства малых ГЭС.

Природный потенциал водотока малой реки (E_{np}) определялся по (7) при условии:

$$\eta = 1, 0; k_{ej} = 1; k_{Hj} = 1; \infty > Q'_j > 0, \quad (8)$$



которое снимает ограничения на использование воды и территорий для сооружения ГЭС.

Для каждой базовой реки из z -ой гидрологической зоны ($z = 1, 2, 3, \dots, 6$) рассчитывался коэффициент энергетического использования гидроресурса (k_{ez}):

$$k_{ez} = (E_m / E_{гр})_z \quad (9)$$

Для остальных рек в зоне значение коэффициента принималось (на основании экспертной оценки) равным $0,7 k_{ez}$.

Значение технического потенциала всей территории страны (E_T) определялось следующим образом:

$$E_T = \sum_{z=1}^6 (E_{mz} + 0,7 k_{ez} \sum_{i=1}^I E_{np_i}), \quad (10)$$

где $z = 1, 2, 3, \dots, 6$ – нумерация гидрологических зон; $i = 1, 2, 3, \dots, I$ – нумерация речек в гидрологической зоне.

4. Результаты и их обсуждение

Расчетные исследования выполнялись с учетом гидрологической информации по 273 пунктам измерения среднегодовых расходов стока малых рек за период наблюдений 1950–2010 гг. [23], которая была

дополнена справочными данными [24, 25]. Общее количество гидрологических пунктов равнялось 320, а количество исследуемых рек составило 166 единиц. Исследовались участки рек с расходами воды в пределах $(2 \div 150) \text{ м}^3/\text{с}$ и уклоном больше $0,12 \text{ м}/\text{км}$, что в зависимости от типа конструкции ГЭС (гребельная, деривационная) соответствует мощности станций в пределах $50 \text{ кВт} - 10 \text{ МВт}$.

Определение стока воды на каждом j -м участке реки осуществлялось по результатам наблюдений на пунктах измерений или с помощью модуля стока и соответствующей водосборной поверхности [10]. Для расчёта перепада высот вертикального профиля и площади водосборной поверхности участка реки применялись современные методы инженерной гидрологии и компьютерных технологий на основе цифровых топографических карт, которые получены путем аэрокосмического зондирования земной поверхности [18]. В данном исследовании использовались общедоступные результаты космического зондирования и соответствующие программные средства для ее обработки, в частности цифровая карта и программа *Google Earth Pro* [26].

В результате выполненных расчётных исследований получены значения коэффициентов энергетического использования гидроресурсов базовых рек всех гидрологических зон (в табл. 1).

Таблица 1
Показатели энергетического использования гидроресурсов базовых рек Украины
Table 1
Indicators of energy use of water resources of the basic rivers of Ukraine

Гидрологическая зона	Базовая река	Перепад высоты вертикального профиля, м	Природный потенциал, млн кВт·час/год	k_{ez}
Полесская	Тетерев	180	207,1	0,035
Западная	Западный Буг	77	88,5	0,03
Правобережно-Днепровская	Южный Буг	316	647,7	0,15
Левобережно-Днепровская	Псёл	73	108,48	0,11
Северскодонецк-Приазовская	Оскол	101	178,7	0,062
Украинские Карпаты	Тересва	321	722,9	0,1
Украинские Карпаты	Стрый	480	1065,42	0,055

Таким образом, значение технически достижимого потенциала гидроэнергетических ресурсов даже для основных полноводных малых рек Украины находится в пределах $(3 \div 15) \%$ их общего природного потенциала в зависимости от гидрологической зоны.

Выполненные расчётные исследования технического потенциала на всей территории страны по (10) позволили определить значение этого потенциала на уровне $1\,270 \text{ млн кВт·час/год}$ (375 МВт установленной мощности малых ГЭС). Распределение потенциала по гидрологическим зонам показано на рис. 2.



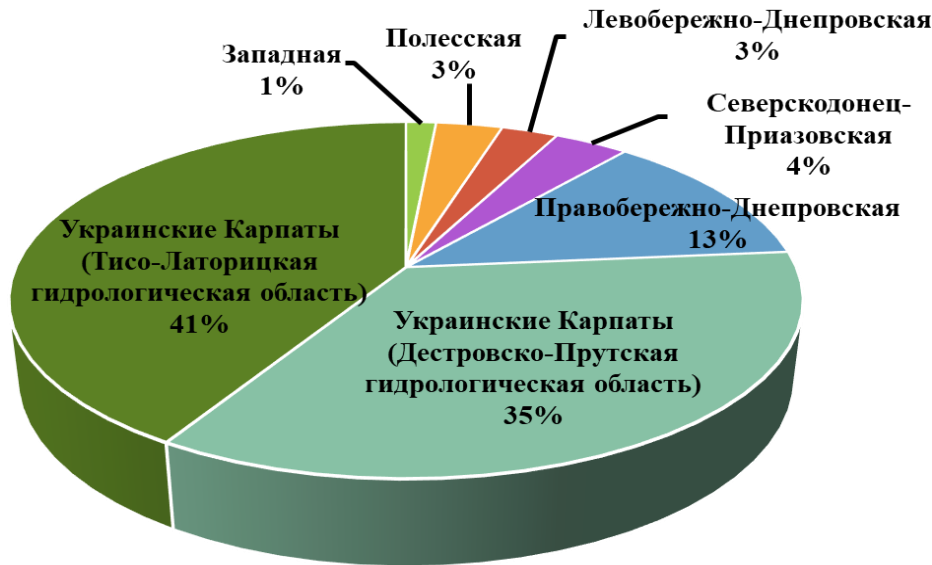


Рис. 2 – Распределение технического гидроэнергетического потенциала малых рек по гидрологическим зонам
 Fig. 2 – Distribution of technical hydropower potential of small rivers for hydrological zones

Наибольший технический потенциал гидроэнергетических ресурсов малых рек сосредоточен в Карпатском регионе (76 %), затем следует Правобережно-Днепровская гидрологическая зона (13 %). На левобережной части страны потенциал составляет 7 %. К малоперспективным территориям для развития малой гидроэнергетики относятся Западная и Полесская гидрологические зоны (вместе 4 %).

по территории страны с учетом требований действующей нормативно-правовой базы в энергетической и природоохранной сферах. Полученные результаты имеют значение для разработки современной концепции региональных программ развития малой гидроэнергетики и реализации мероприятий Национального плана действий по возобновляемой энергетике.

5. Заключение

Природоохранные ограничения малой гидроэнергетики основаны на критериях экологической ценности территории и принципах сохранения разнообразия ихтиофауны рек. Ограничения на использование воды для производства электроэнергии малой ГЭС учитывают санитарный попуск, непрерывное функционирование рыбоходов, межень, наводнения и паводки, оперативные мероприятия по регулированию водного потока через гидросооружения, регулирование мощности ГЭС по водотoku. Ограничения на использование территории для строительства малых ГЭС учитывают наличие национальных природных парков, заповедников, памятников природы, мест залежей полезных ископаемых и минеральных вод, историко-культурного наследия, земельных участков специального назначения.

Объем технически достижимого потенциала гидроэнергетических ресурсов даже для основных полноводных малых рек Украины находится в пределах 3 ÷ 15 % их природного потенциала.

Значение технического потенциала гидроэнергетических ресурсов малых рек Украины находится на уровне 1 270 млн кВт·час/год (около 375 МВт установленной мощности малых ГЭС) и распределяется

Список литературы

- [1] Возобновляемые источники энергии 2016. Глобальный отчет о состоянии. – Париж: Секретариат РЕН21, 2016. – 272 с. (ISBN 978-3-9818107-0-7)
- [2] Современное состояние, проблемы и перспективы развития гидроэнергетики Украины. Аналитический доклад / О.М. Суходоля [и др.]; под ред. О.М. Суходоля. – Киев: НИСД, 2014. – 54 с.
- [3] 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 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.energy-community.org/dam/jcr:f2d4b3b8-de85-41b2-aa28-142854b65903/Decision_2012_04_MC_RE.pdf – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 15.05.2018).
- [4] Распоряжение Кабинета Министров Украины №902-р от 1.10.2014. Национальный план действий по возобновляемой энергетике на период до 2020 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 05.05.2018).
- [5] Распоряжение Кабинета Министров Украины № 145-р от 15.03.2006. О принятии Энергетической стратегии Украины на период до 2030 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа:



<http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/145-2006-p>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 05.09.2016).

[6] Распоряжение Кабинета Министров Украины № 1071-р от 24.07.2013. О принятии Энергетической стратегии Украины на период до 2030 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1071-2013-p> – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 05.09.2014).

[7] Мороз, А.В. Анализ расчетных исследований гидроэнергетических ресурсов малых рек Украины / А.В. Мороз // Возобновляемая энергетика. – 2014. – № 1. – С. 70–75.

[8] Васько, П.Ф. Современное состояние, потенциальные возможности и предпосылки дальнейшего развития малой гидроэнергетики в Украине / П.Ф. Васько // Возобновляемая энергетика. – 2006. – № 1. – С. 60–66.

[9] Васько, П.Ф. Законодательные стимулы и природоохранные ограничения использования гидроэнергетических ресурсов малых рек Украины [Текст] / П.Ф. Васько, А.В. Мороз // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEЕ). – 2014. – №15. – С. 82–92.

[10] ДБН В.2.4-8: 2014. Государственные строительные нормы Украины. Определение расчетных гидрологических характеристик. – Введ. 2015-06-30. – К.: Минрегионстрой, 2015.

[11] Закон Украины «Об альтернативных источниках энергии» (с поправками от 13.04.2017) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/555-15>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 05.05.2018).

[12] ДСТУ 7501: 2014. Гидроэнергетика. Гидроэлектростанции малы. Термины и определения. – Введ. 2015-01-01. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://document.ua/gidroenergetika_gidroelektrostantsiyi-mali_termini-ta-vizna-std27229.html – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 05.05.2018).

[13] Закон Украины «Об оценке влияния на окружающую среду» № 2059-VIII [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2059-19>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 05.05.2018).

[14] Критерии и принципы выбора мест для строительства МГЭС на горных реках Карпат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ekosfera.org/category/publikatsii/dokumenty/images/dmdocuments/Criteria&Principles.pdf> – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 15.05.2018).

[15] Система природоохранных территорий [Электронный ресурс] // Природно-заповедный фонд Украины. – 2018. – Режим доступа: <http://pzf.menr.gov.ua/pzf-ukraini/teritorii-ta-obekti-pzf-ukraini.html> – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 15.05.2018).

[16] Закон Украины «О природно-заповедном фонде Украины» № 2456-12 [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2456-12> – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 05.05.2018).

[17] Красная книга Украины [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://redbook-ua.org/ru/> – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 05.05.2018).

[18] Васько, П.Ф. Расчёт теоретического значения гидроэнергетического потенциала малых рек с учётом обеспеченности стока воды [Текст] / П.Ф. Васько [и др.] // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEЕ). – 2012. – № 7. – С. 126–132.

[19] Васько, П.Ф. Энергетическая эффективность малой гидроэлектростанции при экологических ограничениях на использование стока воды реки для производства электроэнергии [Текст] / П.Ф. Васько, М.Р. Ибрагимова // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEЕ). – 2017 – № 04–06 (216–218). – С. 103–115. – ISSN 1608–8298.

[20] Клименко, В.Г. Гидрология Украины: Учебное пособие для студентов географов / В.Г. Клименко. – Харьков: ХНУ имени В.Н. Каразина, 2010. – 124 с.

[21] Блохинов, Е.Г. Распределение вероятностей величин речного стока. – М.: «Наука», 1974. – 172 с.

[22] Малинин, Н.К. Теоретические основы гидроэнергетики : учеб. для вузов по специальности «Гидроэнергетика» / Н.К. Малинин. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 312 с.

[23] Труды центральной геофизической обсерватории / Под ред. О.О. Косовца. – К.: Интерпресс ЛТД, 2014. – Вып. 10 (24). – 104 с.

[24] Малые реки Украины: Справочник / А.В. Яцьк [и др.]; Под ред. А.В. Яцька. – К.: Урожай, 1991. – 296 с.

[25] Справочник по водным ресурсам / Под ред. Б.И. Стрельца. – К.: Урожай, 1987. – 304 с.

[26] Програма Google Earth Pro [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.google.com/earth/download/gep/agree.html> – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 05.05.2018).

References

[1] *Vozobnovlyayemye istochniki energii 2016. Global'nyi otchet o sostoyanii [Renewable Energy 2016. Global status report].* Paris: REN21 Secretariat, 2016, p. 272, ISBN 978-3-9818107-0-7 (in Russ.).

[2] *Current state, problems and prospects of hydro-power development in Ukraine: Analytical report.* Edited by Sukhodolya O.M. Kiev: NISS, 2014, p. 54 (in Ukrain.).

[3] *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, 2009.* Available on: https://www.energy-community.org/dam/jcr:f2d4b3b8-de85-41b2-aa28-142854b65903/Decision_2012_04_MC_RE.pdf (in Eng.).

[4] *Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine No.902-p of October 1, 2014. National Action Plan for*



Renewable Energy for the period until 2020. Available on: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80> (05.05.2018) (in Ukrain.).

[5] Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine No.145-p of March 15, 2006. Energy Strategy of Ukraine for the period until 2030. Available on: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/145-2006-p> (09.05.2016) (in Ukrain.).

[6] Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1071-p of July 24, 2013. Energy Strategy of Ukraine for the period until 2030. Available on: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1071-2013-p> (09.05.2016) (in Ukrain.).

[7] Moroz A.V. Analiz raschetnykh issledovaniy gidroenergeticheskikh resursov malykh rek Ukrainy [Analysis calculated studies of hydropower resources of small rivers in Ukraine]. *Vidnovliuvana enerhetyka [Renewable energy]*, 2014;(1):70–75 (in Ukrain.).

[8] 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]. *Vidnovliuvana enerhetyka [Renewable energy]*, 2006;(1):60–66 (in Ukrain.).

[9] Vasko P.F., Moroz A.V. Zakonodatelnye stimuly i prirodookhrannye ogranicheniya ispolzovaniya gidroenergeticheskikh resursov malykh rek Ukrainy [Legislative Incentives and Environmental Restrictions on the Use of Hydropower Resources of Small Rivers of Ukraine]. *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*, 2014;(15):82–92 (in Russ.).

[10] *DBN V.2.4-8:2014 (2014): State Building Standards: Determining the Calculated Hydrological Characteristics, Introduction Date: June 30, 2015*. Kiev: State Research Institute of Building Constructions of the Ministry of Regional Development, Construction, and Communal Living of Ukraine (in Ukrain.).

[11] The Law of Ukraine “On Alternative Energy sources” No.2019-VIII of April 13, 2017. Available on: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/555-15> (05.05.2018) (in Ukrain.).

[12] *DSTU 7501: 2014 (2015): Hydropower engineering. Small hydroelectric power plants. Terms and definitions, Introduction Date: January 1, 2015*. Available on: http://document.ua/gidroenergetika_gidroelektrostanciyi-mali_termini-ta-vizna-std27229.html (05.05.2018) (in Ukrain.).

[13] The Law of Ukraine “On Environmental Impact Assessment” No.2059-VIII of May 23, 2017. Available on: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2059-19> (05.05.2018) (in Ukrain.).

[14] Criteria and principles for the selection of sites for the construction of SHPP on the mountain rivers of the Carpathians. Available on:

<http://www.ekospha.org/Dokumenti/dokumenty.html> (05.05.2018) (in Ukrain.).

[15] *Protected areas system. Natural Reserve Fund of Ukraine (Online)*. Available on <http://pzf.menr.gov.ua/pzf-ukraini/teritorii-ta-ob'ekti-pzf-ukraini.html> [Accessed May 15, 2018] (in Ukrain.).

[16] The Law of Ukraine “On the Natural Reserve Fund of Ukraine” No. 2456-12 of April 19, 2018. Available on: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2456-12> (05.05.2018) (in Ukrain.).

[17] The Red Data Book of Ukraine (Online). Available on: <http://redbook-ua.org/ru/>. [Accessed May 5, 2018] (in Russ.).

[18] Vasko P.F., Bril A.O., Moroz A.V., Ozorin D.F. Raschet teoreticheskogo znacheniya gidroenergeticheskogo potentsiala malykh rek s uchetoм obespechennosti stoka vody [Calculation of the theoretical value of the hydropower potential of small rivers, taking into account the availability of water flow]. *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*, 2012;(7):126–132 (in Russ.).

[19] 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]. *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*, 2017;(4-6):103–115; ISSN 1608 – 8298 (in Russ.).

[20] Klimenko V.G. Hydrology of Ukraine: Textbook for students of geographers. Kharkov: KhNU named after V.N. Karazin, 2010, p. 124 (in Ukrain.).

[21] Blokhinov E.G. Distribution of the probabilities of river runoff values. Moscow: Nauka Publ., 1974, p. 172 (in Russ.).

[22] Malinin N. K. Theoretical hydropower bases Textbook. for universities on specialty “Hydroelectric power engineering”. Moscow: Energoatomizdat Publ., 1985, p. 312 (in Russ.).

[23] *Proceedings of the Central Geophysical Observatory*. Edited by Kosovets O.O. Kiev: Interpress LTD, 2014, vol. 10 (24), p. 104 (in Ukrain.).

[24] Yatsyk A.V., Byshovets L.B., Bogatov E.O. and others *Small rivers of Ukraine: Reference book*. Edited by Yatsik A.V. Kiev: Urozhai Publ., 1991, p. 296 (in Ukrain.).

[25] Handbook of water resources. Edited by Strelets B.I. Kiev: Urozhai Publ., 1989, p. 304 (in Russ.).

[26] The program Google Earth Pro (Online). Available on:

<https://www.google.com/earth/download/gep/agree.html> [Accessed May 5, 2018] (in Russ.).

Транслитерация по BSI

