

І. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

<http://doi.org/10.17721/1728-2721.2016.64.1>
УДК 556.52+621.22.01

О. Ободовський, д-р геогр. наук, проф.,
К. Данько, канд. геогр. наук, зав. сектором,
О. Почасвець, асп., пров. інж.,
Ю. Ободовський, асп.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

МЕТОДИКА ВСТАНОВЛЕННЯ ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ РІЧОК (НА ПРИКЛАДІ РІЧОК УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ)

У роботі представлено та обґрунтовано алгоритм та методику встановлення гідроенергетичного потенціалу річок. Апробація алгоритму та методики здійснювалась на водотоках Українських Карпат. За результатами апробації запропоновано підхід визначення гідроенергетичного потенціалу через встановлення чотирьох його складових: загального, екологічного, технічно можливого та економічно ефективного гідроенергетичного потенціалу. Обґрунтовано доцільність встановлення та концепцію визначення екологічного та зокрема технічно можливого гідроенергетичного потенціалів. Запропоновано критерії експертної оцінки ризиків втрат технічно можливого гідроенергетичного потенціалу водотоків. Представлено та проаналізовано схему басейнового розподілу та прогнозу змін гідроенергетичного потенціалу.

Ключові слова: гідроенергетичний потенціал, річки Українських Карпат, встановлення гідроенергетичного потенціалу, середньорічний стік.

Актуальність тематики. Законом України Про альтернативні джерела енергії визначено, що гідроенергія є одним з ключових альтернативних різновидів енергії [8, 9, 11, 12]. Крім того, на її генерацію встановлюється "зелений тариф" [11, 12]. Це робить гідроенергетику одним з пріоритетних напрямків на шляху до енергонезалежності та енергетичної безпеки забезпечення України [23].

Гідроенергетичні потужності об'єднаної енергетичної системи України становлять 6063,3 МВт, з яких на малу гідроенергетику приходить 150 МВт, тобто лише 2.47%, що говорить про надзвичайно слабку освоєність гідроенергетичних ресурсів середніх та малих річок. При цьому більша частка гідроенергопотужності забезпечується ГЕС та ГАЕС великих річок 5611,1 МВт або 92.5% [23].

В Україні з 63119 річок, до малих відносять 63029 річок [18], гідроенергоресурси яких є потенційним джерелом електроенергії. Найбільш перспективними в цьому контексті є річки Українських Карпат, які характеризуються значною водністю та сприятливими гідрравлічними умовами (великі похили). Тому річки Українських Карпат є найбільш репрезентативним з огляду на апробацію комплексної методики встановлення гідроенергетичного потенціалу річок. Крім того, річки карпатського регіону мають надзвичайно важливий екологічний та природно-естетичний потенціал, що саме і змушує підходити комплексно і виважено до оцінки енергетичних ресурсів водотоків та майбутнього їх використання через розвиток малої гідроенергетики, як альтернативної. Використання гідроенергетичного потенціалу карпатських річок в басейнах Тиси, Пруту, Сірету та Дністра може в майбутньому вирішити проблему не лише забезпечення населення та господарських об'єктів електроенергією, але й її можливе експортування за межі України. Для цього першим кроком необхідно на базі сучасних методик та технологій визначити гідроенергетичні потенціали річок указаних басейнів, щоб розумітися на потенційних потужностях їхніх гідроенергоресурсів.

Гідроенергетичний потенціал (ГП) та його складові. Важливим концептуальним положенням є визначення терміну "гідроенергетичний потенціал" та його складових. У літературі є декілька підходів щодо цих тлумачень [21, 24-26]. В своїх дослідженнях ми виділяємо 4 категорії гідроенергетичного потенціалу: загальний (природний теоретичний), екологічний, технічно

можливий та економічно обґрунтований гідроенергетичний потенціал.

Найбільш узагальнюючим і важливим показником, що характеризує гідроенергетичну потужність водотоку є *загальний гідроенергетичний потенціал* (ЗГП), як характеристика повної теоретичної енергії річкового стоку. Для визначення цього потенціалу обчислюється потужність енергії стоку води.

На думку ряду авторів [21, 25] найбільш коректні та об'єктивні результати дає метод сумарного подільного обліку встановлення ЗГП. Його сутність полягає в тому, що проводиться оцінка загальної потужності всіх ділянок річки, які потенційно можна енергетично використати. Основними критеріями для вибору ділянок є наявність більш-менш однорідного похилу (наприклад, поріжно-водоспадні з похилом $I > 30\%$), або значна бокова приточність, яка змінює гідрравлічні умови річки. Для кожної ділянки визначається її загальна потужність (N , кВт) за формулою (1):

$$N = g \cdot \left(\frac{Q_1 + Q_2}{2} \right) \cdot (H_1 - H_2) \quad (1)$$

де g – прискорення вільного падіння ($g = 9,81$ м/с²), Q_1 і Q_2 – витрати води на початку та в кінці ділянки м³/с; H_1 і H_2 – абсолютні відмітки на початку та в кінці ділянки, м.

Сумарна потужність усіх ділянок складає загальний енергетичний потенціал річки і визначається як (2):

$$N_{\text{заг}} = N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n - \sum N_i \quad (2)$$

де N_1, N_2, N_3 – потужності кожної з ділянок.

Варто також відзначити, що для кожної ділянки річки можна встановити потенціальні річні запаси гідроенергії (E , кВт·год/рік) (3):

$$E = T \cdot g \cdot \left(\frac{Q_1 + Q_2}{2} \right) \cdot (H_1 - H_2) \quad (3)$$

де T – кількість годин в році. Вираз $T \cdot g$ в розрахункових потенціальних запасах гідроенергії приймається рівним 85935 [1].

Відомо, що загальний гідроенергетичний потенціал річок не може бути використаний у повному обсязі [24], що обумовлюється наступними обставинами:

- суттєве затоплення територій в результаті спорудження водосховищ ГЕС;

- екологічно невідгідне спорудження та використання електроенергії нерентабельних ГЕС на ряді річок;
- втрати енергії при її виробництві (внутрішні тертя, гідромеханічні втрати, втрати в енергетичному об'єднанні);
- природні та техногенні втрати води з водосховищ (випаровування, забори води);
- втрати напору в гідравлічних спорудах;
- гідравлічні втрати напору на кривій підпорі;
- неможливість енергетичного використання верхів'я та нижніх (пригирлових) ділянок річок;
- заборона використовувати в господарській діяльності ділянки річок, які входять до території природно-заповідного фонду;
- неможливість (недоцільність) енергетичного використання річок, пов'язаних з ендегенними та екзогенними процесами та орографією басейну.

Вказані обставини підсилюються екологічними проблемами, які виникають при гідроенергетичному використанні річок. Особливо це стосується гірських та напівгірських водотоків, де екологічно науково необґрунтоване енергетичне використання їх водних ресурсів може призвести до неповторних змін їхніх екосистем.

Тому необхідно обчислювати гідроенергетичний потенціал річок з врахуванням втрат викликаних різними екологічними та технічно-економічними аспектами (наявність об'єктів природно-заповідного фонду на водозборі поблизу водотоків, прояв небезпечних геолого-геоморфологічних процесів). Так, розраховується спочатку екологічний, а потім технічно можливий потенціал.

Під *екологічним гідроенергетичним потенціалом* (ЕкГП) розуміється така частина ЗГП, яка виключає з

обсягів загальної гідроенергетичної потужності водотоку енергетичну потужність тих ділянок річки, які відзначаються високою екологічною цінністю і не можуть бути використані в господарсько-енергетичних цілях. ЕкГП – це складова загального гідроенергетичного потенціалу, яка є важливою, доцільною та необхідною при визначенні енергетичних потужностей водотоків регіонів, таких як річки Українських Карпат. Його необхідність диктується передусім збереженням річкових водних об'єктів та їх відповідності вимогам Водної Рамкової Директиви ЄС [6] через мінімізацію господарської освоєності та навантаженості. Поряд з цим, варто також враховувати основні положення Директиви ЄС "Про оцінку та управління ризиками наводнень" [5].

Основними критеріями для встановлення ЕкГП пропонується:

- наявність у річковому басейні природоохоронних територій (гідрологічні, ландшафтні заказники, регіональні ландшафтні парки, національні природні парки, заповідники тощо) (рис. 1);
- співвідношення середньорічного стоку до мінімального ($Q_{сер}/Q_{мін}$) (у верхів'ях річок не зважаючи на значні похили русел (великий напір) відмічається малий стік води, його використання можливе лише з врахуванням співвідношення $Q_{сер}/Q_{мін}$, як 1/5 – 1/7, тобто за умови, коли стік у верхів'ї водотоку становить 14-20% від загального стоку [17]. При збільшенні цих співвідношень оцінка гідроенергоресурсів не проводиться).

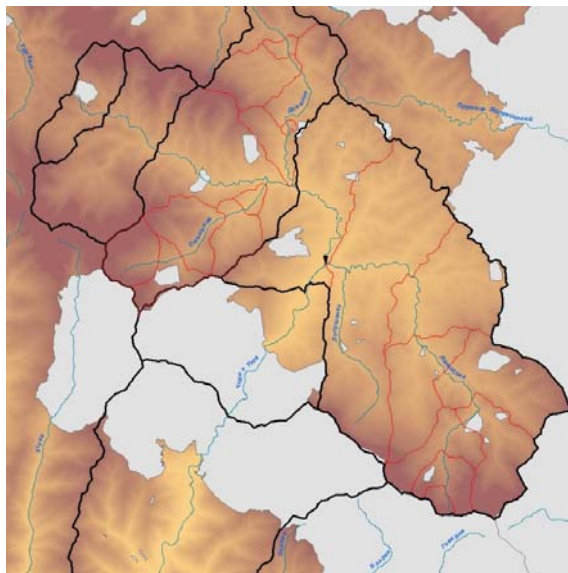


Рис.1. Розташування об'єктів ПЗФ в межах басейну р. Чорна Тиса

Нами встановлено, що більшість верхів'їв річок, які є дуже малими за водністю (потічки), і не можуть бути використані у гідроенергетичних цілях [20]. Така умова сприятиме збереженню їх екологічного стану та природного потенціалу. Для річок басейнів Українських Карпат співвідношення $Q_{сер}/Q_{мін}$ в середньому складає наступні показники: Тиси – 7,10; Пруту – 5,83; Сирету – 5,75; Дністра – 6,58 [17].

Що стосується першого критерію при встановленні екологічного потенціалу, то виключення із загальної

оцінки ділянок водотоків, що входять до охоронних територій, забезпечить збереження природних ландшафтів та референційних умов, в яких знаходяться річки та їх водозбори.

Подібні підходи декларуються в публікаціях зарубіжних авторів [2, 3]. Деякі автори [21] долучають екологічний потенціал до складу технічного потенціалу, тим самим "відволікаючи" увагу від репрезентативності та важливості оцінки даного показника.

Технологічні особливості встановлення екологічного гідроенергетичного потенціалу майже за всіма пунктами співпадають із встановленням загального. Таким чином, при оцінці ЕкГП особлива увага приділялась ділянкам річок, які не задовольняють співвідношення $Q_{сер}/Q_{мін}$ та тим, що протікають в межах природно-заповідного фонду.

Частина ЗГП з виключенням ЕкГП та потенційних втрат потужності водотоку за рахунок природно-антропогенних особливостей території, і яка реально може бути використана в гідроенергетичних цілях називається *технічно можливий гідроенергетичний потенціал* (ТМГП). Під ним можна розуміти ту частину гідроенергетичного потенціалу, яка є технічно можливою (економічно ефективною) для використання. За [25] технічно можливий потенціал визначають виходячи з потенціалу водних ресурсів, які варто зменшити як ризики від втрат, пов'язані з фільтрацією та випаровуванням, неможливістю повного використання стоку річки (слабке його регулювання, можливі відбори води, відсутність комунікацій та ЛЕП, тощо). Його величина залежить також від геологічних умов (середовища) – тектонічні розломи, тектонічні рухи, землетруси (8-9 балів та вище), карст, зсуви та селі, гідрогеологічних умов – рівень залягання підземних вод, орографії басейну – крутизна схилів, фізичних властивостей ґрунтів – суфозія, просідання, набрякання, тощо. До чинників, які безумовно суттєво знижують ТМГП відносяться і ЕкГП річок. В такому разі загальна схема (формула) встановлення ТМГП є наступною (4):

$$E_{ТМГП} = E_{ЗГП} - E_{ЕкГП} - E_{ВТРАТ} \quad (4)$$

де $E_{ТМГП}$ – енергія технічно можливого гідроенергетичного потенціалу; $E_{ЗГП}$ – енергія загального гідроенергетичного потенціалу; $E_{ЕкГП}$ – енергія екологічного гідроенергетичного потенціалу; $E_{ВТРАТ}$ – ризик втрати гідроенергопотужності, пов'язаних із втратами водних ресурсів, небезпечними геологічними та гідрогеологічними процесами, небезпечною екзогенною діяльністю, антропогенним впливом, тощо.

Варто зазначити, що величина $E_{ВТРАТ}$ включає в себе велику кількість невідомих дескрипторів, що створює певні ризики утворення похибки при визначенні даного показника.

Для річок Східноєвропейської рівнини втрати енергії, пов'язані із втратами водних ресурсів (втрати напору і втрати стоку) зазвичай можуть змінюватися в межах від 3 до 10%. Причому максимальні значення характерні для дериваційних ГЕС. Механічні втрати при перетворенні гідравлічної енергії в електричну можуть складати 11-13%. Разом величина цих втрат максимально може становити 22-24%. При старих конструкціях ГЕС та їх турбін вони неминучі. Отже, мінімальне реальне використання ЗГП становить орієнтовно 87% [25], а в окремих випадках може досягати 75%.

Серед небезпечних геологічних процесів на території басейнів річок Карпатського регіону варто виділити зсуви (більше 4000 зсувів), селі (220 селенебезпечних водотоків), землетруси (магнітудою – до 8,0 (Прикарапаття), – до 6,0 (Карпатська складчаста область)) та тектонічні рухи [22]. Крім того, локальний прояв мають карст (басейни Пруту і Дністра), ерозійні процеси (ураженість якими може складати 30% площ [3], розроблення нафтогазоносних покладів (інтенсифікація зсувів), зменшення площі лісів та інша господарська діяльність.

Перераховані чинники впливають на технічно можливий для використання гідроенергетичний потенціал водотоків і визначають ризики його зменшення.

Величина технічно можливого гідроенергетичного потенціалу річок є достатньо змінною в залежності від умов виробництва та використання гідроенергії. Найбільш точно вона може бути встановлена в результаті безпосереднього складання схем та проектів енергетичного використання річок [1], хоча це є надзвичайно складною задачею, навіть на рівні оцінки наближених показників потужності водотоків всього басейну чи конкретного регіону. Тому для його оцінювання застосовується декілька підходів.

Одним з таких методів є визначення коефіцієнта використання загального гідроенергетичного потенціалу K_1 [24]. Він виражає частку можливої до технічного використання енергії від загального потенціалу річки. Виділяють чотири групи річок з різною потенційною енергією та відповідним коефіцієнтом використання загального гідроенергетичного потенціалу K_1 :

- група I – крупні річки з потенційною енергією > 10000 млн. кВт. год. $K_1 = 0,75-0,85$. А для річок з малими похибками $K_1 = 0,3-0,5$;
- група II – великі річки з потенційною енергією 1000-10000 млн. кВт. год. $K_1 = 0,50-0,75$. Для річок, що протікають у районах зрошення, $K_1 = 0,25-0,45$;
- група III – середні річки з потенційною енергією 15-1000 млн. кВт. год. $K_1 = 0,4-0,5$. З дериваційними облаштуваннями $K_1 = 0,3$;
- група IV – малі річки з потенційною енергією < 15 млн. кВт. год. $K_1 = 0,15-0,20$ у випадку будівництва лише малих ГЕС.

За таким підходом в роботі [15] (без аргументованості їх кількісних величин) встановлені такі показники коефіцієнта використання загального гідроенергетичного потенціалу K_1 для річок Карпатського регіону:

- басейн Дністра – $K_1 = 0,40$;
- басейн Тиси – $K_1 = 0,40$;
- басейн Пруту – $K_1 = 0,40$;
- басейн Сирету – $K_1 = 0,41$.

Враховуючи вищевикладене в розрахунках ТМГП ми користувались експертною оцінкою основних ризиків, які можуть знижувати загальне виробництво гідроелектроенергії. Серед цих показників (як природних, так і антропогенних), які встановлюють указані ризики для річок Карпат є наступні:

- зміна типів русел річок при виході з гір на рівнину ($E_{русл}$).
- зсуви, селі, лавини, ерозія ґрунтів (екзогенні процеси), ($E_{екзо}$).
- сейсмічність території (землетруси) та тектонічні рухи – (ендогенні процеси) ($E_{ендо}$).
- карст ($E_{карст}$).
- регулюваність стоку та меліорація територій ($E_{зм}$).
- відсутність комунікацій та ЛЕП ($E_{клеп}$).
- селитебне навантаження та інша господарська діяльність ($E_{снгд}$).

Перші 4 показники можна віднести до природних, наступні 3 є антропогенними.

"Питома вага" ризику на зменшення ЗГП кожного з цих показників для річок, які протікають в різних природних умовах, є різною. Тому для них уведено відсоткові величини зменшення загального гідроенергетичного потенціалу, які можна використовувати як для басейнового ЗГП, так і для відповідних ділянок річок. Ці показ-

ники (в долях від 1) можна представити у вигляді відповідних оціночних таблиць (табл. 1-7).

Перший із природних показників стосується зміни умов руслоформування і, як наслідок, типів русел річок, які мають місце при їх виході з гір на рівнину ($E_{русл}$) (табл. 1).

При переході з врізаного меандруючого русла (або з русла з розвинутими алювіальними формами) до розгалуженого русла (руслова або заплавна багаторукав-

ність) зменшуються похили річок і падає їх транспортувальна (енергетична) здатність. А з іншого боку, на ділянках з багаторукавним руслом виникають певні складнощі з проектуванням та будівництвом малих ГЕС (МГЕС). Такі ділянки русла річок розташовані в Карпатському регіоні локально і, здебільшого, це стосується правих притоків Тиси та Дністра.

Таблиця 1. Зменшення ЗГП через ступінь ризиків за зміною типів русел річок при їх виході з гір на рівнину

№ п/п	Дія на ЗГП	У долях від 1	У %
1	Відсутня	0	0
2	Слабка	0,001-0,01	0,1-1
3	Помірна	0,01-0,05	1-5
4	Сильна	>0,05	>5

Наступним "природним" екзогенним чинником, який потенційно зменшує ЗГП річок є ризики від впливів зсувів, селей, лавин та ерозії ґрунтів ($E_{екзо}$) (табл. 2).

Таблиця 2. Зменшення ЗГП через ступінь ризиків за показниками зсуви, селі, лавини, ерозія ґрунтів

№ п/п	Дія на ЗГП	У долях від 1	У %
1	Відсутня	0	0
2	Слабка	0,01-0,075	0,1-7,5
3	Помірна	0,075-0,15	7,5-15
4	Сильна	>0,15	>15

З таблиці 2 слідує, що доля наведених показників у цілому складає суттєві ризики щодо зменшення загального гідроенергетичного потенціалу і є різною для річок різного регіону. Разом з тим в районах, де ймовірність прояву зсувів, селей, лавин та ерозії ґрунтів є досить великою, їх дія на ЗГП є сильною, і ці показники можуть суттєво його знижувати, а в деяких випадках навіть унеможливити його використання. У цілому для водозборів річок Українських Карпат розповсюдження вказаних явищ є досить значним, але не повсемісним і є найбільшим в складчастій області Карпат.

Наступний показник стосується сейсмічності території, тобто ризиків від проявів землетрусів та тектонічних процесів в межах водозбірних басейнів ($E_{ендо}$) (табл. 3).

Як видно з табл. 3 "внесок" сейсмічності території та тектонічних рухів на ній на ЗГП може бути дещо меншим, ніж в попередньому випадку (табл. 2). Це можна пояснити тим, що при технічному використанні ЗГП в умовах сьогодення, лише в деяких місцях необхідно зведення цілої низки інженерних капітальних споруд, для яких необхідно витримувати певні умови їх конструкцій.

Таблиця 3. Зменшення ЗГП через ступінь ризиків за показником сейсмічності території (землетруси)

№ п/п	Дія на ЗГП	У долях від 1	У %
1	Відсутня	0	0
2	Слабка	0,001-0,05	0,1-5
3	Помірна	0,05-0,10	5-10
4	Сильна	>0,10	>10

У роботі [21] зазначається, що максимальні землетруси на ділянках зведення МГЕС не повинні перевищувати 9 балів за шкалою MSK-64. Натомість у межах Карпатського регіону зафіксовані поодинокі локальні максимальні землетруси до 8 балів здебільшого в межах поясу вулканічних Карпат та Прикарпатті [21]. А в цілому для іншої території сила землетрусів може складати 6-7 балів. Ймовірність проявів землетрусів для Карпатського регіону становить 1 землетрус на 20-30 років [24]. З цими процесами пов'язані і тектонічні рухи та загальна досить активна неотектонічна діяльність даного регіону. Тому ці ризики відносяться до ендегенних.

Розповсюдження карсту на території басейнів річок Карпатського регіону також потенційно може зменшувати величину ЗГП ($E_{карст}$). (табл. 4).

Вплив карсту може проявлятися у ймовірності просідання поверхонь території, а також інженерних споруд, розташованих на них, перерозподілі стоку річок активізації небезпечних екзогенних процесів над межами його залягання. На Закарпатті (басейн Тиси) карстові процеси поширені лише на Закарпатській акумулятивній рівнині та ділянках древніх вулканів [22]. В басейнах Дністра та Пруту карст розповсюджений в здебільшого в Прут-Дністровському межиріччі [7]. Загалом ризики від впливу карсту на ЗГП в Карпатському регіону незначні.

Таблиця 4. Зменшення ЗГП через ступінь ризиків за показником карст

№ п/п	Дія на ЗГП	У долях від 1	У %
1	Відсутня	0	0
2	Слабка	0,001-0,05	0,01-5
3	Помірна	0,05-0,10	5-10
4	Сильна	>0,10	>10

Серед чинників, які обумовлені антропогенним впливом щодо зменшення ЗГП можна виділити зарегульованість стоку та меліорацію земель ($E_{зм}$). (табл.5)

Таблиця 5. Зменшення ЗГП через ступінь ризиків за показником зарегульованості стоку

№ п/п	Дія на ЗГП	У долях від 1	У %
1	Відсутня	0	0
2	Слабка	0,001-0,05	0,1-5
3	Помірна	0,05-0,10	5-10
4	Сильна	>0,10	>10

В умовах зарегулювання стоку і, особливо, при наявності меліоративних територій в межах водозбірних площ річок можливе досить суттєве зменшення ЗГП. Воно пов'язане передусім із порушеннями гідравлічних параметрів потоку річок, їх похилів (напорів) та умов функціонування системи "потік-русло", викликаних із перерозподілом витрат води. В Карпатському регіоні зарегульованих ділянок річок дуже мало. Натомість

меліоративних ділянок є доволі значна кількість в басейні Тиси на Закарпатській низовині, а також у верхній частині Дністра, після його виходу з гір на рівнину, тому тут зростають ризики впливу цих чинників на ЗГП.

Наступним антропогенним чинником, який може суттєво зменшити ЗГП, є відсутність комунікацій та ліній електропередач в межах водозбірних басейнів та вздовж річок ($E_{клеп}$). (табл. 6).

Таблиця 6. Зменшення ЗГП через ступінь ризиків за показниками відсутності комунікацій та ЛЕП

№ п/п	Дія на ЗГП	У долях від 1	У %
1	Відсутня	0	0
2	Слабка	0,001-0,075	0,1-7,5
3	Помірна	0,075-0,15	7,5-15
4	Сильна	>0,15	>15

Виробництво електроенергії на МГЕС є доцільним за умов близької відстані до енергоспоживача (0,5 – 2,5 км, [24]). При цьому мають бути облаштовані різні комунікації (дороги, мости, інші інженерні споруди) та розміщені в безпосередній близькості населені пункти та інші енергоспоживачі (підприємства, туристичні бази, інша інфраструктура). Крім цього, важливим є наявність існуючих ліній електромереж, до яких можуть бути під'єднані нові потужності. Разом з тим, оптимізація місць спорудження МГЕС має враховувати значну обмеженість створення великих за площею водосховищ і високих гребель ГЕС, які суттєво порушують екологічні умови функціонування річкової системи та природного середовища.

Варто зазначити, що в доволі заселеному Карпатському регіоні середньогірські та частина низькогірських ділянок річок мають суттєві обмеження за показниками табл. 6, тому тут має місце зростання ризиків впливу цих показників на ЗГП.

Серед інших антропогенних чинників, які потенційно зменшують ЗГП можуть враховуватися щільність селищного навантаження (особливо в русло-заплавному комплексі річок), знеліснення територій, видобуток корисних копалин в русло-заплавному комплексі і на водозборі та ін. ($E_{снгд}$). (табл. 7).

Таблиця 7. Зменшення ЗГП через ступінь ризиків за показниками селищного навантаження та іншої господарської діяльності

№ п/п	Дія на ЗГП	У долях від 1	У %
1	Відсутня	0	0
2	Слабка	0,001-0,05	0,1-5
3	Помірна	0,05-0,10	5-10
4	Сильна	>0,10	>10

Розташування населених пунктів у гірській території знаходиться, зазвичай, вздовж долини (русел) річок, причому їх протяжність може сягати декількох кілометрів. В цих зонах розміщувати МГЕС, як правило, складно. У свою чергу активне вирубування лісів може призвести як до зростання кількості наносів, що надходять у річку і змінюють гідравлічну структуру потоку, так і до активізації на знеліснених схилах зсувів, селей та лавин [24], а також збільшення активності ерозійної діяльності на схилах. На зменшення ЗГП може також вплинути видобування корисних копалин в басейнах річок. Видобування будівельних матеріалів, шахтне розроблення корисних копалин, розроблення нафтових та газових родовищ можуть призвести до активізації зсувів, селей, просідання певних територій. Також до цього переліку варто додати забір руслового та заплавного алювію на ділян-

ках річок та їх руслах. Цей чинник може призвести до просідання рівнів води і змін похилів водної поверхні та зменшення величини напору, що може збільшити ризики на скорочення гідравлічних ресурсів річки або її ділянки. Такі ділянки річок також мають локальний характер.

Знеліснені площі на території Карпатського регіону розташовані в більшості випадків в зонах середньогір'я та низкогір'я, а видобуток корисних копалин має здебільшого локальний характер.

Провівши певний критеріальний аналіз можливого ризику від впливу різних природних та антропогенних чинників на зменшення величини загального гідроенергетичного потенціалу, можна встановити загальну сумарну кількість втрат його величини та ризиків їх впливу на зменшення ЗГП (5):

$$\sum E_{ВТРАТ} = E_{РУС} + E_{ЕКЗ} + E_{ЕНД} + E_{КАРСТ} + E_{ЗМ} + E_{КЛЕП} + E_{СНГД}.$$

(5)

Максимальні теоретичні (гіпотетичні) втрати ЗГП за формулою (5) при високих ризиках можуть становити 100% і тоді виробництво і використання гідроенергії на певній ділянці водотоку або на всій річці є неможливим. Але в середньому, практичному відношенні вказані втрати при суттєвих ризиках за всіма вказаними показниками можуть зменшувати ЗГП на 60-80%, зокрема для річок Карпатського регіону.

Економічно ефективний (обґрунтований) гідроенергетичний потенціал (ЕЕГП). Економічна доцільність використання гідроенергетичного потенціалу річок залежить від ряду чинників, які мають досить значну мінливість. До них відносять перш за все необхідність виробництва та умови використання гідроенергії. З огляду на перший чинник у Карпатському регіоні є значна економічна необхідність виробництва гідроелектроенергії. Хоча б узяти той факт, що цей регіон є найбільшим в Україні потенційним виробником гідроелектроенергії [4], а його гідроенергоресурси освоєні слабо з майже повною відсутністю гідроecологічного обґрунтування їх освоєння. Другий чинник диктується тим, що в результаті освоєння технічно можливого гідроенергетичного потенціалу регіон може перейти від імпортера електроенергії до її експортера навіть за умови дотримання екологічних вимог та умов її виробництва. До цього варто ще додати кардинальну реконструкцію існуючих ГЕС та МГЕС і, суттєвим збільшенням виробництва гідроенергії на них.

Разом з тим для виконання вказаних положень слід розробити детальне економічне обґрунтування виробництва та використання гідроенергії на період як сьогодення, так і в довгостроковій перспективі. З урахуванням планів розвитку регіону.

Важливим з огляду на перспективи використання енергії річок є створення прогнозу їх енергетичного потенціалу, що може забезпечити умови і надати певні підстави до гідроенергетичного освоєння річкових об'єктів вже в період сьогодення.

Схема встановлення гідроенергетичного потенціалу. Аналітична послідовність виконання низки робіт по встановленню різних видів гідроенергетичного потенціалу річок дала можливість розробити алгоритм встановлення та прогнозу гідроенергетичного потенціалу річок (рис. 2).

Схема послідовності проведення всіх операцій, представлених в цьому алгоритмі доволі проста і логічна. Разом з тим вона не потребує додаткових значних економічних ресурсів для її реалізації. Одним із основних блоків цієї схеми є екологічне обґрунтування і реалізація екологічно безпечних технологій виробництва гідроенергії.

Даний алгоритм варто застосовувати для здійснення комплексної оцінки гідроенергоресурсів водотоків окремого регіону, а краще річкового басейну. Алгоритмом передбачено ґрунтовний аналіз всієї вихідної інформації щодо басейну та його водотоків (гідрографія, природо-

охоронні території (ПЗФ), господарська діяльність, морфометрія басейну, водний стік). Наступним кроком, послідовно встановлюються всі 4 категорії гідроенергетичного потенціалу: загальний (природний теоретичний), екологічний, технічно можливий та економічно ефективний (обґрунтований) гідроенергетичний потенціал. Далі розробляється концепція створення високоекологічних малих гідроелектростанцій (принцип дії (технічні особливості), спосіб розміщення та детальне визначення технічно можливого гідроенергетичного потенціалу при їх використанні). Останнім кроком алгоритму встановлення та прогнозу гідроенергетичного потенціалу річок є безпосередній прогноз змін загального гідроенергетичного потенціалу за рахунок коливання водності під впливом кліматичних змін. Разом зі змінами водного стоку (об'ємами водного стоку), в багаторічному розрізі, відбуваються зміни загальних гідроенергопотужностей водотоків. В період маловодної багаторічної фази гідроенергопотужності водотоків можуть суттєво відрізнятись від періоду багатоводної багаторічної фази, тобто можуть бути набагато меншими навіть від показників середнього за водністю року. Ці нюанси практично не враховують при визначеннях гідроенергетичного потенціалу водотоків, що створює неповне уявлення про реальні потенційні гідроенергоресурси водотоків басейну (чи регіону). Таким чином, необхідно передбачати такі потенційні сценарії змін водності з метою ефективного використання водних енергоресурсів.

Висновки. Виходячи з сучасних реалій масштабної потреби в альтернативних джерелах електроенергії та підвищення енергоефективності та енергозбереження нами на прикладі річок Українських Карпат розроблена комплексна методика оцінки гідроенергетичного потенціалу річок. Методика полягає у послідовному обчисленні чотирьох категорій гідроенергетичного потенціалу: загального (природного теоретичного), екологічного, технічно можливого та економічно ефективного (обґрунтованого) гідроенергетичного потенціалів. Даний підхід дозволяє більш показово оцінити реальні потенційні енергоресурси водотоків в контексті вироблення електроенергії, а також врахувати потенційні втрати енергопотужності, що сприятиме попередженню цих втрат та ефективному використанню дійсних гідроенергоресурсів.

Загальний гідроенергетичний потенціал обчислюється як сумарний потенціал всіх характерних ділянок водотоку, що відрізняються між собою водністю та напором потоку.

Екологічний гідроенергетичний потенціал встановлюється як частина загального гідроенергетичного потенціалу, що виключає потенціал ділянок водотоків використання яких в гідроенергетичних цілях буде мати згубний екологічний характер.

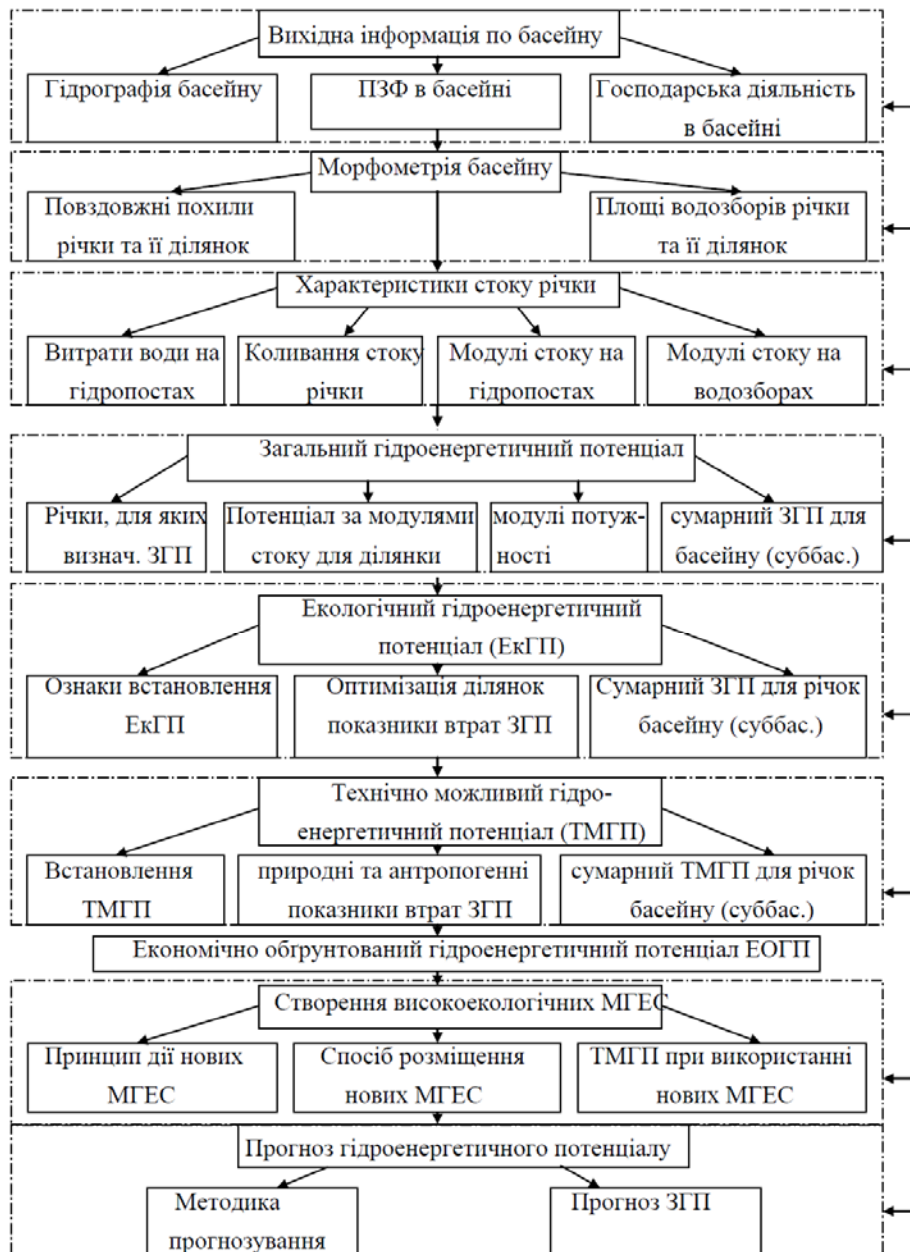


Рис. 2. Алгоритм встановлення та прогнозу гідроенергетичного потенціалу річок

Технічно можливий гідроенергетичний потенціал розраховується як показник гідроенергопотужності водотоку (чи водотоків конкретного регіону, басейну), які теоретично можна використати в гідроенергетичних цілях з врахуванням втрат на збереження екологічних умов та втрат на ризики через залежність від природно-антропогенних умов.

Економічно ефективний (обґрунтований) гідроенергетичний потенціал визначається, як сукупність гідроенергопотужностей водотоків регіону, які економічно необхідні для використання у гідроенергетичному плані.

Аналітична послідовність виконання низки робіт по встановленню різних видів гідроенергетичного потенціалу річок дала можливість розробити алгоритм встановлення та прогнозу гідроенергетичного потенціалу, який можна використовувати при встановленні цих величин за басейновим принципом.

Список використаних джерел

1. Джонстон Р. Дж. География и географы: оч Адаменко Я. О. Оцінка впливів техногенно небезпечних об'єктів на навколишнє середовище: науково-теоретичні основи, практична реалізація: дис. д-ра тех. наук : 21.06.01 – екологічна безпека, 2006.
2. Альтернативная энергетика в Китае : [Электронный ресурс] // Biowatt. – Режим доступа : <http://www.biowatt.com.ua/analitika/alternativnaya-energetika-v-kitae/>
3. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії : підручн. для енергетич. і екологіч. спец. вищих навч. закл. / Адаменко О., Височанський В., Лютко В. та ін. ; [за ред. В. Лютко]. – 2000.
4. Атлас природных условий и естественных ресурсов Украинской ССР. – 1978.
5. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС : основні терміни та їх визначення / [підгот. : Алієв К. та ін.]. – Вид. офіц. – К., 2006.
6. Директива 2007/60/ЄС Европейского парламента и Совета от 23 октября 2007 г. об оценке и управлении рисками наводнений : [Электронный ресурс] – Режим доступа : http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/994_b29 – Назва з екрану.
7. Дублянский В. Н. Карстовые пещеры Украины / 1980.
8. Закон України "Про альтернативні джерела енергії" від 20.02.2003, № 555-IV // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2003. – № 24. – ст. 155.

9. Закон України "Про електроенергетику" від 16.10.1997, № 575/97-ВР // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 1998. – № 1. – ст. 1.
10. Закон України Про внесення змін до деяких законів України щодо встановлення "зеленого" тарифу (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2009, N 13, ст.155)
11. Закон України Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії від 4.06.2015, №514-VIII // (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2015, № 33, ст.324).
12. Закон України Про внесення змін до Закону України "Про електроенергетику" щодо стимулювання виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії від 20.11.2012, №5485-VI // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2013. – № 51. – ст. 714.
13. Ковальчук І. Регіональний еколого-геоморфологічний аналіз, 1997.
14. Латориця : гідрологія, гідроморфологія, руслові процеси / Ободовський О. Г., Онищук В. В., Розлач З. В. та ін. ; [за ред. О. Г. Ободовського]. – 2012.
15. Малі річки України. Довідник / Яцик А. В., Бишовець Л. Б., Богатов Є. О. та ін. ; [За ред. А. В. Яцика, 1991.
16. Материали по типизации рек Украины ССР. Том II. Гидрографические характеристики рек Украинской ССР., 1953.
17. Ободовський О.Г. Оцінка зв'язків мінімального та середнього стоку води річок Українських Карпат / О.Г.Ободовський, О.О. Почаєвець, М.А. Заварзін // Гідрологія, гідрохімія і гідро екологія. – 2016. – Т.1(40).
18. Паламарчук М. М. Водний фонд України. Довідковий посібник / М. М. Паламарчук, Н. Б. Закорчевна ; за ред. В. М. Хорева, К. А. Алієва. – К. 2001.
19. Патент на корисну модель №100050. Україна. Спосіб розміщення високоекологічної малої ГЕС / Ободовський О. Г., Онищук В. В. ;

заявник Київський національний університет імені Тараса Шевченка. – 10.07.2015 р. Бюл. № 13.

20. Поліха П. 300 майбутніх міні-ГЕС Закарпаття: економічний "Клондайк" чи регіональна катастрофа? : [Електронний ресурс] / П. Поліха. – Режим доступу : <http://karpatnews.in.ua/news/28675> – Назва з екрану.

21. Разработка методологического обеспечения процесса автоматизированного вычисления гидроэнергетического потенциала рек с использованием геоинформационных систем / Баденко Н. В., Бакановичус Н. С., Воронков О. К. и др. // Инж.-строительный журнал. – 2013. – № 16.

22. Рельєф України. Навчальний посібник / Вахрушев Б. О., Ковальчук І. П., Комлев О. О. та ін. ; [заг. ред. В. В. Стецюка]., 2010.

23. Розпорядження Кабінету міністрів України Про схвалення Програми розвитку гідроенергетики на період до 2026 року від 13 липня 2016 р. № 552-р / Офіційний вісник України від 09.08.2016 – 2016 р., № 60, стор. 175, стаття 2065.

24. Рудько Г. І. Наукові засади екологічної оцінки та оптимального використання гідроресурсів Карпатського регіону / Г. І. Рудько, Л. М. Консевич., 1998.

25. Цепенда М. М. Методичні особливості економіко-географічної оцінки гідроенергетичного потенціалу Середнього Придністров'я / М. М. Цепенда // Наук. записки Вінницького держ. пед. ун-ту ім. М. Коцюбинського. Серія Географія. – 2009. – Вип. 18.

26. Энергетические ресурсы СССР : Гидроэнергетические ресурсы / Авакян А. Б., Баранов В. А., Бернштейн Л. Б. и др., 1967.

Надійшла до редколегії 28.09.16

А. Ободовский, д-р геогр. наук, проф.,
К. Данько, канд. геогр. наук, зав. Сектором,
О. Почаевец, асп., ведущий инж.,
Ю. Ободовский, асп.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

МЕТОДИКА УСТАНОВЛЕННЯ ГИДРОЕНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕК (НА ПРИМЕРЕ РЕК УРАИНСКИХ КАРПАТ)

В работе представлено и обосновано алгоритм и методика определения гидроэнергетического потенциала рек. Апробация алгоритма и методики осуществлялась на водотоках Украинских Карпат. По результатам апробации предложен подход определения гидроэнергетического потенциала путем установления четырех его составляющих: общего, экологического, технически возможного и экономически эффективного гидроэнергетического потенциала. Обосновано целесообразность установления и концепции определения экологического и в частности технически возможного гидроэнергетического потенциалов. Предложены критерии экспертной оценки рисков потерь технически возможного гидроэнергетического потенциала водотоков. Представлено и проанализировано схему бассейнового распределения и прогноза изменений гидроэнергетического потенциала.

Ключевые слова: гидроэнергетический потенциал, реки Украинских Карпат, установления гидроэнергетического потенциала, среднегодовой сток.

O. Obodovskiy, Doctor of Science in Geography Sciences, Prof.,
K. Danko, Ph.D, in Geography Sciences, Head of laboratory,
O. Pochaievets, Graduate Student, Leading Engineer,
Yu. Obodovskiy, Graduate Student
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

METHODS OF ASSESSMENT HYDROPOWER POTENTIAL OF THE RIVERS (THE EXAMPLE OF UKRAINIAN CARPATHIANS RIVERS)

Based on current realities of the massive need of alternative sources of energy and energy-efficiency and energy-saving the algorithm and method of determining hydropower potential of rivers were presented in the article. Approbation of the algorithm and methodology was made on streams Ukrainian Carpathians. The approach of determining hydropower potential by defining its four components was proposed based on the results of approbation. The four components are – total, environmental, technically possible and economically effectively hydropower potentials. This approach provides an estimate of potential energy resources streams, taking into account the potential loss energy capacity, helps prevent these losses and the efficient use of hydropower. Sequence determination of total hydropower potential, as indicative of full theoretical energy characteristics of river flow was justified. Expediency definition and concept of assessing the ecological and particularly technically feasible hydropower potential has been proven. Criteria expert risk of losses technically possible hydropower potential of watercourses was proposed. The scheme of distribution basin hydropower potential has been presented and analyzed in the article. The scheme provides forecasting algorithm changes hydropower, given the prospects of global climate change and fluctuations in water flow as a consequence.

Keywords: hydropower potential of the river of the Ukrainian Carpathians, the establishment of the hydropower potential, the average annual runoff.