

УДК 621.311.21.001.2

А.В.Мороз (Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ)

Аналіз розрахункових досліджень гідроенергетичних ресурсів малих річок України

Виконано аналіз вихідних даних та положень, що використовувались при визначенні гідроенергетичного потенціалу малих річок України протягом усієї історії досліджень.

Ключові слова: гідроенергетика, мала гідроелектростанція, потенціал, потужність, річка, електроенергія.

Выполнен анализ исходных данных и положений, которые использовались при определении гидроэнергетического потенциала малых рек Украины на протяжении всей истории исследований.

Ключевые слова: гидроэнергетика, малая гидроэлектростанция, потенциал, мощность, река, электроэнергия.

Вихідні положення. На території України протікає 63119 річок і струмків загальною довжиною понад 206 тис. км. З них 93% (60 тис.) є дуже малими – довжиною менше 10 км. Малих річок довжиною понад 10 км налічується 219, а їхня загальна довжина становить близько 74 тис. км. Середніх річок нараховується 81 із загальною довжиною в межах України 15488 км [1]. Такі характеристики річок, як густина річкової мережі, величина стоку, водоносність, сезонні та багаторічні зміни, залежать від клімату, рельєфу, геологічної основи, рослинного покриву, культурного освоєння та забудови місцевості, водокористування.

Однією з важливих характеристик малої річки є її гідроенергетичний потенціал. Згідно зі стандартом [2] розрізняють природний, технічний та економічно доцільний потенціал, значення яких характеризуються як величиною потужності, так і річним обсягом виробництва електроенергії. Технічний потенціал являє собою частину природного, що може бути перетворений в електроенергію технічними засобами. Для певного етапу розвитку техніки та суспільства значення цього потенціалу характери-

зується стабільністю на відміну від економічно доцільної складової, яка у значній мірі залежить від запасів, обсягів видобування та ціни на інші види енергоносіїв. Дослідження гідроенергетичного потенціалу на території України виконувались у період 1930-1960 років, а потім, у зв'язку із занепадом малої гідроенергетики через масове використання в СРСР дешевого викопного органічного палива і централізацію електроенергетики на основі станцій великої потужності, втратили свою актуальність. Після здобуття незалежності країни відродився інтерес до відновлення і будівництва нових малих ГЕС через дефіцит власних енергоносіїв, що зумовлює проведення подальших досліджень гідроенергетичних ресурсів малих річок.

Основні результати досліджень гідроенергетичних ресурсів малих річок. Дослідження гідроенергетичних ресурсів малих річок проводилися різними науковцями та організаціями. Узагальнені результати наведені в таблиці 1. Відмінність отриманих результатів зумовлена використанням при розрахунках різних вихідних даних, припущень та положень.

Таблиця 1. Технічний потенціал гідроенергетичних ресурсів малих річок України

Джерело даних	Рік	Кількість досліджених річок	Гідроенергоресурси малих річок УРСР (України), тис. кВт
Стаття У.Г. Валяєва [3]	1936		412,6 (природний)
Праця С.Р. Медведева [4]	1946	300	1343,5 (природний)
Праця С.В. Григор'єва [5]	1946		488 (природний)
Управління гідрометслужби УРСР [3]	1946		711 (технічний)
Праця А.Л. Подгорінова [3]	1959	931	790,8 (технічний)

Перша спроба підрахунку потенційної потужності малих річок України належить до 1926 р. [3]. Тоді були опубліковані відомості про потужність 13 малих річок, величина якої оцінювалася в 258 тисяч кінських сил (189,76 тис. кВт) за умови шестимісячної забезпеченості протягом року. Потужність інших малих річок оцінювалася в 85 тис. к.с. (62,52 тис. кВт). Дані результати потрібно вважати наближеними, насамперед тому, що значення витрат води деяких річок приймалися на основі випадкових вимірювань. У цьому ж році почалося будівництво каскаду ГЕС на річці Уж у складі Оноківської та Ужгородської ГЕС (рис. 1, 2) загальною потужністю 4,55 МВт. Перший струм вони дали в 1942 році і працюють до теперішнього часу [6].



Рис. 1. Оноківська ГЕС.



Рис. 2. Ужгородська ГЕС.

У статті інженера У.Г. Валяєва (1936) [3] за середньорічною витратою визначена загальна потенціальна потужність малих річок, яка становить 561 тис. к.с. (412,6 кВт). Ці дані були підраховані з урахуванням спостережень режимів річок з 1921 по 1931 р.

Перші обґрунтовані дані щодо величини гідроенергетичних ресурсів Української РСР та Кримської АРСР були опубліковані у 1934 році в Атласі енергетичних ресурсів СРСР [7]. Розрахункові дослідження гідроенергетичних ресурсів виконані колективом під керівництвом академіка Є.В. Оппокова. Розрахунки були проведені тільки для великих річок, таких як Дніпро та 6 його притоків, Південний Буг, Дністер, Західний Донець та його 2 притоки і деяких річок Кримської АРСР. Витрати води на всій протяжності річки визначалися шляхом інтерполяції та екстраполяції модулів стоку ділянок з відомими гідрологічними параметрами. Визначалися середньорічні та середньокілометрові потужності з урахуванням середніх значень коефіцієнта стоку та кількості опадів. Малі річки не враховували, а їх потужність оцінювали на рівні 10% від сумарної потужності великих річок (біля 174 тис. кВт).

Інженер С.Р. Медведєв у своїй праці 1946 р. [4] виклав результати досліджень Українського відділення Гідроенергопроекту щодо використання малих річок УРСР. Ці результати були отримані тільки для р. Тетерів, Ущиця, Жданчик, Смотрич, а також для деяких малих річок Харківської області. Однак інформацію щодо малих річок західного регіону вони не містили. Сумарна потужність гідроенергетичних ресурсів УРСР була оцінена у 1343,5 тис. кВт, із яких 1100 тис. кВт припадає на західний регіон.

Більш детальна інформація щодо розрахунку потенціалу малої гідроенергетики подана у роботі С.В. Григор'єва [5]. Остаточний результат складає 400 тис. кВт для Української РСР та 88 тис. кВт для Кримської АРСР, що на той час не входила до складу УРСР.

У цьому дослідженні були прийняті наступні вихідні положення:

- мінімальна потужність малих ГЕС обмежена величиною 10 кВт;
- середній напір малої ГЕС на рівнинних територіях приймається рівним 4 м; для гірських річок передбачалося створення дериваційних ГЕС з напором 20 м;
- обрахунку підлягали ділянки малих річок від 20 до 200 км від витoku для рівнинних територій та від 10 до 100 км – для гірських територій.

Для проведення розрахункових досліджень приймалися наступні методичні положення:

- встановлюється ознака класу малих річок та їх межі по довжині;
- встановлюється середня довжина річок різних груп протяжності (табл. 2);
- визначається площа водозбору, яка відповідає "середній" річці по кожній групі;
- визначається середня багаторічна витрата води у гирлі на підставі картограми модуля стоку і площі водозбору "середньої" річки;
- обчислюється перепад висот від витоків до гирла (падіння) "середньої" річки по кожній групі протяжності;
- обчислюється потужність "середньої" річки в гирлі;
- визначається коефіцієнт потужності річки;
- визначається потужність "середньої" річки групи.

Таблиця 2. Групи річок

Групи річок	Протяжність, км	Групи річок	Протяжність, км
1	10 і менше	6	201-300
2	11-25	7	301-500
3	26-50	8	501-1000
4	51-100	9	більше ніж 1000
5	101-200		

Для оцінки величини повного падіння малих річок були зроблені спроби до встановлення зв'язку між повним падінням річки H та її протяжністю L . Для цієї мети були побудовані криві зв'язку між середнім кілометровим падінням ($\Delta H = H/L$) і повною довжиною річки L .

Загальне падіння малих річок басейну р. Дніпра і Причорномор'я не перевищує 50-70 м; виняток становлять річки басейну Південного Бугу, в яких воно підвищується до 100-150 м (р. Ятрань); ще значніше падіння річок басейну Дністра. Середнє значення (ΔH) змінюється в порівняно невеликих межах: від 0,07-0,10 м/км – біля великих річок (Березина і Десна) та деяких малих і до 0,7-0,8 м – у малих річок басейну Березини та Прип'яті. Підвищене середнє падіння характеризує малі річки басейнів Південного Бугу та Дністра. Розгляд річок Криму обмежено його гірською частиною, що збігається з геоморфологічною гірською місцевістю Криму. Найбільша висота її в окремих точках не перевищує

1540 м. Матеріали про падіння та поздовжній профіль річок гірського Криму в роботі відсутні.

Потенційні запаси гідроенергії підраховувались по середній річній (багаторічній) витраті води. Для обчислення середніх багаторічних витрат були використані картограми ізоліній середнього модуля стоку, за якими отримані середні по району величини модуля стоку. Для цієї мети на бланкові карти поверхневих вод частин СРСР були нанесені кордони прийнятих розрахункових районів та ізолінії середнього модуля стоку. Ізолінії модуля стоку, перенесені на карти з картограм, дали можливість визначити середні модулі стоку по районах, які наводяться в роботі.

При оцінці потужності великого числа річок на території було необхідно застосувати коефіцієнт, який назвали коефіцієнтом теоретичної потужності α_m . Коефіцієнт α_m виражає відношення суми потужностей на окремих ділянках річки до граничної потужності, зосередженої в гирлі. Для обчислення середнього α_m району необхідні наступні дані: підрахована кадастрова або потенційна потужність річки (як сума потужностей із послідовними ділянками, на які повинна бути розбита вся річка), загальне падіння річки і середня річна (багаторічна) витрата води в гирлі. При цьому приймається неточність розрахунку потенційної потужності не більше 10%. Надалі вважаються мінімально придатними дані підрахунків потужності річок лише в тих випадках, коли число розрахункових ділянок було не менше 3-4.

Потенційна потужність малих річок Української РСР та Кримської АРСР була розрахована з обмежувальними умовами. Тому для переходу від повної потенційної потужності, обчисленої за середніми річними (багаторічними) витратами, до реальної потужності малих ГЕС необхідно враховувати:

- коефіцієнт територіального використання запасів гідроенергії з урахуванням їх положення та місцевих особливостей, які ускладнюють реальне використання гідроенергії;
- коефіцієнт корисної дії гідроустановки при розрахунку їх потужності;
- відношення розрахункової витрати при обчисленні встановленої потужності малих ГЕС

до середньорічної (багаторічної) витрати, яка відповідає потенційній потужності річки;

- ступінь можливої повноти використання напору та потужності у відповідності з реальними схемами використання малих річок.

Наприкінці 1946 р. була закінчена робота щодо підрахунку потенціальної потужності малих річок України, яку виконало Управління гідрометслужби УРСР [3]. Загальна потенціальна потужність малих річок визначена у 711 тис. кВт. В роботі не розглядались деякі річки Закарпаття, а потенціальні ресурси визначалися за меженною витратою. Було прийнято, що ККД установок дорівнює 0,62.

На відміну від С.В. Григор'єва, у роботі [3] А.Л. Подгорінов розглядає потужність малих річок з точки зору гідроенергетичного використання та перспектив будівництва малих ГЕС. Він зазначає, що в результаті розробки схем енергетичного використання малих річок Української РСР та інших робіт виявлена можливість будівництва на малих річках країни 2840 малих і середніх ГЕС загальною потужністю близько 800 тис. кВт з обсягом виробництва електроенергії в середньоводний рік біля 3,8 млрд кВт·год (таблиця 3).

Наведені в таблиці 3 дані про гідроелектростанції потужністю менше 20 кВт не досить повні, тому що в схемах використання енергетичних ресурсів річок не розглядалися малі водотоки. Автор пропонує не розглядати ці станції, тому що малопотужні ГЕС (менше 20 кВт) не можуть забезпечити електроенергією навіть найменший населений пункт, і тому будівництво таких установок нерентабельне. Із загальної величини невикористаних запасів енергії на долю верхових ділянок припадає дуже невелика кількість потенціальних запасів енергії (не більше 1-2% всієї

енергії річки). Більш значна кількість (близько 20%) невикористаної енергії припадає на низові ділянки річок. Решта невикористаної енергії (близько 50-52%) припадає на долю весняного або літнього паводка, який не може бути використаний турбінами гідроелектростанції, доки не буде здійснене регулювання стоку.

При малих похилах, характерних для річок рівнинної частини УРСР, величина напору малих станцій також виходить невеликою. Якщо вважати низьконапірними усі ГЕС із напором до 10 м, то переважна більшість малих ГЕС на Україні (91%) будуть низьконапірними, на долю середьонапірних (10-25 м) припадає 7,4%, а до високонапірних слід віднести не більше 1,6% усіх станцій.

Топографічні умови визначають також і значне поширення пригребельних ГЕС, загальна кількість яких становитиме 62,5% усієї кількості малих ГЕС. Решта 1064 ГЕС можуть бути побудовані за дериваційною або гребельно-дериваційною схемами.

Гідрологічна інформація для розрахунку гідроенергетичного потенціалу малих річок. На сьогодні є доступною гідрологічна інформація, необхідна для розрахунку потенціалу малих річок, яка представлена в довідниках водних ресурсів [8, 9]. Відомості про кількість малих річок та їх гідрографічні характеристики наведені у вигляді сумарних даних, систематизованих по басейнах головних рік та їх приток. Характеристики стоку річок у довіднику ґрунтуються на матеріалах багаторічних спостережень, тривалість яких перевищує 20 років. Найбільше гідрологічних постів зосереджено на річках басейну Дніпра (23% від загальної кількості), найменше – на річках Причорномор'я (2%). Якщо стік води вивчається практично на всіх постах (97%), то стік завислих наносів – лише на 35% від загальної їх кількості.

Таблиця 3. Розподіл гідроелектростанцій на групи за потужністю

Групи ГЕС за потужністю, кВт	Кількість ГЕС	Кількість ГЕС у % до підсумку	Загальна потужність ГЕС у групі		Можливий виробіток у середньоводний рік, млн кВт·год
			тис. кВт	% до підсумку	
Менше 20	467	16,8	6,9	0,8	31,9
21-100	1443	50,8	86,0	10,8	275,0
101-500	681	24,0	147,5	18,7	835,0
501-1000	136	4,8	93,4	11,7	462,0
Більше 1000	113	3,6	457,0	58	2197,1
Разом	2840	100	790,8	100	3801,0

Середні багаторічні величини стоку для опорних пунктів розраховані з урахуванням тих років, для яких відновлені пропуски спостережень шляхом розрахунку стоку за окремі дні та місяці, з метою збереження безперервності ряду. Помилка розрахунку норми річного стоку для 82% пунктів не перевищує 10%, для інших – 10-15%. Розрахунок річного стоку різної забезпеченості базувався на використанні аналітичних кривих розподілу. Коефіцієнт варіації у більшості випадків розраховувався методом моментів. У деяких випадках використаний графоаналітичний метод. Відносна середня квадратична помилка розрахунку коефіцієнтів варіації методом моментів для 72% випадків не перевищує 10% і лише в 12% випадків більше 15%. Коефіцієнт асиметрії C_v встановлювався шляхом найкращої відповідності аналітичної кривої забезпеченості емпіричним точкам.

За відсутності гідрометричних спостережень величина середнього багаторічного стоку визначається:

1) за інтерполяцією між опорними пунктами, для яких визначені норми стоку;

2) за картою середнього багаторічного стоку.

Для розрахунку за першим способом на топографічну основу в центрах ваги водозборів двох-трьох опорних пунктів, розташованих поблизу розрахункового створу, наносять середні багаторічні величини модулів стоку. На рівнинних територіях величина річного стоку розрахункового створу визначається за прямолінійною інтерполяцією, у гірських же районах зміну стоку між опорними пунктами слід приймати пропорційно зміні висоти місцевості.

Розрахунок стоку за другим способом передбачає використання карти норми річного стоку. Середня багаторічна величина стоку невивченої річки визначається для центру водозбору за допомогою прямолінійної інтерполяції між ізолініями стоку. У разі перетину водозбору декількома ізолініями норма стоку визначається як середньозважена величина.

У гірських районах Криму і Карпат величину норми переважно визначати за районним зв'язком модулів стоку з середньою висотою водозборів $M_0 = AB^n$.

Для малих водозборів у значення знятої з карти норми річного стоку було необхідно вводити поправки на особливості місцевих умов. У степовій частині, де стік складає 0,5-3,0 л/с/км², в норму стоку малих річок вводять поправочний коефіцієнт. Крім того, дається поправка на вилучення стоку з русел річок на водопостачання, зрошення, оновлення і перекидання води в сусідні водозбори; на скиди у русла річок шахтних і промислових вод; на випаровування з поверхні ставків і водосховищ, які входять у річкову систему; на агротехнічні, меліоративні, лісотехнічні заходи на водозборі, що визначають втрати стоку на сумарне випаровування та інфільтрацію.

Актуальність подальших досліджень гідроенергетичних ресурсів. Станом на кінець 2013 р. на території країни експлуатується 93 малих ГЕС, які належать 38 підприємствам [10]. Загальна потужність складає біля 78 МВт із середньорічним обсягом виробництва електроенергії біля 260 млн кВт·год/рік. Потенційні можливості малої гідроенергетики в Україні на найближчу перспективу на період до 2030 року оцінені в Енергетичній стратегії на рівні 1147 МВт потужності з річним обсягом виробництва електроенергії 3,75 млрд кВт·год/рік. Спеціалізовані організації з відновлення малих ГЕС прогнозують наявність потенціалу малої гідроенергетики біля 8,2 млрд кВт·год/рік. Значна розбіжність у кількісних показниках зумовлена проведенням лише експертної оцінки без виконання наукових досліджень. Фото однієї з відновлених станцій показано на рис. 3.



Рис. 3. Сухорабівська мала ГЕС потужністю 330 кВт на річці Псьол.

Доцільно зазначити, що після 2000 року в Україні суттєво змінилася нормативно-правова база малої гідроенергетики та соціально-екологічні вимоги стосовно впливу на оточуюче середовище. Зокрема, потужність малих гідроелектростанцій обмежена величиною 10 МВт (до 2009 року – 30 МВт); прийнято водний, земельний та лісовий кодекси; встановлені межі нових національних парків та біосферних заповідників; ратифіковано Бернську та Європейську ландшафтну конвенцію, Рамкову конвенцію про охорону та сталий розвиток Карпат та інші міжнародні угоди зі збереження стану оточуючого середовища. Тому потенціал гідроресурсів малих річок України потребує уточнення з урахуванням сучасної нормативно-правової бази з відновлюваних джерел енергії та охорони навколишнього природного середовища.

Висновки. Реалізація планових показників Енергетичної стратегії України потребує сучасного наукового обґрунтування гідроенергетичних ресурсів малих річок з урахуванням природоохоронних вимог та чинної нормативно-правової бази.

1. *Електронна версія Національного атласу України*

[Електронний ресурс] // Інститут географії НАНУ, ТОВ "Інтелектуальні Системи ГЕО", українське відділення Світового центру даних при КПП – Режим доступу: <http://wdc.org.ua/atlas/default.html> – Назва з екрану.

2. ГОСТ Р 51238-98 Нетрадиционная энергетика. Гидроэнергетика малая. Термины и определения.

3. *Подгорінов А. Л., Хілобоченко Л. С.* Гідроенергетичне використання малих річок України. – К.: АН УРСР, 1959. – 193 с.

4. *Медведев С. Р.* Строительство гидравлических электростанций на малых реках и энергоснабжение сельских потребителей. – К.: 1946. – 31 с.

5. *Григорьев С. В.* Потенциальные энергоресурсы малых рек СССР / Гидрометеиздат. – Л., 1946. – 117 с.

6. *Електростанції України* [Електронний ресурс] // ПАТ "Закарпаттяобленерго" – Режим доступу: <http://www.energo.uz.ua/index.php?id=24> – Назва з екрану.

7. *Атлас энергетических ресурсов СССР/НКТП СССР.* Гл. энергет. укр.; Под общ. ред. А. В. Винтера, Г. М. Крижановского, Г. И. Ломова. – М. Л.: Госэнергоиздат 1934. – Т. 2: Вып. 8: Украинская ССР и Крымская ССР. – 1934. – 108 с.

8. *Справочник по водным ресурсам* / Под ред. Б. И. Стрельца. – К.: Урожай, 1987. – 304 с.

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

10. *Ресурс* об'єктів електроенергетики, що використовують альтернативні джерела енергії [Електронний ресурс] // Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики – Режим доступу: <http://www.nerc.gov.ua/?id=5701> – Назва з екрану.

МІЖНАРОДНИЙ ІНВЕСТИЦІЙНИЙ БІЗНЕС-ФОРУМ З ПИТАНЬ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

VII МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА - 2014

АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ,
ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ

4-7
листопада

ОРГАНІЗАТОР
Державне агентство
з енергоефективності
та енергозбереження України

СПІВОРГАНІЗАТОР
Міжнародний виставковий центр

ГАЛУЗЕВИЙ ПАРТНЕР
Українська Вітроенергетична Асоціація

МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР
Україна, Київ, Броварський пр-т, 15
"Лівобережна"
☎ +38 044 201-11-66, 206-87-86
e-mail: sv@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua
www.tech-expo.com.ua

Технічний партнер: Red Bull