

УДК 621.311.21.001.2

П.Ф.Васько¹, докт.техн.наук, **А.В.Мороз**², канд.техн.наук (Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ)

Потенціал використання гідроенергетичних ресурсів основних малих річок України

Проведено розрахункові дослідження потенціалу гідроенергетичних ресурсів основних малих річок території України на основі легітимної гідрологічної інформації та з урахуванням нормативно-правової законодавчої бази в електроенергетичній та екологічній сферах і практики експлуатації малих ГЕС. Бібл. 11, табл. 6, рис. 2.

Ключові слова: гідроелектрична станція, екологія, електроенергія, потужність, стік річки.

ORCID: ¹0000-0001-8807-7173; ²0000-0002-9284-3624

Вступ. За даними довідникового видання "Водний фонд України" (Київ, 2001), в Україні налічується 63119 річок і струмків загальною довжиною понад 206 тис. км. З них 93% дуже малих річок завдовжки менше 10 км. Кількість середніх річок складає біля восьми десятків [7].

Загальний природний гідроенергетичний потенціал малих річок України оцінюється на рівні близько 12,5 млрд кВт·год на рік, про що зазначається в роботах інститутів "Укргідропроєкт", "Укрсільенергопроект" та в Атласі водних ресурсів. Міжнародне агентство з відновлюваної енергетики REMAP визначило величину енергетичного потенціалу малих річок на рівні 20,1 млрд кВт·год/рік [1].

Потенційні технічні можливості малої гідроенергетики України на період до 2030 року оцінені в Енергетичній стратегії (схвалена Розпорядженням КМ України від 24 липня 2013 р. №1071-р) на рівні 4 ГВт потужності. В аналітичній доповіді 2014 року Національного інституту стратегічних досліджень зазначено, що технічно досяжний потенціал малих річок складає 8,3 млрд кВт·год/рік [11].

Таким чином, відповідно до зазначених офіційних джерел інформації, технічний енергетичний потенціал малих річок України складає 60-

65% від загального природного гідроенергетичного потенціалу, що значно перевищує досягнуті результати на території України та за кордоном [2]. Необхідно також зазначити, що повномасштабне уточнення гідроенергетичного потенціалу малих річок на території сучасної України після 1960 року не проводилось [5]. За останні роки суттєво змінилась нормативно-правова база малої гідроенергетики України. Разом із природоохоронними вимогами змінилась і встановлена величина максимальної потужності малої ГЕС, яка з 2009 року складає 10 МВт (до 2009 року було 30 МВт). Виходячи із вищезазначених факторів, величина технічного потенціалу малих ГЕС потребує коригування відповідно до чинних вимог в електроенергетичній та екологічній сферах.

Постановка завдання. В даній публікації автори поставили за мету визначити коефіцієнти використання гідроенергетичного потенціалу основних малих річок України, які є найбільш перспективними для виробництва електроенергії малими гідроелектростанціями (ГЕС) у значних обсягах.

Розрахункові дослідження. Згідно основних положень гідрології вся територія України може бути розподілена на 6 гідрологічних зон (рис. 1), до яких входять річки зі схожими гідрографічними та орографічними показниками території [3].



Рис. 1. Схема розташування гідрологічних зон.

На основі проведеного аналізу гідрологічних характеристик стоку малих річок за весь період спостереження були обрані наступні основні річки для кожної зони:

- Поліська гідрологічна зона – р. Тетерів;
- Західна гідрологічна зона – р. Західний Буг;
- Правобережно-Дніпровська гідрологічна зона – р. Південний Буг;
- Лівобережно-Дніпровська гідрологічна зо-

на – р. Псел;

- Сіверськодонецько-Приазовська гідрологічна зона – р. Оскіл;

- гідрологічна зона Українських Карпат: Тисо-Латорицька гідрологічна область – р. Тересва; Дністровсько-Прутська гідрологічна область – р. Стрий.

Значення гідрологічних характеристик стоку обраних річок наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Гідрологічні характеристики основних річок [10]

№ поста	Річка – пункт	Басейн	Площа водозбору, км ²	Відстань від гирла, км	Середня багаторічна витрата води, м ³ /с	Середній річний модуль стоку л/с·км ²
1	Тетерів – с. Троща	р. Дніпро (п)	227	298	0,82	3,61
2	Тетерів – м. Житомир (створ греблі)	р. Дніпро (п)	5270	211	14,9	2,83
3	Тетерів – с. Макалевичи	р. Дніпро (п)	7890		25,1	
4	Тетерів - смт. Іванків	р. Дніпро (п)	12400	38	34,3	2,77
5	Західний Буг – смт. Сасів	р. Вісла (п)	107	758	1,36	12,7
6	Західний Буг – м. Кам'янка Бузька	р. Вісла (п)	2350	689	15,5	6,6
7	Західний Буг – с. Литовеж	р. Вісла (п)	6740	602	34,2	5,07
8	Південний Буг – с. Пирогівці	лим. Бузький	827	712	4,65	5,62
9	Південний Буг – с. Лелітка	лим. Бузький	4000	641	14,3	3,58
10	Південний Буг – с. Селище	лим. Бузький	9100	550	33,3	3,66
11	Південний Буг – с. Тростянички	лим. Бузький	17400	369	48,1	2,76

№ поста	Річка – пункт	Басейн	Площа водозбору, км ²	Відстань від гирла, км	Середня багаторічна витрата води, м ³ /с	Середній річний модуль стоку л/с·км ²
12	Південний Буг – с. Підгір'я	лим. Бузький	24600	220	60,2	2,45
13	Південний Буг – Первомайська ГЕС	лим. Бузький	27300	196	41,3	1,51
14	Південний Буг – м. Первомайськ	лим. Бузький	44000	195	73,3	1,67
15	Південний Буг – смт. Олександрівка	лим. Бузький	46200	132	89,1	1,93
16	Псел – м. Суми	р. Дніпро (л)	7770	478	23,8	3,06
17	Псел – м. Гадяч	р. Дніпро (л)	11300	312	33,8	2,99
18	Псел – с. Запілля	р. Дніпро (л)	21800	39	51,6	2,37
19	Оскіл – м. Старий Оскіл	р. Сіверський Донець (л)	1540		7,62	
20	Оскіл – м. Куп'янськ	р. Сіверський Донець (л)	12700	121	37,1	2,92
21	Оскіл – ГЕС Червонооскільська (нижній б'єф)	р. Сіверський Донець (л)	14700	12	37,8	2,57
22	Тересва – смт. Усть-Чорна	р. Тиса (п)	572	54	18,5	32,30
23	Тересва – с. Дубове	р. Тиса (п)	757		24,0	
24	Стрий – с. Матків	р. Дністер (п)	106	202	2,86	27,00
25	Стрий – с. Завадівка	р. Дністер (п)	740	155	15,7	21,20
26	Стрий – с. Ясениця	р. Дністер (п)	1020	135	20,9	20,50
27	Стрий – с. Новий Кропивник	р. Дністер (п)	1140		19,2	
28	Стрий – смт. Верхнє Синьовидне	р. Дністер (п)	2400	77	41,3	17,20

Для кожної річки визначався природний і технічний гідроенергетичний потенціал. Природний потенціал стоку малої річки E_{np} визначався згідно теоретичних основ гідроенергетики [4]. Довжина річки розбивалась на M ділянок, потенціал яких розраховувався за формулою:

$$E_{np}^i = 9,81 \cdot T \cdot Q_{cp}^i \cdot H^i, \quad (1)$$

$$E_{np} = \sum_{i=1}^M E_{np}^i, \quad i = 1, \dots, M,$$

де T – кількість годин у році; Q_{cp}^i – середня багаторічна витрата води на ділянці річки; H^i – перепад висоти вертикального профілю ділянки річки.

Розрахунок витрат води Q_{cp}^i виконувався за результатами гідрологічних спостережень або з використанням карти з ізолініями модулів середньорічного стоку в даному басейні річки. Водозбірна площа відповідної частини басейну та перепад висоти вертикального профілю ділянки ви-

значалися з використанням комп'ютерної програми *GoogleEarthPro* та цифрових топографічних карт, отриманих шляхом аерокосмічного зондування земної поверхні [6].

Величина технічного потенціалу базової річки E_m розраховувалась за результатами досвіду спорудження малих ГЕС на цій річці або за результатами виконаних раніше передпроектних вишукувань потенційних місць їх розташування.

Коефіцієнт використання гідроенергетичного ресурсу малої річки для виробництва електроенергії $k_{евр}$ визначався за формулою:

$$k_{евр} = E_m / E_{np}. \quad (2)$$

Для кожної основної річки докладно вивчалась гідрологічна інформація, яка наведена у табл. 1, територія протікання та площа водозбору, притоки річок. Визначались параметри вертикального профілю річки з позначенням пунктів виміру гідрологічної інформації (рис. 2).

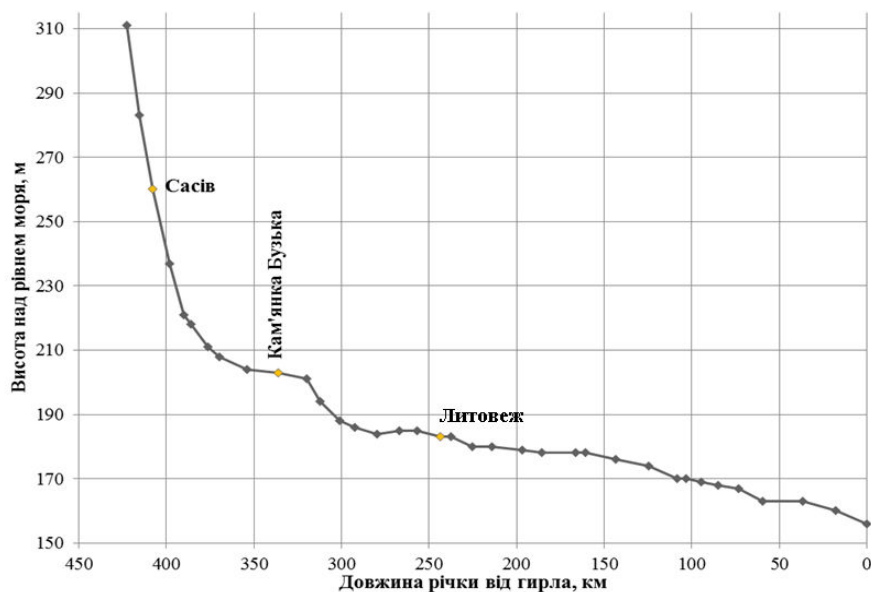


Рис. 2. Приклад поздовжнього вертикального профілю річки (р. Західний Буг).

Нижче наведена інформація щодо визначення E_m для основної річки кожної з гідрологічних зон.

У Поліській гідрологічній зоні, відповідно до Програми розвитку малої гідроенергетики Житомирської області на 2011-2015 роки від 01.09.2011 р. №304 [8] та із урахуванням виведеної з експлуатації станції у м. Радомишль потужністю 120 кВт, на р. Тетерів можуть бути розміщені 5 гідроелектростанцій загальною потужністю 2,07 тис. кВт (табл. 2) з річним обсягом виробництва електроенергії близько 7,25 ГВт·год.

Таблиця 2. Малі ГЕС на р. Тетерів

ГЕС	Потужність, кВт
Чуднівська (діюча)	100
Житомирська	700
Зарічанська	400
Денишівська	750
Радомишльська	120
Всього	2070

Для Західної гідрологічної зони відсутні відомості щодо проектних вишукувань місць розташування малих ГЕС на р. Західний Буг. Тому подальший аналіз інформації виконувався за припущення, що значення коефіцієнта використання гідроенергетичного ресурсу для даної річки дорівнює значенню аналогічного коефіцієнта для р.Тетерів.

У результаті проектних вишукувань та досвіду будівництва малих ГЕС на річці Південний Буг відомі всі можливі місця для розташування станцій потужністю до 10 МВт (табл. 3). Технічний потенціал річки Південний Буг складає 27,735 МВт з річним обсягом виробництва електроенергії близько 94,34 ГВт·год.

Таблиця 3. Малі ГЕС на р. Південний Буг

ГЕС	Потужність, кВт
Ладжинська (діюча)	7500
Сабарівська(діюча)	1050
Брацлавська (діюча)	400
Глибочанська (діюча)	6130
Чернятська (діюча)	1400
Сандрацька (діюча)	640
Новокостянтинівська (діюча)	525
Щедрівська (діюча)	640
Березівська (діюча)	300
Савранська (діюча)	450
Гайворонська(діюча)	5700
Сутиська (діюча)	1400
Первомайська	600
Костянтинівська	400
Мигійська (діюча)	600
Всього	27735

Станом на 2015 р. за даними НКРЕ та НЕК "Укренерго" на річці Псел розміщені 7 станцій загальною потужністю 2288 кВт. За інформацією Полтавського обласного управління водних ресурсів, яке проводило інвестиційні дослідження р. Псел, виявлено 11 місць для реконструкції та модернізації малих ГЕС загальною потужністю 3,548 МВт (табл. 4). Ці станції можуть виробляти близько 12,4 ГВт-год/рік електроенергії.

Таблиця 4. Малі ГЕС на р. Псел

ГЕС	Дані НКРЕ та Полтавської ОДА
	Потужність, кВт
Низівська (діюча)	480
Маловорожбянська (діюча)	350
Михайлівська (діюча)	180
Бобрівська (діюча)	180
Рашівська	300
Великосорочинська (діюча)	360
Шишацька (діюча)	550
В.Багачанська	300
Білоцерківська	300
Остап'євська (діюча)	218
Сухорабівська (діюча)	330
Всього	3548

На річці Оскіл побудовано велике водосховище, на дамбі якого розташована Червонооскільська ГЕС потужністю 3,68 МВт із середньорічним виробітком електроенергії (після реконструкції) близько 11 ГВт-год/рік.

У результаті проектних вишукувань на річці Тересва (Ukrenergy Holding) можливе будівництво каскаду малих ГЕС загальною встановленою потужністю 24 МВт. Реалізація даного проекту дозволила б отримати нове джерело екологічно чистої електроенергії, а також паралельно вирішити проблему підтоплення населених пунктів і сільськогосподарських угідь у басейні річки Тересва [9]. Річний виробіток електроенергії каскадом малих ГЕС оцінено на рівні 72 ГВт-год.

На сьогодні на річці Стрий побудована 1 станція загальною потужністю 450 кВт (Яворська ГЕС), але згідно результатів передпроектних вишукувань (ТОВ "Еко-Оптіма", 2010-2013 рр.) знайдено 8 місць можливого розташування малих ГЕС загальною потужністю біля 17 МВт з річним виробітком електроенергії в 66,5 млн кВт-год (табл. 5). Питання будівництва станції В.Синьовидне-1 ще остаточно не вирішене, оскільки на цій території були знайдені поклади мінеральної води.

За результатами даного дослідження були отримані наступні значення коефіцієнтів використання гідроенергетичного ресурсу для всіх базових річок, що наведено в табл. 6.

Таблиця 5. Проектні та діючі малі ГЕС на р. Стрий

ГЕС	Потужність, кВт	Виробіток електроенергії, тис. кВт-год
Явірська (діюча)	450	1710
Підгородці-1	1950	7410
Підгородці-2	1950	7410
Крушельниця-1	1950	7410
Крушельниця-2	1950	7410
Корчин	1950	7410
В. Синьовидне-1	2200	8360
В. Синьовидне-2	2200	8360
Межиброди	2900	11020
Всього	17500	66500

Таблиця 6. Значення коефіцієнтів використання гідроенергетичного ресурсу основних малих річок

Річка	Гідрологічна зона	Перепад висоти вертикального профілю, м	Природний потенціал, млн кВт·год/рік	$K_{свр}$
Тетерів	Поліська	180	207,1	0,035
Західний Буг	Західна	77	88,5	0,03
Південний Буг	Правобережно-Дніпровська	316	647,7	0,15
Псел	Лівобережно-Дніпровська	73	108,48	0,11
Оскіл	Сіверськодонецько-Приазовська	101	178,7	0,062
Тересва	Українські Карпати	321	722,9	0,1
Стрий	Українські Карпати	480	1065,42	0,055

Висновки. Визначено, що обсяг технічно досяжного потенціалу гідроенергетичних ресурсів для основних малих річок знаходиться у межах 3-15% його загального природного потенціалу. Отримані кількісні значення коефіцієнтів використання гідроенергетичного ресурсу надають підстави для оцінки досяжного обсягу виробництва електроенергії малими ГЕС на території України на основі результатів розрахунку природного гідроенергетичного потенціалу малих річок.

1. IRENA (2015), *Remar 2030 Перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні до 2030 року* / Д. Жілен, Д. Сайгін, Н. Вагнер. – Абу-Дабі.: IRENA, 2015 – 57 с. – Режим доступу: http://saee.gov.ua/sites/default/files/UKR%20IRENA%20REMAP%20_%202015.pdf – Назва з екрана.

2. Доповідь про світовий розвиток малої гідроенергетики / Х. Ліу, Д. Масеру, Л. Ессер. – Вена (Австрія): UNIDO і ICSHP, 2013. – 28 с. – Режим доступу: http://www.smallhydroworld.org/fileadmin/user_upload/pdf/WSHPDR_2013_Executive_Summary_Russian.pdf

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

4. *Малинин Н.К.* Теоретические основы гидроэнергетики : учеб. для вузов по специальности «Гидроэлектроэнергетика» / Малинин Н. К. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 312 с.

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

6. *Мороз А.В.* Визначення гідроенергетичного потенціалу малих річок за довольної забезпеченості витрат води / А.В. Мороз, П.Ф. Васько, А.О. Бріль // Відновлювана енергетика. – 2012. – № 1. – С. 42 – 49.

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

8. Програма відновлення об'єктів малої гідроенергетики Житомирської області на 2011-2015 роки // Житомирська обласна державна адміністрація. – 2015. – Режим доступу: <http://oda.zt.gov.ua/images/golovna/oblasni-galuzevi-programu/27.pdf>. – Назва з екрана.

9. Річка Тересва. Західний регіон. Тячівський р-н. Закарпатська область [Електронний ресурс] // Україна. – 2015. – Режим доступу: <http://www.ukrain.travel/dr-uk/1874-richka-teresva.html>. – Назва з екрана.

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

11. Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку гідроенергетики України : аналіт. доп. / О.М. Суходоля, А.А. Сидоренко, С.В. Бегун, А.А. Білуха. – К.: НІСД, 2014. – 112 с.

REFERENCES

1. Zhilen, D., Sayhin, D., Vahner, N. (2015) *Remar 2030 Perspektivi rozviku vidnovlyuvanoi enerhetiki v Ukraini do 2030 roku* [Prospects for the development of renewable energy in Ukraine to 2030]. Abu Dhabi: IRENA. www.saee.gov.ua. Retrieved from http://saee.gov.ua/sites/default/files/UKR%20IRENA%20REMAP%20_%202015.pdf [in Ukrainian]

2. Liu, H., Maseru, D., Esser, L. (2013) *Dopovid pro svitovy rozvitok maloi gidroenergetiki* [Report on the global development of small hydropower]. Vienna, Austria: UNIDO and ICSHP. www.smallhydroworld.org. Retrieved from http://www.smallhydroworld.org/fileadmin/user_upload/pdf/WSHPDR_2013_Executive_Summary_Russian.pdf [in Russian]

3. Klimentko, V.G. (2010) *Gidrologiya Ukraini: navchalny posibnik dlya studentiv geografiv* [Hydrology of Ukraine: Textbook for students of geography]. Kharkiv, Ukraine: Kharkiv National University of V.N. Karazin [in Ukrainian]

4. Malinin, N.K. (1985) *Teoreticheskie osnovi gidroenergetyki* [Theoretical Foundations of hydropower]. Moscow, Russia: Energoatomizdat [in Russian]

5. Moroz, A.V. (2014). Analiz rozrahunkovih doslidzhen gidroenergetichnih resursiv malih richok Ukraini [Analysis settlement studies of hydropower resources of small rivers

Ukraine]. *Vidnovljivana eneretyka [Renewable Energy]*, 1, 70–75 [in Ukrainian]

6. Moroz, A.V., Vasko, P.F., Brill, A.A. (2012). Vyznachennya gidroenergetichnogo potentsialu malih richok za dovilnoi zabezpechenosti vitrat vodi [Definition hydropower potential of small rivers provision for voluntary water consumption]. *Vidnovljivana eneretyka [Renewable Energy]*, 1, 42–49 [in Ukrainian]

7. Kosovets, O.O. (Ed.) (2014). Pratsi tsentralnoi geofizichnoi observatorii [Proceedings of the Central Geophysical Observatory]. Kyiv, Ukraine: Interpress Ltd [in Ukrainian]

8. (2015) *Programa vidnovlennya obektiv maloi gidroenergetiki Zhitomirskoi oblasti na 2011-2015 roky* [Program of rehabilitation of small hydropower in Zhytomyr region for 2011-2015]. (n.d.). [www.oda.zt.gov.ua](http://oda.zt.gov.ua). Retrieved from <http://oda.zt.gov.ua/images/golovna/oblasni-galuzevi-programu/27.pdf>. [in Ukrainian]

9. (2015) *Richka Teresva. Zahidny region. Tyachivsky raion. Zakarpats'ka oblast* [River Teresva. West Region. Tyachiv district. Transcarpathian region]. (n.d.). www.ukrain.travel. Retrieved from <http://www.ukrain.travel/druk/1874-richka-teresva.html> [in Ukrainian]

10. Strelec, B.Y. (Ed.). (1987). *Spravochnik po vodnym resursam* [Water Resources Handbook]. Kyiv, Ukraine: Urozhaj [in Russian]

11. Suhodolya, O.M., Sidorenko, A.A., Behun, S.V., Beluga, A.A. (Analyte. ext.). (2014) *Suchasnyj stan, problemi ta perspektivi rozvitku gidroenergetiki Ukraini: analit. dop.* [The current state, problems and prospects of development of hydropower Ukraine: analyte. ext.]. Kyiv, Ukraine: NISS [in Ukrainian]

П.Ф.Васько, докт.техн.наук, **А.В.Мороз**, канд.техн.наук (Институт возобновляемой энергетики НАН Украины, Киев)

Потенциал использования гидроэнергетических ресурсов основных малых рек Украины

Проведены расчетные исследования потенциала гидроэнергетических ресурсов основных малых рек территории Украины на основании легитимной гидрологической информации и с учетом нормативно-правовой законодательной базы в электроэнергетической и экологической сферах и практики экс-

плуатации малых ГЭС. Библ. 11, табл. 6, рис. 2.

Ключевые слова: гидроэлектрическая станция, экология, электроэнергия, мощность, сток реки.

Vasko P., Moroz A. (Institute of renewable energy, NAS, Ukraine, Kyiv)

The potential use of hydropower resources of main small rivers Ukraine.

There has been carried out settlement researches of potential of hydropower resources of the main small rivers in Ukraine on the basis of legitimate hydrological information and taking into account the regulatory legislative framework in the electricity and environmental practices and operation of small hydroelectric power plants. References 11, table 6, figures 2.

Keywords: ecology, electricity, flow of the river, hydroelectric station, power.

SYNOPSIS

According to the publication of reference "Water Fund of Ukraine" (Kyiv, 2001), Ukraine has 63119 rivers and streams with a total length of more than 206 thousand km. The total theoretical hydropower potential of small rivers in Ukraine is about 12.5 billion. kW•hour per year. This value is output to determine the total technical potential of hydropower resources of small rivers in Ukraine.

Technically achievable potential of small rivers of Ukraine according to various sources range from 65% to 90% of the total hydropower potential. However, it should be noted that the full specification of hydropower potential of small rivers on the territory of Ukraine after 1960 was not held. In recent years, has changed much regulatory framework of small hydropower Ukraine.

This publication by the energetic use for the main rivers of Ukraine that are most promising for small hydroelectric power production. Calculated based on research conducted legitimate hydrological information and in view of the current regulatory framework in the electricity and environmental sectors.

Determined that the amount of technically feasible potential hydropower resources for even basic small rivers is within 3-15% of the total natural potential. These quantitative importance to bases for technological capacity of small rivers throughout the territory of Ukraine based on certain natural potential.

Стаття надійшла до редакції 30.08.16

Остаточна версія 05.09.16