



УДК 626/627

СТЕФАНИШИН Д.В., докт. техн. наук, пров. наук. співр.
ІТГП НАН України, м. Київ; проф. каф. гідротехнічного
будівництва та гідравліки НУВГП, м. Рівне

ДЕЯКІ КРИТИЧНІ ЗАУВАЖЕННЯ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ПІДТРИМКИ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

Проаналізовано стан та особливості освоєння гідроенергетичного потенціалу в світі і Україні. Запропоновано показники, за якими опосередковано може оцінюватись соціальна, екологічна та економічна привабливість гідроенергетичних об'єктів та їх вплив на відповідні складові сталого розвитку. Виконано порівняльний аналіз відкритих даних щодо основних водноенергетичних характеристик гідроелектростанцій України, Франції і Австрії, та вказано на необхідність перегляду засадничих принципів, на яких мають ґрунтуватися оцінки економічно ефективного гідроенергетичного потенціалу рік та розроблятися плани і програми введення нових потужностей гідрогенерації в країні в контексті сталого розвитку.

К л ю ч о в і с л о в а: відновлювані джерела енергії, гідроенергетика, економічно ефективний гідроенергетичний потенціал, електроенергетика, сталий розвиток.

Вступ та загальний огляд проблеми. Гідроенергетика – одна з традиційних технологій отримання електроенергії, яка, поряд з тим, що вже добре випробувана часом на надійність, використовує відновлюваний енергоресурс – потенціальну і кінетичну енергію води. Характеризується високою ефективністю процесу перетворення наявних гідроенергетичних ресурсів в електроенергію (коефіцієнт корисної дії сягає 0,7 ... 0,9 і вище) – недосяжною для інших технологій, та високою маневреністю (Табл. 1), яка сприяє вирішенню складних завдань регулювання електропостачання споживачам, забезпечення стійкості і живучості об'єднаних енергосистем (ОЕС) в умовах

різкозмінних графіків їх навантаження, підвищення надійності, безпеки і ефективності роботи інших об'єктів електрогенерації, в першу чергу – атомних і теплових електростанцій (АЕС, ТЕС), в тому числі і об'єктів альтернативної електроенергетики (вітрової, сонячної тощо), що також використовують відновлювані джерела енергії [1–3].

Практично всі розвинені країни світу докладали значні зусилля для того, щоб найбільш повно використати доступний на їх території економічно доцільний та економічно ефективний гідроенергетичний потенціал (ЕЕГЕП). В ряді країн він на разі вважається вже практично вичерпаним (Табл. 2). Наприклад, в Німеччині рівень освоєння ЕЕГЕП на 2000 р. досяг 86%, Японії – 90%, Італії – 95,6%, Швейцарії – 97,2%, а у Франції – 100% [4, 5]. Рівень освоєння ЕЕГЕП в Україні (61–64% [1]) також є досить високим, хоча і де-що нижчим за серед-

Таблиця 1. Таблица 1. Маневрені якості основних типів електростанцій [3]

Тип електростанцій	Технічний мінімум навантаження, у % (відношення мінімальної припустимої потужності до встановленої)	Діапазон регулювання, у %	Час набору повної потужності, хвилини	
			Після зупинки	З «гарячого» стану
АЕС	85-90	10-15	390-660	60
ТЕС (вугілля, мазут)	70-80	20-30	90-180	20-50
Газотурбінні	0	100	15-30	0,5
Гідроелектростанції (ГЕС)	0	100	1-2	0,25-0,5
Гідроакumuлюючі електростанції (ГАЕС)	0	200	1-2	0,25-0,5



ньоєвропейський (71,8%) і рівень більшості розвинених країн світу.

За даними Міжнародної гідроенергетичної асоціації (ІНА) гідроенергетика натеper забезпечує близько 20% світового виробітку електроенергії. При цьому доля гідрогенерації в загальному електроенергетичному балансі різних країн варіює від 9% до 99,5% (Табл. 3).

Серед лідерів у використанні потужностей гідрогенерації в загальному електроенергетичному балансі – Парагвай, Норвегія, Бразилія. Найменшою є доля виробництва електроенергії на ГЕС у США, Японії і в Україні. Втім, низька доля гідроенергетики в загальному електроенергетичному балансі не заважає США і Японії бути одними з найбільш розвинених в соціально-економічному відношенні країнами світу.

На разі в розвинених країнах, що сповідують сталий розвиток та екологічні пріоритети, подальше використання наявного ЕЕГЕП починає обмежуватися – як у зв'язку з впровадженням альтернативної енергетики (вітрової, сонячної, біоенергетики тощо), так і через посилення уваги до енергозбереження і соціально-екологічних проблем, які спричинює гідроенергетика. Будівництво ГЕС, особливо великих, ведеться переважно в країнах Африки, в Південній Америці та Азії, в країнах з порівняно низьким рівнем освоєння ЕЕГЕП, або в країнах, де соціально-екологічним проблемам, що виникають при освоєнні гідроенергоресурсів, належна увага не приділяється. Так, за даними ІНА встановлена потужність гідрогенерації в Норвегії, де рівень освоєння ЕЕГЕП на 2000 р. складав 64,8%, а доля гідроенергетики в енергобалансі – більше 99%, зросла з 27,4 ГВт на 2000 р. до 28,72 ГВт на кінець 2014 р., тобто лише на 4,6%, в Канаді (рівень освоєння ЕЕГЕП на 2000 р. 65,3%) – на 13,9% (з 67 ГВт до 77,8 ГВт), а в Швеції (рівень освоєння ЕЕГЕП на 2000 р. 75,9%) – менше ніж на 1% (з 16,2 ГВт до 16,32 ГВт), тоді як в Бразилії на 35% (з 58 ГВт до 89,3 ГВт, рівень освоєння ЕЕГЕП на 2000 р. – 37%), а в Китаї, де екологічна ситуація наразі чи не найгірша в світі, майже на 77% (з 65 ГВт на 2000 р. до 279,4 ГВт на кінець 2014 р.). При цьому доля гідроенергетики в загальному енергобалансі Китаю (17%) не змінилася.

Актуальними завданнями гідроенергетики в розвинених країнах стає модернізація існуючих ГЕС шляхом встановлення більш сучасного гідроенергетичного обладнання, вирішення нагальних екологічних проблем минулого (будівництво ефективних рибопропускних споруд, зміна режимів роботи ГЕС на користь екології тощо), та розвиток гідроаккумуляції – введення нових потужностей на ГАЕС, при будівництві яких немає потреби в створенні великих водосховищ для регулювання стоку з затопленням значних територій, перенесенням населених пунктів тощо. Наприклад, в США, поряд з тим, що вводяться нові потужності на ГАЕС, існує мораторій на будівництво нових великих ГЕС та здійснюється ліквідація застарілих малих ГЕС з метою реанімації природного стану малих річок [6].

Таблиця 2. Країни з високим рівнем освоєння ЕЕГЕП (дані на 2000 р.) [4, 5]

Країна	Сумарний ЕЕГЕП, млрд. кВт×год.	Виробіток електроенергії, млрд. кВт×год.	Рівень освоєння ЕЕГЕП, %
Україна	17,0-18,0	9,8	61,0-64,0
Норвегія	179,6	116,3	64,8
Канада	536,0	350	65,3
Австрія	53,7	37,5	69,8
Фінляндія	19,7	14,6	74,0
Парагвай	68,0	51,3	75,4
Швеція	90,0	68,3	75,9
Мексика	32,2	24,6	76,4
США	376,0	308,8	82,1
Іспанія	41,0	35,0	85,4
Німеччина	20,0	18,2	86,0
Японія	114,3	95,6	90,0
Італія	54,0	51,6	95,6
Швейцарія	35,5	34,5	97,2
Франція	71,5	72,0	100,0

Слід зазначити, що гідроаккумуляція демонструє високі темпи розвитку практично у всіх країнах світу. Якщо на початку ХХ століття в світі працювало лише чотири таких об'єкти, то на початку 60-х років їх налічувалося вже 72, а до 2010 р. їх кількість склала 460 [7, 8]. На 2011 р., за даними [9], загальна потужність ГАЕС в світі досягла 127 ГВт (більш ніж 99% від ємності акумуляторів всіх типів), а на кінець 2014 р. вже складала 142,1 ГВт (13,7% всіх встановлених потужностей гідрогенерації). Найбільша доля встановленої потужності на ГАЕС – в країнах Європейського Союзу (на 2009 р. – 38,3 ГВт або 36,8% від світової при 140 ГВт загальної потужності від гідро генерації та майже 5% від потужності всіх електростанцій ЄС [10]). Навіть в Люксембурзі працює потужна ГАЕС (ГАЕС Віанден, 1296 МВт у

Таблиця 3. Доля гідроенергетики в енергобалансі різних країн світу на 2000 р. [4, 5]

Країна	Виробіток електроенергії, млрд. кВт×годин	Встановлена потужність, млн. кВт	Доля в енергобалансі, %
США	308,8	75,5	9,0
Японія	95,6	27,2	9,0
Україна	9,8	4,73	9,1
Франція	71,5	25,2	15,0
Мексика	24,6	10,5	15,0
Китай	204	65,0	17,0
Індія	80,0	24,5	17,0
Росія	165,4	44,0	18,9
Італія	51,6	15,3	19,4
Іспанія	35,0	9,3	20,0
Туреччина	39,1	10,8	30,0
Аргентина	32,0	9,6	38,8
Швеція	68,3	16,2	47,7
Швейцарія	34,5	13,2	56,3
Канада	350,0	67,0	61,3
Австрія	37,5	13,57	62,0
Нова Зеландія	22,9	5,2	63,2
Колумбія	37,0	8,6	68,0
Венесуела	60,6	13,2	77,0
Бразилія	282,6	58,0	95,2
Норвегія	116,3	27,4	99,4
Парагвай	51,3	8,1	99,5



турбінному режимі, 1040 МВт – у насосному), яку почали будувати ще в 1959 р., а останній агрегат було введено в 2014 р. Будівництво ГАЕС ведеться не лише в країнах, де рівень освоєння ЕЕГЕП вже давно перевищив 80% (США, Іспанія, Німеччина, Японія, Італія, Швейцарія) і де нові ГЕС практично не будуються, а й в країнах, де ЕЕГЕП є ще далеким від вичерпання (Росія, Китай та ін.) і де все ще існує багато привабливих створів для будівництва нових потужних ГЕС [4].

Формулювання задачі досліджень та мета статті.

Наслідки масового гідроенергетичного будівництва, численні проблеми, зокрема і соціально-екологічні, які супроводжують будівництво та експлуатацію гідроенергетичних об'єктів, вже добре вивчені [1, 11] і в світовій практиці намітилася чітка тенденція до їх максимально можливого врахування при оцінці ЕЕГЕП та в проектних рішеннях [4]. Втім, в Україні, як показує практика, все ще залишаються актуальними старі підходи до розвитку гідроенергетики, з ігноруванням негативних наслідків. Про це певною мірою свідчить і прийнята в 2016 р. Урядом Програма розвитку гідроенергетики України до 2026 р. [12], в якій, зокрема, заявлено і про плани будівництва кількох нових ГЕС на Дністрі (так званого Верхньодністровського каскаду з шести ГЕС загальною потужністю 386 МВт), які викликали особливо негативне сприйняття серед екологів.

На нашу думку, прийняттю цієї Програми мала б передувати об'єктивна, критично осмислена оцінка ситуації, яка склалася у вітчизняній гідроенергетиці. Насамперед, мова має йти про переоцінку ЕЕГЕП, в тому числі і з врахуванням можливостей нових альтернативних технологій, що також використовують відновлювані джерела електрогенерації, на основі принципово нових критеріїв для прийняття рішень. Критерії (переважно економічного характеру), якими все ще послуговуються вітчизняні гідроенергетики, мають відношення до 60–80 рр. минулого століття і вже не можуть вважатися коректними. Слід зважати і на те, що гідроенергетика в Україні, як велика, так і мала, набула поганої репутації серед екологів і в соціумі, і жодним чином не може претендувати на статус екологічно безпечної, "зеленої" електроенергетики, який відстоюється в чинній Програмі.

Щоб зрозуміти, чому в інших країнах світу немає такої жорсткої обструкції гідроенергетиці зі сторони екологів, активістів, громадськості, місцевого населення як в нашій країні, достатньо подивитися на географічні карти цих країн (особливо показовим тут є приклад Франції, на який часто посилаються вітчизняні гідроенергетики), де не знайдеться грандіозних (в першу чергу за площею, а це тисячі і тисячі квадратних кілометрів) водосховищ – одного з невід'ємних атрибутів великих вітчизняних ГЕС. Значна частина затоплених ними територій могла б соціально розвиватися, використовуватися в сільському господарстві тощо. При цьому, незважаючи на великі обсяги акумулювання води у вітчизняних водосховищах (їх повний об'єм сягає 55,3 км³,

що більше в цілому водних ресурсів рік країни (52,4 км³), які формуються на її території в середні за водністю роки [13]), Україна є однією з найменш забезпечених водою на душу населення країною Європи, країною, де водний дефіцит, що з роками посилюється, поєднується з катастрофічним забрудненням води та деградацією рік і прирічкових територій, зростанням повеневої небезпеки.

Сталий розвиток гідроенергетики, як складова сталого розвитку країни в цілому, має передбачати задоволення різних цілей та критеріїв: економічних, соціальних, екологічних. При цьому питання соціальної стабільності, збереження якості довкілля, охорони живої і неживої природи, пам'яток історії та культури мають бути такими ж важливими, як і отримувани економічні вигоди від будівництва нових ГЕС і ГАЕС.

Саме така стратегія щодо природокористування отримала в світі назву концепції "стійкого" (або "сталого") розвитку [14]. Її реалізація передбачає зростання економіки при одночасному поліпшенні екологічної ситуації й вирішенні актуальних соціальних проблем. В цілому, концепція сталого розвитку співзвучна з концепцією прийнятого (раціонального) ризику [15, 16], адже обидві виходять з того, що природокористування, так чи інакше, обтяжене проблемними ситуаціями і, відповідно, ризиком, який, втім, має враховуватися і мінімізуватися – за рахунок економічних інструментів та нових технологій (в тому числі і альтернативних), і завдяки прийняттю більш складних (системних) рішень, зокрема тих, що орієнтуються на комплексне використання природних ресурсів, перерозподіл ресурсів і можливостей, на диверсифікацію ризику на принципово нових умовах – забезпечення соціальної справедливості і збереження довкілля [14, 17]. Ситуації, за яких ризикують одні, щоб вигоди отримували інші, при цьому мають розглядатися як неприпустимі.

Метою цієї статті є аналіз поточного стану та особливостей освоєння гідроенергетичного потенціалу в світі і в Україні та формулювання пропозицій щодо забезпечення сталого розвитку гідроенергетики в Україні.

3. Загальний аналіз стану та особливостей використання гідроенергетичного потенціалу в світі і в Україні. Ми виходили з того, що валові показники ресурсу не завжди адекватно відображають його цінність та ефективність використання. Звичайно, дані, якими ми оперували для загальної оцінки стану та особливостей освоєння гідроенергетичного потенціалу в різних країнах світу і в Україні, обмежені і самі по собі вони можуть бути предметом окремої дискусії, але отримані результати все-таки дозволяють нам зробити деякі критичні висновки щодо стану і перспектив гідроенергетики України в контексті сталого розвитку.

В Табл. 4 наведено кількісну характеристику ЕЕГЕП та виробітку електроенергії на об'єктах гідрогенерації (на 2000 р. – це переважно ГЕС) в різних країнах світу в залежності від площі їх території. При цьому коректність наведених оцінок ЕЕГЕП в контексті сталого



розвитку, зокрема адекватність врахування при отриманні цих оцінок соціально-екологічних факторів, в різних країнах вважалися подібними.

Аналіз показує, що для України відношення сумарного ЕЕГЕП до площі її території (млрд. кВт год./тис. км²) є одним з найгірших серед представлених в Табл. 4 країн, де гідроенергетика розвивалась або розвивається. Гіршим цей показник є лише у Аргентини, Мексики і Австралії, в країнах, де на більшій частині території річки, як постійні водотоки, взагалі відсутні.

Такий стан може свідчити про те, що Україна є обділеною ресурсами гідрогенерації країною і що їх використання неминуче буде пов'язуватися з надмірними негативними впливами на довкілля. При цьому нами не ставилася під сумнів коректність, "соціально-екологічна" якість, наведеної оцінки ЕЕГЕП для України, якою оперують вітчизняні гідроенергетики, в тому числі і при розробці планів та програм розвитку гідроенергетики в країні [1–3, 12]. Реальна оцінка ЕЕГЕП для умов України може виявитися навіть гіршою, адже ми все ще не навчилися адекватно оцінювати в економічних категоріях ймовірну соціальну шкоду та екологічні втрати від будівництва і експлуатації ГЕС.

В Табл. 5 наведено дані щодо ефективності використання встановлених потужностей гідрогенерації в різних країнах світу на 2000 р. Отримані нами кількісні показники, а це час використання встановленої потужності гідрогенерації та коефіцієнт її використання, в Україні виявилися найнижчими серед всіх перерахованих країн.

Малі значення часу використання встановленої потужності гідрогенерації (або коефіцієнта її використання) можуть свідчити не тільки про недостатню економічну ефективність використання встановленої потужності на вітчизняних ГЕС, що вже експлуатуються. Низькі значення цих показників опосередковано можуть вказувати і на більш високі рівні загального негативного екологічного впливу вітчизняних ГЕС на ріки і довкілля.

4. Порівняльний аналіз основних водноенергетичних характеристик гідроелектростанцій України, Франції та Австрії. Серед основних аргументів на користь будівництва нових ГЕС в Україні вітчизняні гідроенергетики наводять позитивний досвід освоєння гідроенергетичних ресурсів у інших країнах. Найчастіше посилаються на досвід Франції та Австрії, де до гідроенергетики відносяться з великою повагою, як до одного з національних надбань. В свій час гідроенергетика сприяла досягненню електроенергетичної незалежності цих країн і продовжує вносити значний вклад в їх соціально-економічне процвітання.

Як відомо, найбільш вагому частку електроенергії у Франції (до 75%) виробляють АЕС, як і в Україні (до 50% і більше, в залежності від року). Гідроенергетика

Таблиця 4. Загальна характеристика ЕЕГЕП та виробітку електроенергії на об'єктах гідрогенерації в різних країнах світу в залежності від площі їх території (дані на 2000 р.)

Країна	Сумарний ЕЕГЕП, млрд. кВт×год	Виробіток електроенергії E, млрд.кВт×год	Площа території S, тис. км ²	ЕЕГЕП / S, млрд.кВт×год / тис. км ²	E / S, млрд. кВт×год / тис.км ²
Єгипет	50	11,5	1001,449	0,0499	0,0115
Нігерія	29,8	7	923,768	0,0323	0,0076
Росія	600	165,4	17075,4	0,0351	0,0097
Колумбія	140	37	1141,748	0,1226	0,0324
Туреччина	123	39,1	779,452	0,1578	0,0502
Мозамбік	31,7	11,5	799,379	0,0397	0,0144
Бразилія	763	282,6	8511,996	0,0896	0,0332
Аргентина	80	32	2780,092	0,0288	0,0115
Сербія і Чорногорія	27	12	88,375	0,3055	0,1358
Еквадор	15	7,2	272,045	0,0551	0,0265
Румунія	30	16	238,391	0,1258	0,0671
Австралія	30	17,5	7682,3	0,0039	0,0023
Нова Зеландія	40	22,9	270,534	0,1479	0,0846
Венесуела	100	60,6	912,05	0,1096	0,0664
Україна	17-18	9,8	603,7	0,0298	0,0162
Норвегія	179,6	116,3	385,155	0,4663	0,3020
Канада	536	350	9976,14	0,0537	0,0351
Австрія	53,7	37,5	83,858	0,6404	0,4472
Фінляндія	19,7	14,6	338,145	0,0583	0,0432
Парагвай	68	51,3	406,752	0,1672	0,1261
Швеція	90	68,3	449,964	0,2000	0,1518
Мексика	32,2	24,6	1958,201	0,0164	0,0126
США	376	308,8	9372,614	0,0401	0,0329
Іспанія	41	35	505,992	0,0810	0,0692
Німеччина	20	18,2	357,05	0,0560	0,0510
Японія	114,3	95,6	372,824	0,3066	0,2564
Італія	54	51,6	301,318	0,1792	0,1712
Швейцарія	35,5	34,5	41,29	0,8598	0,8356
Франція	71,5	72	547,03	0,1307	0,1316

доповнює баланс виробництва електроенергії у Франції (з долею близько 15%). При цьому рівень використання ЕЕГЕП у Франції досяг майже 100%. Метою схваленої в 2016 р. Урядом Програми [12] є доведення долі гідроенергетики на ринку електроенергії до 15–16%, проти 5–8% нині, — також за рахунок максимально повного використання ЕЕГЕП.

В Австрії провідну роль в електроенергетиці (до 62%) відіграє гідроенергетика (рівень використання ЕЕГЕП сягає 70%); доповнює баланс — тепла енергетика (до 35% в структурі виробництва електроенергії). В Україні, як відомо, на ГЕС також виробляється значна доля електроенергії (до 45%). А це означає постійну залежність від вугілля, газу, а також проблеми з забрудненням навколишнього середовища. Тому плани щодо повного використання наявного ЕЕГЕП в країні, на перший погляд, є цілком доречними.

Залишаються без відповіді лише кілька, але дуже важливих питань. Чому у Франції та Австрії гідроенергетика має гарну репутацію, а в Україні — ні? Чому проти планів вітчизняних гідроенергетиків настільки агресивно виступають деякі екологи, науковці, журналісти, а також громадськість?

Для того щоб відсторонитися від суб'єктивних оцінок ситуації, що склалася, нами було виконано порівняльний аналіз відкритих даних щодо водноенергетичних характеристик найбільших ГЕС України, Франції і Австрії. Аналізувалися дані щодо площ водосховищ, встановленої потужності, річного виробітку електроенергії, розрахункових напорів. Показники, які були нами запропоновані для порівняння, на нашу



Таблиця 5. Ефективність використання встановлених потужностей гідроенергії в різних країнах світу (дані на 2000 р.)

Країна	Виробіток електроенергії E , млрд. кВт·год.	Встановлена потужність $N_{вст}$, млн. кВт	Час використання $N_{вст}$, год. на рік	Коефіцієнт використання $N_{вст}$
США	308,8	75,5	4090	0,47
Японія	95,6	27,2	3515	0,40
Україна	9,8	4,73	2072	0,24
Франція	71,5	25,2	2837	0,32
Мексика	24,6	10,5	2343	0,27
Китай	204	65	3138	0,36
Індія	80	24,5	3265	0,37
Росія	165,4	44	3759	0,43
Італія	51,6	15,3	3373	0,38
Іспанія	35	9,3	3763	0,43
Туреччина	39,1	10,8	3620	0,41
Аргентина	32	9,6	3333	0,38
Швеція	68,3	16,2	4216	0,48
Швейцарія	34,5	13,2	2614	0,30
Канада	350	67	5224	0,60
Австрія	37,5	13,57	2763	0,32
Нова Зеландія	22,9	5,2	4404	0,50
Колумбія	37	8,6	4302	0,49
Венесуела	60,6	13,2	4591	0,52
Бразилія	282,6	58	4872	0,56
Норвегія	116,3	27,4	4245	0,48
Парагвай	51,3	8,1	6333	0,72

думку, дозволяють об'єктивно, хоча і опосередковано, оцінити соціальну, екологічну та економічну привабливість ГЕС, їх можливий вплив на відповідні складові сталого розвитку країн.

Окрема увага при аналізі була приділена ГЕС з напорами до 40 м, оскільки розрахункові напори на більшості вітчизняних ГЕС не перевищують цих значень. Відповідні дані та результати аналізу по об'єктам, які було вибрано для порівняння, наведено в Табл. 6–8.

На Рис. 1 показано графічне відображення результатів аналізу, які наводяться в Табл. 6–8. Оцінювалось відношення площ водосховищ до встановленої потужності ($\text{км}^2/\text{МВт}$) (а) та відношення площ водосховищ до виробітку електроенергії ($\text{км}^2/\text{млн. кВт год.}$) (б) на ГЕС в залежності від розрахункового напору.

Отримані результати (Рис. 1) можуть свідчити про суттєву відмінність між водноенергетичними характеристиками ГЕС України, Франції і Австрії; з соціально-екологічної точки зору — не на користь вітчизняних об'єктів. Єдиною вітчизняною ГЕС, яка наближається за своїми водноенергетичними показниками до аналогічних за розрахунковим напором ГЕС Австрії і Франції, є Дністровська ГЕС-2 — контрб'єф Дністровської ГЕС-1. Показовою є також подібність відповідних характеристик у французьких і австрійських об'єктів.

Аналогічний висновок можна зробити і за результатами порівняння такої характеристики як відношення площі водосховища до розрахункового напору ($\text{км}^2/\text{м напору}$) в залежності від встановленої потужності та виробітку електроенергії (Рис. 2).

Слід зазначити, що велика кількість ГЕС у Австрії і Франції — високонапірні, дериваційного типу. Наприклад, розрахунковий напір на ГЕС Portillon у

Франції сягає 1420 м, на ГЕС Rottau у Австрії — 1106 м. В Україні є тільки одна високонапірна ГЕС — Теребле-Рікська, дериваційного типу, з розрахунковим напором 200 м. Проведений нами аналіз даних щодо вітчизняних ГЕС зі включенням у вибірку даних Теребле-Рікської ГЕС, та даних щодо 29 французьких ГЕС і 19 австрійських ГЕС різного типу і напору, показує, що лише ця ГЕС за своїми водноенергетичними показниками може в певній мірі відповідати ГЕС Франції і Австрії, що мають подібний розрахунковий напір (Рис. 3, 4).

Виконаний нами аналіз багато в чому є формальним, адже всі обставини будівництва та експлуатації ГЕС в країнах не враховувалися, зокрема, не враховувалося те, які саме території підлягали затопленню водосховищами, чи ліквідовувалися при цьому населені пункти, яким чином експлуатація водосховищ вплинула на гідрологію річок, їх загальний екологічний стан в б'єфах тощо. Вважалося, що ці обставини були схожими, що, звичайно, не зовсім так, і,

на жаль, не на користь вітчизняних об'єктів. Наприклад, навіть заповнення Вільшанського водосховища на р. Теребля при будівництві дериваційної Теребле-Рікської ГЕС потребувало ліквідації трьох сіл, гребля на р. Теребля — з нерегульованим водозливом, що унеможливило здійснення регулярних екологічних попусків у русло ріки тощо.

Втім, навіть такий, формальний, аналіз показує, що існують значні відмінності у використанні гідроенергетичного потенціалу в Україні, Франції та Австрії, які можуть бути пов'язані не лише з різними природними умовами, а й з різними підходами до врахування соціально-екологічних факторів та мінімізації впливу гідроенергетики на довкілля.

5. Деякі прикінцеві зауваження та пропозиції.

Гідроенергетика не є екологічно і соціально безпечною технологією виробництва електроенергії, і, хоча і використовує відновлюваний енергоресурс, жодним чином не може претендувати на статус так званої "зеленої" енергетики. Що стосується природних умов України, то вони, в цілому, не можуть вважатися такими, що сприяють освоєнню гідроенергетичного потенціалу рік в контексті сталого розвитку територій, раціонального природокористування при мінімізації соціальних та екологічних ризиків. Рішення щодо освоєння гідроенергетичного потенціалу в Україні не можуть бути простими, стандартними, спрямованими лише на вирішення проблем сьогодення. Теза, що "про шкоду будівництва ГЕС говорять лише недалекоглядні особи, які не бачать перспективи", не має вживатися гідроенергетиками, якщо вони справді дбають про сталий розвиток своєї галузі і загальнонаціональні інтереси. Це стосується як великої гідроенергетики, так і малої, яка в умовах України теж завдає значної шкоди довкіллю, місцевим сільським



городам тощо, життєдіяльність яких пов'язується з малими ріками та їх заплавками [18, 19].

Однак перспективи для сталого розвитку у вітчизняній гідроенергетиці є. В першу чергу їх слід шукати в глибокій модернізації та реконструкції вже існуючих об'єктів. Модернізацію гідроенергетичного обладнання на діючих ГЕС та будівництво Каховської ГЕС-2 у складі вже існуючого Каховського гідровузла слід розглядати в цьому контексті як одне з найкращих серед можливих рішень на найближчу перспективу. Можливо слід також переглянути й режими експлуатації деяких ГЕС на Дніпровському і Дністровському каскадах, щоб підвищити ефективність використання встановленої потужності. В цьому сенсі зовсім недоречною є рента плата за користування водними ресурсами в гідроенергетиці, яка залежить від витрат води, що пропускаються через турбіни. Більш адекватною і справедливою, такою, що сприяла б поліпшенню екологічної ситуації в б'єфах, була б рента плата за встановлену потужність. Електроенергія, яку виробляють ГЕС в Україні, повинна мати відповідну вартість — не найнижчу в галузі електроенергетики чи якусь компромісну, а ринкову, реальну вартість, яка обумовлюється як дефіцитністю маневрених потужностей, так і значними соціально-екологічними втратами, прямими і опосередкованими, з якими пов'язана гідрогенерація на вітчизняних ГЕС. Тим більше це не має бути вартість за так званим "зеленим" тарифом, який спонукає до дій, подібних до тих, що мали місце на Олександрівській ГЕС, встановлену потужність якої знизили з 11,5 МВт до 9,8 МВт [20], лише щоб йому відповідати. Допоки питання ринкової вартості гідрогенерації на вітчизняних ГЕС не буде вирішено, з відповідними змінами в тарифному регулюванні та в оцінках ЕЕ-ГЕП, у гідроенергетики в Україні буде складне й невизначене майбутнє [19].

Встановлення реальної ринкової ціни в гідроенергетиці посприяє і розвитку гідроаку-

Таблиця 6. Розрахункові водноенергетичні характеристики ГЕС України

Гідроелектростанція	Ріка	Площа водосховища $S_{\text{вс}}$, км ²	Встановлена потужність $N_{\text{вс}}$, МВт	$S_{\text{в}} / N_{\text{вс}}$, км ² /МВт	Виріботок електроенергії E , млн. кВт×год.	$S_{\text{в}} / E$, км ² /млн. кВт×год.	Напір H , м
Каховська	Дніпро	2155	351	6,140	1489	1,447	13,8
Кременчуцька	Дніпро	2250	632,9	3,555	1506	1,494	14,2
Київська	Дніпро	922	408,5	2,257	683	1,350	12,0
Канівська	Дніпро	675	444	1,520	972	0,694	11,0
Середньодніпровська	Дніпро	567	352	1,611	1328	0,427	10,5
Дніпровська	Дніпро	410	1569	0,261	4008	0,102	34,3
Дністровська	Дністер	142	702	0,202	865	0,164	40,0
Дністровська ГЕС-2	Дністер	6,1	40,8	0,150	105	0,058	11,4

Таблиця 7. Розрахункові водноенергетичні характеристики ГЕС Австрії

Гідроелектростанція	Ріка	Площа водосховища $S_{\text{в}}$, км ²	Встановлена потужність $N_{\text{вс}}$, МВт	$S_{\text{в}} / N_{\text{вс}}$, км ² /МВт	Виріботок електроенергії E , млн. кВт×год.	$S_{\text{в}} / E$, км ² /млн. кВт×год.	Напір H , м
Annabruেকে	Драва	3,5	90	0,039	390	0,009	24,3
Greifenstein	Дунай	10	293	0,034	1752	0,006	12,6
Edling	Драва	10,5	87	0,121	407	0,026	21,5
Ybbs-Persenbeug	Дунай	10	236,5	0,042	1370	0,007	10,9
Feistritz-Ludmannsdorf	Драва	3,3	88	0,038	351	0,009	27,0
Ferlach-Maria Rain	Драва	2,8	75	0,037	316	0,009	21,4

Таблиця 8. Розрахункові водноенергетичні характеристики ГЕС Франції

Гідроелектростанція	Ріка	Площа водосховища $S_{\text{в}}$, км ²	Встановлена потужність $N_{\text{вс}}$, МВт	$S_{\text{в}} / N_{\text{вс}}$, км ² /МВт	Виріботок електроенергії E , млн. кВт×год.	$S_{\text{в}} / E$, км ² /млн. кВт×год.	Напір H , м
Vaugris	Рона	5	72	0,069	335	0,015	6,7
Gervans	Рона	3	120	0,025	668	0,004	11,5
Caderousse	Рона	9,5	156	0,061	843	0,011	8,6
Kembs	Рейн	2,8	156	0,018	900	0,003	14,2
Sablons	Рона	7	160	0,044	885	0,008	12,2
Salignac	Дюранс (Рона)	1,18	88	0,013	250	0,005	29
Sauveterre	Рона	7	52	0,135	257	0,027	9,5

муляції в країні. Досвід експлуатації численних ГАЕС в різних країнах світу показує, що на ГАЕС найбільш повно, в порівнянні з іншими технологіями електрогенерації і акумулювання енергії, можна забезпечити якнайширші можливості для регулювання й маневруван-

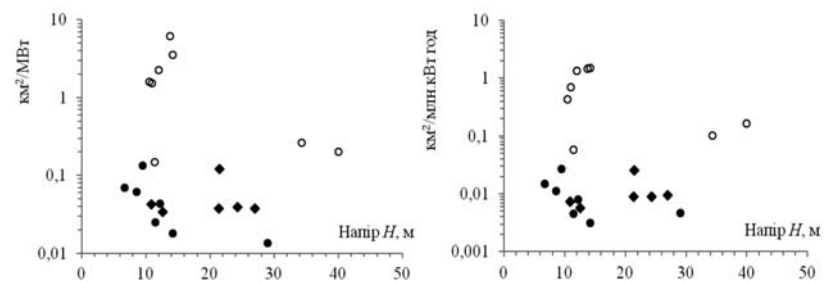


Рис. 1. Порівняння розрахункових водноенергетичних характеристик низько- і середньонапірних ГЕС: \diamond – України, \blacklozenge – Австрії і \bullet – Франції

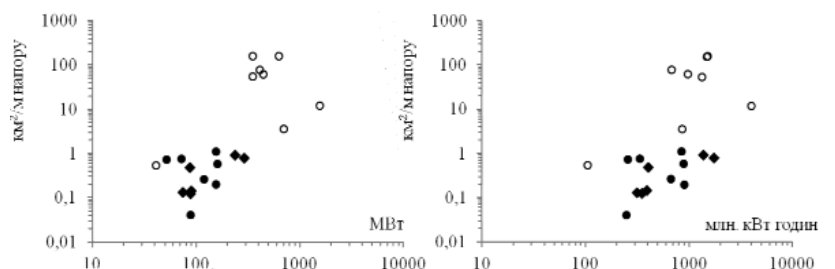


Рис. 2. Залежність відношення площі водосховища до розрахункового напору (км²/м напору) від встановленої потужності (а) та виробітку електроенергії (б) для низько- і середньонапірних ГЕС: \diamond – України, \blacklozenge – Австрії і \bullet – Франції

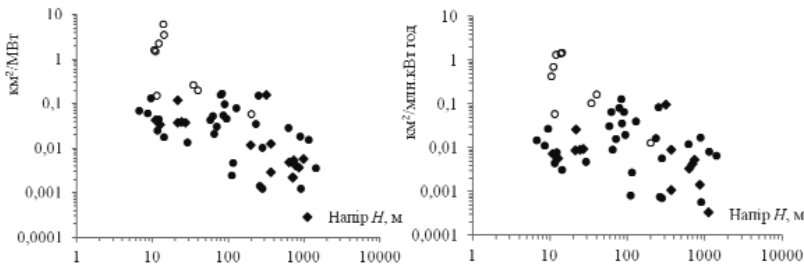


Рис. 3. Залежність відношення площі водосховища до встановленої потужності (км²/МВт) (а) та до виробітку електроенергії (км²/млн. кВт·год.) (б) від розрахункового напору для ГЕС: \diamond – України, \blacklozenge – Австрії і \bullet – Франції

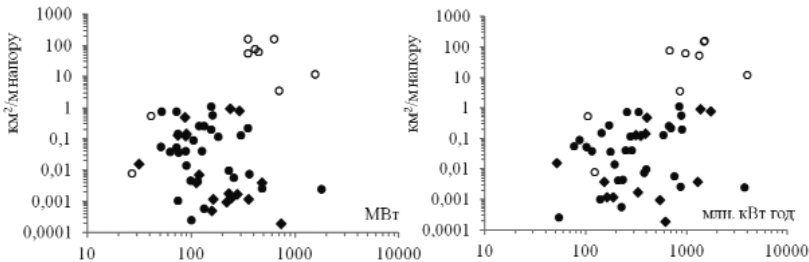


Рис. 4. Залежність відношення площі водосховища до розрахункового напору (км²/м напору) від встановленої потужності (а) та виробітку електроенергії (б) для ГЕС: \diamond – України, \blacklozenge – Австрії і \bullet – Франції

ня встановленими потужностями. Гідроакумуляція забезпечує і більшу незалежність роботи електростанції від відновлюваного енергоресурсу в порівнянні з ГЕС. В перспективі, окрім традиційних схем використання ГАЕС у складі ОЕС, можуть розглядатися схеми використання в якості низових басейнів ГАЕС шахт і кар'єрів, спільну роботу малопотужних (малих) ГАЕС з вітровими і сонячними електростанціями в децентралізованих енергосистемах, в тому числі і міні і мікро ГАЕС в системах водопостачання, іригації тощо.

6. Висновки

1. Проаналізовано стан та особливості освоєння гідроенергетичного потенціалу в світі і в Україні. Виконано порівняльний аналіз відкритих даних щодо основних водноенергетичних характеристик великих ГЕС України, Франції і Австрії та вказано на необхідність перегляду засадничих принципів, на яких мають ґрунтуватися оцінки економічно ефективного гідроенергетичного потенціалу (ЕЕГЕП), розроблятися плани і програми введення нових потужностей гідрогенерації країни в контексті сталого розвитку.

2. Критерії визначення ЕЕГЕП мають залежати не лише від наявності гідроресурсу, доступності створів, сприятливих інженерно-геологічних умов, дешевої робочої сили, місцевих будівельних матеріалів, тощо, а й від соціально-екологічної ситуації в країні, регіоні, басейні ріки. При його визначенні мають також враховуватися можливості альтернативних технологій електрогенерації з відновлюваних джерел.

3. Основною складовою сталого розвитку гідроенергетики в Україні може стати гідроакумуляція. Слід відзначити високу зацікавленість більшості країн світу в прискореному будівництві ГАЕС, які на разі розглядаються як одні з найефективніших і найперспективніших джерел акумуляування електроенергії та регулювання навантажень в ОЕС.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Гідроенергетика* и окружающая среда / Под общ. ред. Ю. Ландау и Л.А. Сиренко. — К.: Либра, 2004. — 484 с.

2. Шидловський А.К. Надійні гідроелектростанції — гарант технологічної безпеки та ефективної експлуатації АЕС та ГЕС / А.К. Шидловський, С.І. Поташник, Г.М. Федоренко. // *Гідроенергетика України*. — 2005. — № 1. — С. 8—11.

3. Базеев Є.Т., Білека Б.Д., Васильєв Є.П. та ін. Розвиток теплоенергетики та гідроенергетики / ; наук. ред. В.М. Клименко, Ю.О. Ландау, І.Я. Сігал. 2013. — 399 с. — <http://energetika.in.ua/ua/books/book-3/part-2/section-2/2-8>.

4. Bartle A. Hydropower potential and development activities / A. Bartle // *Energy Policy*, 2002. Vol. 30. Issue 14. — P. 1231—1239.

5. Стефанишин Д.В. Про перспективи гідроенергетики в Україні та вибір варіанту розвитку Дніпровського каскаду з врахуванням ризику / Д.В. Стефанишин // *Гідроенергетика України*. — 2010. — №3. — С. 5—11.

6. *Removing Dams and Restoring Rivers*. — <http://blogs.ei.columbia.edu/2011/08/29/removing-dams-and-restoring-rivers/>. 7. *Pumped storage plants — Status and perspectives* / P. Vennerman, K.H. Gruber, J.U.Haasheim and al. // *VGB Power Tech*, 2011. No. 4. — P. 32—38.

8. Родионов В.Г. Оптимизация структуры генерирующих мощностей. Аккумуляторы — накопители энергии // *Энергетика: проблемы настоящего и возможности будущего*. — М.: ЭНАС, 2010. — С. 68—69.

9. Rastler et al. *Electric Energy Storage Technology Options: A White Paper Primer on Applications, Costs, and Benefits*. EPRI, Palo Alto, CA, 2010. Accessed: 30 Sept. 2011. — <http://www.epri.com/abstracts/Pages/ProductAbstract.aspx?ProductId=00000000001020676>.

10. *International Energy Statistics*. — <http://www.eia.gov>.

11. *Environmental* experience gained from reservoirs in operation. *Trans. of the 18-th Int. Cong. on Large Dams*. Vol. 2. Q.69. Durban-South Africa, 1994. — 780 p.

12. *Програма розвитку гідроенергетики на період до 2026 року*. Схвалено розпорядженням КМ України від 13.07. 2016 р. № 552-р. — <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/552-2016-%D1%80#n7>.

13. Яцик А.В. *Екологічна безпека в Україні* / А.В. Яцик. — К.: Генеза, 2001. — 216 с.

14. Згуровський М.З. *Сталий розвиток у глобальному і регіональному вимірах: аналіз за даними 2005 р.* / М.З. Згуровський. — К.: Політехніка, 2006. — 84 с.

15. Дрозд І.П. Концепція прийнятності ризику та проблеми забезпечення техногенної безпеки в Україні / І.П. Дрозд, А.С. Охота // *Екологічна безпека та природокористування*: Зб. наук. праць. Вип. 7. КНУБА, ІТГП НАНУ, 2011. — С. 82—108.

16. Стефанишина-Гаврилюк Ю.Д. Прийняття рішень у природокористуванні з урахуванням ризику невикористаних можливостей на підставі попарного порівняння альтернатив / Ю.Д. Стефанишина-Гаврилюк, Д.В. Стефанишин // *Системні дослідження та інформаційні технології*. — 2016. — № 3. — С. 51—62.

17. Реймерс Н.Ф. *Природопользование: Словарь-справочник* / Н.Ф. Реймерс. — М.: Мысль, 1990. — 637 с.

18. Стефанишин Д.В. Соціально-екологічні проблеми відновлення та модернізації малих гідроелектростанцій в Україні / Д.В. Стефанишин // *Гідроенергетика України*. — 2015. — № 1—2. — С. 18—22.

19. Стефанишин Д.В. Про перспективи розвитку вітчизняної гідроенергетики в контексті планів будівництва каскаду гідроелектростанцій у Дніпровському каньйоні / Д.В. Стефанишин // *Екологічна безпека та природокористування*: Зб. наук. праць. Вип. 23 (№ 1—2). Київ: ІТГП НАНУ, КНУБА, 2017. — С. 5—19.

20. Фахівці ЮУАЕС взяли участь у відкритих обговореннях з питань застосування "зеленого" тарифу для Олександрівської ГЕС і інвестпрограм Енергоатома. — <https://www.sunpp.mk.ua/uk/article/5434-fahivci-yuuaes-vzyal-y-uchast-u-vidkrytyh-obgovorenyah-z-pytan-zastosuvannya-ze-lenog>.