

Башлій Сергій Вікторович, доцент, кандидат технічних наук, Запорізький національний університет, ORCID: 0000-0001-9377-4037;

Коваленко Віктор Леонідович, професор, доктор технічних наук, Запорізький національний університет, ORCID: 0000-0001-5950-4412;

Радченко Віталій Васильович, доцент, кандидат технічних наук, Запорізький національний університет, ORCID: 0000-0001-6473-2524;

Верьовкін Олександр Вікторович, начальник електроремонтної служби металообробного виробництва ПАТ "Дніпроважмаш", Дніпро, Україна, ORCID: 0009-0004-4253-9802;

Чабанюк Михайло Юрійович, здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти, Запорізький національний університет, ORCID: 0009-0008-7447-9364.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ В ПРОВІДНИХ КРАЇНАХ СВІТУ

Здійснено порівняльний аналіз ефективності функціонування гідроенергетики у провідних країнах світу. Найкращі показники демонструють держави, де гідроенергетика відіграє роль базового джерела енергопостачання. Важливим фактором підвищення ефективності є наявність гідроакуючих потужностей. Україна належить до країн, що використовують гідроенергетику для забезпечення балансу енергетичної системи.

У сучасних умовах основний акцент у розвитку відновлюваної енергетики, включаючи гідроенергетику, здебільшого робиться на сукупних показниках встановлених потужностей, обсягах нових введених потужностей за рік і, подекуди, на кількості виробленої електроенергії. Однак питання ефективності функціонування гідроенергетики часто залишається поза увагою.

В Україні з 2002 року функціонує Всеукраїнська громадська організація «Асоціація «Укргідроенерго». Стаття спрямована на проведення порівняльного аналізу ефективності функціонування гідроенергетики у провідних країнах світу. Основними завданнями є: визначення ключових факторів, що впливають на ефективність гідроенергетики, аналіз досвіду груп країн-лідерів та розгляд можливості використання цього досвіду для розвитку гідроенергетичного сектора в Україні.

Дослідження базується на методі порівняльного аналізу, оцінюючи ефективність роботи через відношення обсягів виробленої електроенергії до встановленої потужності. Методологічна база включає аналіз природного потенціалу територій (який враховує рельєф і річкову мережу), статистичні дослідження, методи логічного узагальнення та порівняльний аналіз.

Встановлено, що показники ефективності української гідроенергетики зіставні з аналогічними у великих європейських країнах.

Ключові слова: гідроенергетика, використання встановленої потужності, ефективність функціонування гідроенергетики, гідроакуючі потужності, мала гідроенергетика.

Вступ. Упродовж ХХІ століття відновлювана енергетика демонструвала стрімкі темпи розвитку. Завдяки цьому, за підсумками 2017 року, різні галузі відновлюваної енергетики разом забезпечили 24,5 % загальносвітового виробництва електроенергії. Попри високі темпи зростання встановлених потужностей у вітровій та сонячній енергетиці, лідером серед джерел відновлюваної енергії залишається гідроенергетика, яка

виробляє найбільшу частку електроенергії. У 2017 році її частка складала 16,6 % загального обсягу виробленої електроенергії в світі, тоді як на вітрову енергетику припадало 4,0 %, біоенергетику – 2,0 %, сонячну енергетику (фотовольтаїку) – 1,5 %, а на інші види відновлюваної енергетики – 0,4 % [1].

Ефективність функціонування гідроенергетики в провідних країнах світу є важливим показником рівня використання природних ресурсів та впровадження сучасних технологій. Гідроелектростанції забезпечують значну частину світової генерації електроенергії, завдяки чому дозволяють зменшити викиди парникових газів та сприяти загальній екологізації енергетичної галузі. У таких країнах, як Китай, Канада, Бразилія, США та Норвегія, гідроенергетика відіграє ключову роль у забезпеченні енергетичної безпеки та стабільності. Китай, наприклад, є світовим лідером за потужністю гідроелектростанцій, маючи такі об'єкти, як Гребля Трьох Ущелин, яка виробляє величезну кількість енергії. У Канаді гідроенергетика займає суттєву частку в загальному енергобалансі країни завдяки багатим водним ресурсам і інтенсивному розвитку відновлюваної енергетики. Подібна ситуація спостерігається і в Бразилії, де велика кількість річкових систем дозволяє активно використовувати потенціал гідроенергетики. США дотримуються стратегії поєднання різних джерел енергії, проте кілька штатів активно розвивають гідроелектростанції, що надають значний внесок в енергетичну систему країни. Норвегія, своєю чергою, покладається майже виключно на гідроелектроенергію, яка становить основу її енергетичного балансу і робить країну одним із передових з точки зору екологічності. Таким чином, ефективність роботи гідроенергетики в цих країнах визначається високим рівнем технологічного розвитку, стратегічними підходами до управління природними ресурсами та прагненням до енергоефективності й сталого розвитку.

Аналіз джерел інформації і постановка проблеми. У сучасних умовах основний акцент у розвитку відновлюваної енергетики, включаючи гідроенергетику, здебільшого робиться на сукупних показниках встановлених потужностей, обсягах нових введених потужностей за рік і, подекуди, на кількості виробленої електроенергії. Однак питання ефективності функціонування гідроенергетики часто залишається поза увагою. Відсутній порівняльний аналіз щодо ефективності експлуатації гідроенергетичних об'єктів у різних країнах і регіонах. На сьогодні гідроенергетика має низку суттєвих переваг: вона забезпечує виробництво електроенергії з найнижчою собівартістю серед традиційних і альтернативних технологій, виконує роль природного акумулятора у вигляді запасу води в водосховищах чи верхньому басейні гідроакумулюючих станцій, а також виступає оптимальним інструментом для регулювання добових і сезонних навантажень на енергетичну систему. Її раціональне використання відкриває можливості для здешевлення виробництва будь-яких продуктів і досягнення балансу енергосистеми. Аналізуючи сучасні дослідження та публікації, було вивчено дані з щорічних звітів провідних міжнародних організацій, таких як Міжнародна гідроенергетична асоціація (ІНА), Міжнародна агенція з відновлюваної енергії (IRENA), Мережа з відновлюваних джерел енергії REN21, а також Британська нафтова компанія BP.

Звіт ІНА [1] охоплює глобальну ситуацію у сфері гідроенергетики, акцентуючи увагу на 20 країнах-лідерах, які сукупно зосереджують близько 80% світових потужностей (1 015 ГВт із загальних 1 267 ГВт). Документ також містить деталізовану інформацію про окремі регіони: Північна і Центральна Америка [1, с. 49–56], Південна Америка [1, с. 57–64], Африка [1, с. 65–72], Європа [1, с. 73–80], Південна та Центральна Азія [1, с. 81–88], а також Східна Азія з басейном Тихого океану [1, с. 89–97]. Крім того, наведено статистичні дані щодо встановлених потужностей, гідроакумулюючих станцій і обсягів виробленої електроенергії.

Звіт IRENA [2] надає статистику щодо потужностей і обсягів виробництва електроенергії [2, с. 22–27], сегментуючи її на малу [2, с. 28–31], середню [2, с. 32–37] та велику [2, с. 38–43] гідроенергетику. Інший звіт цієї організації фокусується виключно на даних про встановлену потужність на кінець звітного року [3, с. 15–24]. Документ REN21 аналізує введення нових потужностей, роль провідних країн серед світових лідерів, а також обсяги загальних встановлених потужностей [4, с. 57–60]. Зі свого боку Британська нафтова компанія у своєму щорічному звіті подає інформацію про спожиту

гідроелектроенергію, розподіляючи її за регіонами та країнами [5]. Проте жоден із цих оглядів не розглядає питання ефективності експлуатації гідроенергетичних об'єктів.

Мета і завдання дослідження. В Україні з 2002 року функціонує Всеукраїнська громадська організація «Асоціація «Укргідроенерго». На своєму офіційному сайті [7] асоціація публікує інформацію про стан гідроенергетики в Україні, але статистичних даних і аналітичних звітів вона не надає. Стаття спрямована на проведення порівняльного аналізу ефективності функціонування гідроенергетики у провідних країнах світу.

Основними завданнями є:

- визначення ключових факторів, що впливають на ефективність гідроенергетики.
- аналіз досвіду країн-лідерів;
- розгляд можливості використання цього досвіду для розвитку гідроенергетичного сектора в Україні.

Методика проведення досліджень. Дослідження базується на методі порівняльного аналізу, оцінюючи ефективність роботи через відношення обсягів виробленої електроенергії до встановленої потужності. Методологічна база включає аналіз природного потенціалу територій (який враховує рельєф і річкову мережу), статистичні дослідження, методи логічного узагальнення та порівняльний аналіз.

Результати досліджень та їх обговорення. Загалом, найбільшу частку у понад 80 % у первинному споживанні енергії складають викопні джерела енергії: нафта, вугілля та газ, споживання яких кардинально не змінюється протягом більш 10 років (табл. 1). Серед усіх джерел первинної енергії найбільше зросло споживання гідроенергії та відновлювальної енергії, зокрема споживання відновлювальної енергії за аналізований період зросло більш ніж у 20 разів з 2,88 ЕДж у 2000 році до 45,18 ЕДж у 2022 році.

Таблиця 1 – Світове споживання первинної енергії за джерелами у 2015-2022 рр (ЕДж)

Джерела енергії	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
нафта	183,47	187,17	190,32	192,26	192,65	174,99	184,86	190,69
вугілля	157,21	153,77	155,27	157,66	156,72	152,04	160,43	161,47
природний газ	125,24	128,13	131,48	138,08	140,61	138,97	146,41	141,89
ядерна енергія	23,96	24,17	24,24	24,68	25,46	24,40	25,33	24,13
гідроенергія	37,61	38,69	39,00	39,91	40,27	41,21	40,40	40,68
відновлювальна енергія	19,91	22,04	25,29	28,46	31,68	34,87	39,97	45,18
Світ	547,39	553,98	565,60	581,05	587,39	566,49	597,41	604,04

Джерело: побудовано автором на основі [11]

Зростання попиту на первинну енергію сповільнилося порівняно з 2021 роком, збільшившись на 1,1% (6,6 ЕДж) у 2022 році проти 5,5% (30,9 ЕДж) у 2021 році (табл. 2.1.). Первинна енергія у 2022 році була на 16,6 ЕДж вищою за рівень 2019 року до COVID-19 із зростанням споживання в усіх регіонах, крім Європи (-3,8%) і СНД (-5,8%) [11]. Збільшення постачання первинної енергії з 2019 по 2022 рр відбулося в основному за рахунок відновлюваних (за винятком гідро) джерел енергії (13,5 ЕДж) і вугілля (10,6 ЕДж), з підвищенням споживання газу (2,7 ЕДж).

З таблиці 1 можна зробити висновок, що у 2022 році 12% світової енергії було згенеровано за допомогою відновлювальної енергетики, тоді як в 2021 році зелена енергетика забезпечила 10% глобального обсягу.

З позитивного боку, виробництво електроенергії з відновлювальних джерел енергії в 2022 році збільшився більш ніж на понад 500 ТВт год порівняно з 2021 роком (рис. 1), що означає, що вони знаходяться на шляху до задоволення всіх додаткових підвищень глобального попиту на електроенергію протягом наступних двох років.

Як видно з рисунку 1, у світовій структурі виробництва електроенергії все ще домінує викопне паливо, яке забезпечило більш ніж 60% виробництва електроенергії у 2022 році. На вугілля припадало 36% (10317,2 ТВт-год), викопний газ – 22% (6331,4 ТВт-год). Залежність світу від викопної енергії лише незначно знизилася за останні два десяти-

ліття, з 64% у 2000 році до 61% у 2022 році. З 2000 року виробництво вугілля зросло в абсолютному вираженні з 5 719 ТВт-год у 2000 році до 10317 ТВт-год у 2022 році, хоча його частка у виробництві впала з 38% у 2000 році до 36% у 2022 році [12].

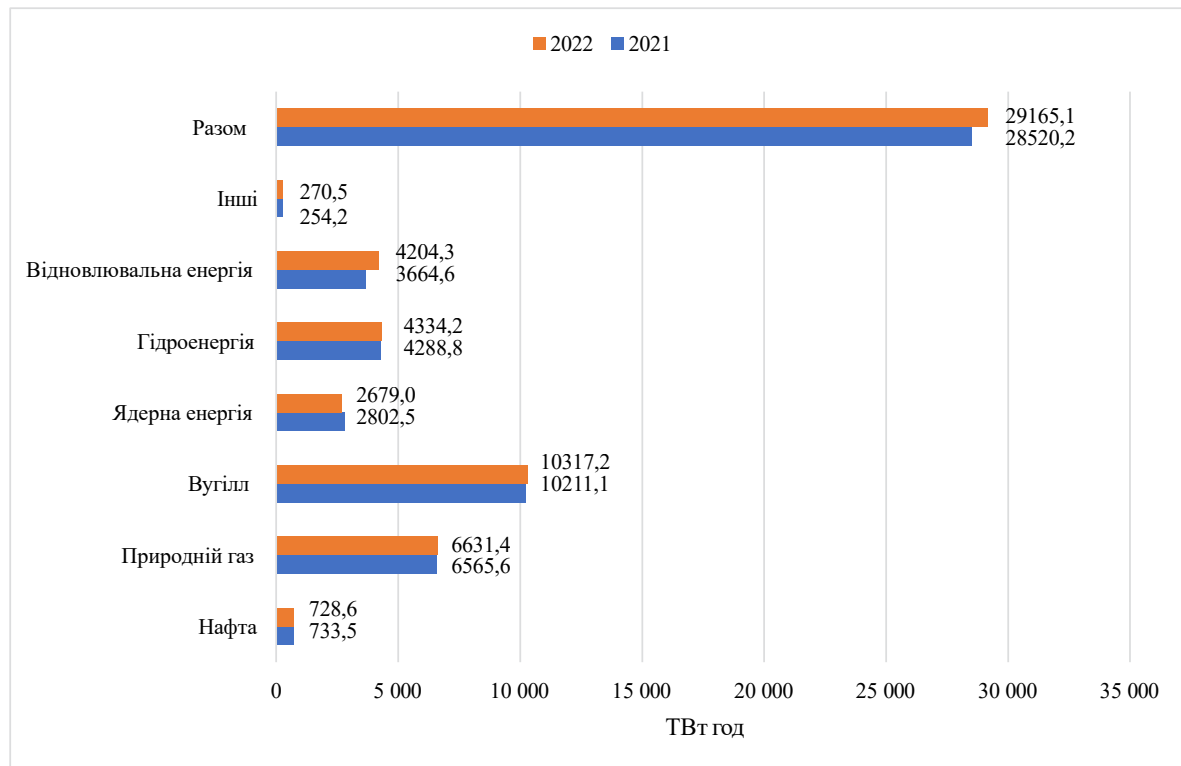


Рисунок 1 – Виробництво електроенергії за видами палива у 2021-2022 рр, ТВт-год

Джерело: побудовано автором на основі [12]

Гідроенергетика залишалася найбільшим джерелом екологічно чистої електроенергії з 15% (4334,2 ТВт-год), а атомна електростанція – другим за величиною джерелом із трохи більше 9% (2679 ТВт-год). Відновлювальна енергетика (вітрова, сонячна енергія, біоенергетика) досягли майже 15% світової електроенергії (4204,2 ТВт-год).

У 2022 році світовий попит на електроенергію досяг нового рекордного максимуму в 28843 ТВт-год. Великі економіки відповідальні за основну частину цього попиту: Китай – 8539 ТВт-год (31%), США – 4128 ТВт-год (15%), Індія 1836 ТВт-год (6%), росії – 1025 ТВт-год (4%) і Японії на 939 ТВт-год (3%). У середньому в усьому світі попит на душу населення становив 3,6 МВт-год у 2022 році, причому деякі великі країни перевищували світовий середній показник на душу населення (США 12 МВт-год, Південна Корея 11 МВт-год, Китай 6 МВт-год) (табл. 2).

Гідроенергетика зберігає найбільшу частку у виробництві відновлюваної електроенергії – 16,6%. Однак її темпи розвитку поступаються таким секторам, як вітрова та сонячна енергетика. У період між 2005 і 2015 роками середньорічний приріст виробництва електроенергії у гідроенергетиці склав 2,9%, а в 2016 році – 2,8%. Натомість вітрова енергетика демонструвала ріст на рівні 23% (2005–2015) і 15,6% у 2016 році, а сонячна – 50,7% і 29,6% відповідно [6].

Попри відносно низькі темпи розвитку, гідроенергетика залишається стабільним і витривалим сектором енергетики. Регіональний аналіз показує, що найвищі темпи зростання гідроенергетичного сектора спостерігалися в Азії. У цій частині світу середньорічний приріст за період 2005–2015 років становив 8%, а в 2016 році – 3,5%. Китай (10,9% і 4% відповідно), В'єтнам (13,2% і 5,7%) та Малайзія (9,9% і 19,5%) лідували за темпами розвитку. Інші регіони суттєво поступаються: у Північній Америці приріст склав лише 0,05% (2005–2015) і 3,5% (2016), у Європі – 0,7% і 3,4%, а в Африці – 2,9% із негативним трендом (-4,3%) у 2016 році.

Таблиця 2 – Країни-лідери у виробництві та споживанні електроенергії у 2022 році

	Країни	Генерація, ТВт·год	Споживання, ТВт·год	Споживання на душу населення, кВт год
1.	Китай	8881,870	8539,690	6 049,0
2.	США	4291,954	4128,177	12377,2
3.	Індія	1760,279	1462,874	1 039,3
4.	Японія	991,367	939,314	7504,3
5.	Бразилія	674,271	583,184	2871,9
6.	Канада	637,996	553,261	14 208,4
7.	Південна Корея	606,760	586,766	11341,6
8.	Німеччина	560,759	507,248	6 013,0
9.	Франція	446,291	425,994	6 248,7
10.	Саудівська Аравія	431,919	393,213	12 221,1
11.	Іран	360,689	315,843	3722,8
12.	Індонезія	337,160	312,423	1136,7
13.	Мексика	333,140	296,969	2343,8
14.	Велика Британія	318,595	287,128	4280,3
....	Україна	112,244	99,690	2431,6

Джерело: сформовано автором на основі [13]

Основною причиною таких відмінностей стали інтенсивні темпи економічного зростання азійських країн у ХХІ столітті та підвищена потреба в енергії. Водночас у розвинених країнах, як-от західноєвропейські держави та США, відзначається вичерпання можливостей для подальшого розвитку гідроенергетики.

Гідроенергетика є одним із найдешевших джерел виробництва електроенергії в порівнянні з іншими технологіями, що робить використання існуючих гідроенергетичних об'єктів вкрай важливим. Для оцінки ефективності гідроенергетики в різних країнах світу було виконано аналіз статистичних даних із звітів Міжнародної асоціації гідроенергетики (ІНА) та ВР. Цей аналіз передбачає співставлення обсягів виробленої електроенергії зі встановленою потужністю гідрооб'єктів.

Ефективність гідроенергетики характеризується відношенням обсягу виробленої електроенергії (у кВт·год/рік) до встановленої потужності (у кВт). Теоретичний максимум значення цього показника становить 8 760 кВт·год/кВт, що відповідає цілодобовій роботі протягом року. Однак фактичні результати є помітно нижчими через вплив різних факторів, зокрема сезонності та технічних обмежень. Серед 20 провідних країн, які сукупно охоплюють близько 80 % світової встановленої потужності гідроенергетики, найвищі показники у 2017 році демонстрували такі держави: Канада (4 980,6 кВт·год/кВт, що відповідає рівню використання потужності 56,9 %), Колумбія (4 683,6 кВт·год/кВт, 53,5 %), Венесуела (4 683,3 кВт·год/кВт, 53,5 %) та Норвегія (4 491,6 кВт·год/кВт, 51,3 %). Дані цих країн наведені у таблиці 3, яка дозволяє провести детальний аналіз ефективності експлуатації гідроенергетичних ресурсів провідних держав світу та України.

У більшості з цих країн гідроенергетика виступає ключовим джерелом енергії, забезпечуючи понад 50% загального виробництва електроенергії. Наприклад, у Норвегії вона становить 95,9%, у Канаді – 61,3%, у Колумбії – 59,9%, а у Венесуелі – 52,9%. Серед європейських країн слід виділити Австрію та Швейцарію. У цих державах гідроенергетика також забезпечує більше половини загального виробництва електроенергії: в Австрії – 58,7%, а у Швейцарії – 51,9%. Водночас рівень використання встановленої потужності тут нижчий за показники вищезазначеної групи країн: в Австрії це 2 712,0 кВт/кВт (31,0%), у Швейцарії – 2 167,0 кВт/кВт (24,7%). Це пояснюється переважно гірським рельєфом цих країн, значною кількістю опадів і наявністю гідроенергетичних об'єктів.

лектростанцій середньої та малої потужностей. Останнім часом в обох країнах активно впроваджують заходи з модернізації енергетичної інфраструктури та підвищення її ефективності завдяки використанню новітнього обладнання.

Таблиця 3 – Ефективність роботи гідроенергетики провідних країн світу та України

Країна	Виробництво електроенергії у 2017 р., млрд кВт·год	Загальна встановлена потужність на кінець 2017 р., МВт	Частка гідроенергетики у загальному виробництві електроенергії, %	Ефективність використання, кВт·год/кВт	Частка використання встановленої потужності, %
Китай	1 194,50	341 190	18,9	3 501,0	40,0
США	322,39	102 867	6,0	3 134,0	35,8
Бразилія	401,06	100 273	66,1	3 999,7	45,7
Канада	403,35	80 985	61,3	4 980,6	56,9
Японія	92,55	49 905	8,0	1 854,5	21,2
Індія	135,54	49 382	9,2	2 744,7	31,3
Норвегія	143,00	31 837	95,9	4 491,6	51,3
Туреччина	59,19	27 273	24,6	2 170,3	24,8
Франція	53,24	25 517	10,8	2 086,5	23,8
Італія	37,53	21 884	14,3	1 715,0	19,6
Іспанія	20,57	20 343	13,0	1 011,2	11,5
Швейцарія	36,67	16 922	51,9	2 167,0	24,7
В'єтнам	59,90	16 679	34,4	3 591,3	41,0
Швеція	63,86	16 466	40,3	3 878,3	44,3
Венесуела	72,09	15 393	52,9	4 683,3	53,5
Австрія	38,05	14 030	58,7	2 712,0	31,0
Мексика	29,83	12 125	9,5	2 460,2	28,1
Іран	16,44	11 811	4,5	1 391,9	15,9
Колумбія	54,92	11 726	59,9	4 683,6	53,5
Україна	12,01	6 785	4,4	1 770,1	20,2

Джерело: розрахунки виконано автором на основі [1, 5]

До окремої групи належать країни, де гідроенергетика виконує балансувальну функцію енергетичної системи: вона допомагає подолати пікові добові й сезонні навантаження. До цієї категорії входять європейські країни, зокрема Франція (2 086,5 кВт/кВт – 23,8%), Італія (1 715,0 кВт/кВт – 19,6%), Іспанія (1 011,2 кВт/кВт – 11,5%), а також Японія (1 854,5 кВт/кВт – 21,2%). Україна також належить до цієї групи як за функцією гідроенергетики (балансування енергосистеми), так і за рівнем ефективності (1 770,1 кВт/кВт – 20,2%).

У країнах із великою територією (росія, Китай, США, Бразилія, Індія) частка гідроенергетики у загальному виробництві електроенергії значно варіюється: від 6% у США до 66,1% у Бразилії. Проте навіть у межах окремих регіонів відмінності можуть бути значними через рельєф місцевості, наявність річок і доступність гідроенергетичних ресурсів. Наприклад, місто Сієтл у США виробляє від гідроенергетики 89% своєї електроенергії – це майже в'ятнадцятеро більше за середній показник по країні.

Ефективність використання гідроенергетики та частка використання встановленої потужності коливаються: в Індії ці показники найнижчі (2 744,7 кВт/кВт – 31,3%), а в Бразилії – найвищі (3 999,7 кВт/кВт – 45,7%). До двадцятки лідерів світової гідро-

енергетики входять ще три країни Азії (В'єтнам, Туреччина, Іран) та Швеція. У Швеції частка електроенергії з гідроенергетики дорівнює 40,3%, а у В'єтнамі – 34,4%.

Країни з вищою ефективністю використання гідроенергетики та коефіцієнтом використання встановленої потужності демонструють помітні переваги. Наприклад, у Швеції ці показники становлять 3 878,3 кВт·год/кВт та 44,3 %, тоді як у В'єтнамі вони досягають 3 591,3 кВт·год/кВт та 41,0 %. У Туреччині гідроенергетика забезпечує майже чверть (24,6 %) виробництва електроенергії. Водночас країна має середні показники ефективності роботи цієї галузі: 2 170,3 кВтмгод/кВт і 24,8 %.

Економіка Ірану значною мірою базується на видобутку нафти та природного газу, тому гідроенергетика відіграє лише допоміжну роль, забезпечуючи лише 4,5 % від загального виробництва електроенергії. Показники ефективності для Ірану становлять 1 391,9 кВт·год/кВт і 15,9 %, випереджаючи лише Іспанію.

Важливою складовою ефективною роботи гідроенергетики в енергосистемах є наявність гідроакumuлюючих потужностей. В Європі вагома частка таких потужностей відзначається в Австрії (37,1 %), Італії (34,5 %), Франції (24,7 %), Швейцарії (18,1 %) та Іспанії (16,4 %). У США цей показник сягає 22,2 %, а в Японії – аж 55,4 %.

Таблиця 4 містить дані про встановлені потужності гідроенергетики та гідроакumuлюючі потужності провідних країн світу і України, що дозволяє оцінити можливості розвитку галузі в майбутньому.

Таблиця 4 – Встановлена потужність гідроенергетики та гідроакumuлююча потужність провідних країн світу та України [16]

Країна	Частка гідроакumuлюючої потужності у загальній встановленій потужності гідроенергетики, %	Гідроакumuлююча потужність на кінець 2017 р., МВт	Загальна встановлена потужність на кінець 2017 р., МВт
Китай	8,4	28 490	341 190
США	22,2	22 809	102 867
Бразилія	0,03	30	100 273
Канада	0,2	177	80 985
Японія	55,4	27 637	49 905
Індія	9,7	4 786	49 382
Норвегія	4,4	1 392	31 837
Туреччина	0	0	27 273
Франція	27,4	6 985	25 517
Італія	34,5	7 555	21 884
Іспанія	16,4	3 329	20 343
Швейцарія	18,1	3 057	16 922
В'єтнам	0	0	16 679
Швеція	0,6	99	16 466
Венесуела	0	0	15 393
Австрія	37,1	5 212	14 030
Мексика	0	0	12 125
Іран	8,8	1 040	11 811
Колумбія	0	0	11 726
Україна	19,4	1 315	6 785

Джерело: розрахунки виконано автором на основі [1].

На противагу цьому, країни, що розвиваються, або ті, де гідроенергетика є базовою джерелом енергії, мають набагато меншу частку гідроакumuлюючих потужностей. Для

прикладу: у Бразилії це становить лише 0,03 %, у Канаді – 0,2 %, а в таких державах як Туреччина, В'єтнам, Венесуела, Мексика та Колумбія вони взагалі відсутні. В Україні частка гідроакумуючих потужностей складає 19,4 % від усієї потужності гідроенергетики. У перспективі вона суттєво зросте після завершення будівництва Дністровської ГАЕС.

Порівнюючи показники України з великими країнами Західної Європи, можна зазначити невелике відставання від Франції та перевагу над Іспанією.

Подальше підвищення ефективності роботи української гідроенергетики слід здійснювати через розвиток малої гідроенергетики із застосуванням сучасного технологічного обладнання та нарощування гідроакумуючих потужностей. Головним завданням залишається поступове вдосконалення цієї галузі для забезпечення сталого енергетичного розвитку країни.

Збільшення встановлених потужностей та обсягів виробництва електроенергії у сфері гідроенергетики України є важливим кроком для забезпечення енергетичної незалежності. Для розвитку гідроакумуючих потужностей доцільно максимально ефективно використовувати існуючі водосховища в басейні річки Дніпро, а також завершити будівництво Дністровської ГАЕС.

Висновки цього дослідження свідчать про результати порівняльного аналізу ефективності роботи гідроенергетики в провідних країнах світу. Найвищу продуктивність демонструють держави, де гідроенергетика виконує роль базової потужності. Серед них лідерами є Канада (ефективність використання встановленої потужності становить 4 980,6 кВт·год/кВт при частці використання 56,9 %), Колумбія (4 683,6 кВт·год/кВт, 53,5 %), Венесуела (4 683,3 кВт·год/кВт, 53,5 %) і Норвегія (4 491,6 кВт·год/кВт, 51,3 %).

Україна знаходиться серед країн, що застосовують гідроенергетику переважно для балансування енергетичної системи. Її показники ефективності (1 770,1 кВт·год/кВт, 20,2 %) зіставні з кількома європейськими країнами: Францією (2 086,5 кВт·год/кВт, 23,8 %), Італією (1 715,0 кВт·год/кВт, 19,6 %) та Іспанією (1 011,2 кВт·год/кВт, 11,5 %).

Крім того, важливим чинником ефективності для країн зі значною регулюючою роллю гідроенергетики є частка гідроакумуючих потужностей. У цьому аспекті Україна (19,4 %) займає проміжне положення між Францією (24,7 %) та Іспанією (16,4 %).

Перспективи розвитку гідроенергетики України рекомендується спрямувати на впровадження малої гідроенергетики та збільшення обсягів встановлених гідроакумуючих потужностей.

Подальші наукові дослідження варто розподілити за окремими напрямками: розвиток великої та малої гідроенергетики, а також посилення гідроакумуючих потужностей. Вивчення досвіду Австрії та Швейцарії може стати корисним у галузі малої гідроенергетики, оскільки ці країни досягли високого рівня у цьому напрямі.

Водночас Японія є прикладом для нарощування потенціалу гідроакумуючих станцій, адже частка ГАЕС у її системі перевищує половину загальних потужностей гідроенергетики.

Бібліографічний перелік

1. Hydropower Status Report 2018. International Hydropower Association (IHA). – London. IHA Central Office, 2018. 104 p.
2. Renewable energy statistics 2017. IRENA Secretariat. International Renewable Energy Agency (IRENA). Abu Dhabi. IRENA Secretariat, 2017. 348 p.
3. Renewable capacity statistics 2017. IRENA Secretariat. International Renewable Energy Agency (IRENA). Abu Dhabi. IRENA Secretariat, 2017. 60 p.
4. Renewable 2017. Global Status Report. REN 21. Paris. REN 21. Secretariat, 2017. 302 p.
5. BP Statistical Review of World Energy 2017 [Electronic resource] : Website BP. URL: <http://www.bp.com/content/dam/bp/excel/Energy-Economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-workbook.xlsx>.
6. Нараєвський С.В. Ефективність роботи гідроенергетики провідних країн світу. [Електронний ресурс]: Сайт електронного журналу «Економіка і суспільство». Випуск 18, 2018, С. 66-72. URL: <https://economyandsociety.in.ua/>

7. Всеукраїнська громадська організація «Асоціація «Укргідроенерго». Новини [Електронний ресурс]: Сайт Всеукраїнської громадської організації «Асоціація «Укргідроенерго». URL: <http://www.ukrhydroenergo.org/>.
8. Електроенергетика України: стан і перспективи. Блог YC. Market (youcontrol.market). URL: <https://blog.youcontrol.market/ieliektroienierghietika-ukrayini-stan-i-pierspiektiv/> (дата звернення: 2 лютого 2024 р).
9. Огляд енергетичного сектору України. URL: <https://www.oecd.org/eurasia/competitiveness-programme/eastern-partners/Monitoring-the-energy-strategy-Ukraine-2035-UKR.pdf> (дата звернення: 15 березня 2024 р).
10. Primary Energy. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Primary_energy (дата звернення: 22 лютого 2024 р).
11. Statistical Review of World Energy. Energy Institute. 72nd edition. 2023. 64 p. URL: https://www.energyinst.org/data/assets/pdf_file/0004/1055542/EI_Stat_Review_P_DF_single_3.pdf (дата звернення: 2 квітня 2024 р).
12. Global Electricity Review. URL: <https://ember-climate.org/app/uploads/2023/04/Global-Electricity-Review-2023.pdf> (дата звернення: 27 квітня 2024 р).
13. Electricity consumption. URL: <https://countrystatistics.com/energy-and-environment/electricity-consumption> (дата звернення: 27 квітня 2024 р).
14. Reforming Ukraine's electricity market. URL: <https://www.lowcarbonukraine.com/wp-content/uploads/Reforming-Ukraines-electricity-market.pdf> (дата звернення: 2 квітня 2024 р).
15. Electricity Market Report 2023. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/255e9c8a-da84-4681-8c1f-458ca1a3d9ca/ElectricityMarketReport2023.pdf> (дата звернення: 20 квітня 2024 р).
16. Виробництво електроенергії в Україні. URL: <https://www.epravda.com.ua/news/2022/01/11/681292/> (дата звернення: 20 квітня 2024 р).
17. Виробництво е/е в Україні. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/vyrobnystvo-ee-v-ukraini-u-sichni-kvitni-2023-roku-zmenshylosia-na-194> (дата звернення: 25 квітня 2024 р).
18. Ukrainian energy sector evaluation and damage assessment – VIII (as of March 24, 2023). URL: https://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/Occasional/2023_03_28_UA_sectoral_evaluation_and_damage_assessment_Version_VIII.pdf (дата звернення: 1 травня 2024 р).
19. Developing Renewable Energy in Ukraine. URL: <https://www.csis.org/analysis/developing-renewable-energy-ukraine> (дата звернення: 5 травня 2024 р).
20. Ministry of economy. URL: <https://www.me.gov.ua/News/Detail?lang=en-GB&id=479ea0f7-64b7-4f15-be37-> (дата звернення: 28 квітня 2024 р).
21. Розвиток ВДЕ України. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/02/21/697267/> (дата звернення: 10 травня 2024 р).
22. USAID Energy Security Project. URL: <https://energysecurityua.org/news/the-usaid-energy-security-project-presented-a-project-of-a-comprehensive-training-program-on-the-use-of-biomethane/> (дата звернення: 10 травня 2024 р).

References

1. Hydropower Status Report 2018. International Hydropower Association (IHA). – London. IHA Central Office, 2018. 104 p.
2. Renewable energy statistics 2017. IRENA Secretariat. International Renewable Energy Agency (IRENA). Abu Dhabi. IRENA Secretariat, 2017. 348 p.
3. Renewable capacity statistics 2017. IRENA Secretariat. International Renewable Energy Agency (IRENA). Abu Dhabi. IRENA Secretariat, 2017. 60 p.
4. Renewables 2017. Global Status Report. REN 21. Paris. REN 21. Secretariat, 2017. 302 p.
5. BP Statistical Review of World Energy 2017 [Electronic resource] : Website BP. URL: <http://www.bp.com/content/dam/bp/excel/EnergyEconomics/statisticalreview2017/bpstatisticalreviewofworldenergy2017-workbook.xlsx>.
6. Narayevsky S.V. Efficiency of hydropower in leading countries of the world. [Electronic resource]: Website of the electronic journal "Economy and Society". Issue 18, 2018, pp. 66-72. URL: <https://economyandsociety.in.ua/>
7. All-Ukrainian public organization "Association "Ukrhydroenergo". News [Electronic resource]: Website of the All-Ukrainian public organization "Association "Ukrhydroenergo". URL: <http://www.ukrhydroenergo.org/>.
8. Electric power industry of Ukraine: state and prospects. Blog YC. Market (youcontrol.market). URL: <https://blog.youcontrol.market/ieliektroienierghietika-ukrayini-stan-i-pierspiektiv/> (accessed February 2, 2024)

9. Ukraine Energy Sector Review. URL: <https://www.oecd.org/eurasia/competitiveness-programme/eastern-partners/Monitoring-the-energy-strategy-Ukraine-2035-UKR.pdf> (accessed March 15, 2024)
10. Primary Energy. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Primary_energy (accessed February 22, 2024)
11. Statistical Review of World Energy. Energy Institute. 72nd edition. 2023. 64 p. URL: https://www.energyinst.org/data/assets/pdf_file/0004/1055542/EI_Stat_Review_PDF_single_3.pdf (accessed April 2, 2024)
12. Global Electricity Review. URL: <https://ember-climate.org/app/uploads/2023/04/Global-Electricity-Review-2023.pdf> (accessed April 27, 2024)
13. Electricity consumption. URL: <https://countryeconomy.com/energy-and-environment/electricity-consumption> (accessed April 27, 2024)
14. Reforming Ukraine's electricity market. URL: <https://www.lowcarbonukraine.com/wp-content/uploads/Reforming-Ukraines-electricity-market.pdf> (accessed April 2, 2024)
15. Electricity Market Report 2023. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/255e9cbada84-4681-8c1f-458ca1a3d9ca/ElectricityMarketReport2023.pdf> (accessed April 20, 2024)
16. Electricity Production in Ukraine. URL: <https://www.epravda.com.ua/news/2022/01/11/681292/> (accessed April 20, 2024)
17. Electricity Production in Ukraine. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/vyrobnytstvo-ee-v-ukraini-u-sichni-kvitni-2023-roku-zmenshylosia-na-194> (accessed on April 25, 2024)
18. Ukrainian energy sector evaluation and damage assessment – VIII (as of March 24, 2023) URL: https://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/Occasional/2023_03_28-UA_sectoral_evaluation_and_damage_assessment_Version_VIII.pdf (accessed on May 1, 2024)
19. Developing Renewable Energy in Ukraine. URL: <https://www.csis.org/analysis/developing-renewable-energy-ukraine> (accessed on May 5, 2024)
20. Ministry of Economy. URL: <https://www.me.gov.ua/News/Detail?lang=en-GB&id=479ea0f7-64b7-4f15-be37-> (accessed: April 28, 2024)
21. Development of Renewable Energy in Ukraine. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/02/21/697267/> (accessed: May 10, 2024)
22. USAID Energy Security Project. URL: <https://energysecurityua.org/news/the-usaid-energy-security-project-presented-a-project-of-a-comprehensive-training-program-on-the-use-of-biomethane/> (accessed: May 10, 2024)

Bashliy Serhiy, associate professor, candidate of technical sciences, Zaporizhzhia National University, ORCID: 0000-0001-9377-4037;

Kovalenko Viktor, professor, doctor of technical sciences, Zaporizhzhia National University, ORCID: 0000-0001-5950-4412;

Radchenko Vitaliy, associate professor, candidate of technical sciences, Zaporizhzhia National University, ORCID: 0000-0001-6473-2524;

Veryovkin Olexsandr, head of the electrical repair service of metalworking production PJSC "Dnirovazhmash", Dnipro, Ukraine, ORCID: 0009-0004-4253-9802;

Chabanyuk Mykhailo, second (master's) level higher education student, Zaporizhzhia National University, ORCID: 0009-0008-7447-9364.

ENGINEERING IN PROVIDING TERRITORIES OF THE WORLD EFFECTIVENESS OF THE FUNCTIONING OF HYDROPOWER

A comparative analysis of the efficiency of hydropower operation in leading countries around the world has been conducted. The best results are demonstrated by countries where hydropower serves as a primary source of energy supply. An important factor in improving efficiency is the presence of pumped storage capacities. Ukraine belongs to the group of countries that use hydropower to maintain the energy system balance.

In today's conditions, the development of renewable energy, including hydropower, largely focuses on aggregate indicators of installed capacity, the volume of newly commissioned capacity per year, and, occasionally, the amount of electricity generated. However, the issue of hydropower efficiency often remains overlooked.

Since 2002, the All-Ukrainian Public Organization "Association Ukrhydroenergo" has been active in Ukraine. The article aims to conduct a comparative analysis of the efficiency of hydropower performance in leading countries. The main objectives are to identify key factors influencing hydropower efficiency, analyze the experience of leading countries, and explore the possibility of applying this experience to the development of Ukraine's hydropower sector.

The research is based on a comparative analysis method, evaluating operational efficiency by the ratio of electricity generated to installed capacity. The methodological foundation includes the analysis of the natural potential of territories (considering relief and river networks), statistical research, methods of logical generalization, and comparative analysis.

It has been established that the efficiency indicators of Ukrainian hydropower are comparable to those of major European countries.

Keywords: hydropower, high-pressure power, efficiency of hydropower, hydroaccumulative power, low hydropower.