

Технічні науки

УДК 697.27:621.365

Фіалко Наталія Михайлівна

*доктор технічних наук, професор,
чл.-кор. НАН України, завідувач відділу
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Fialko Natalia

*Doctor of Technical Sciences, Professor,
Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Head of Department
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

Тимченко Микола Петрович

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Tymchenko Mykola

*Candidate of Technical Sciences (PhD), Senior Researcher
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

СТАН РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ STATE OF DEVELOPMENT OF ENERGY STORAGE TECHNOLOGIES

Анотація. В статті розглянуто питання акумулювання різних видів енергії, що пов'язані значною мірою зі зростанням частки децентралізації генерації. Висвітлено найбільш важливі технології накопичення енергії, що перебувають на різних рівнях науково-дослідних робіт: комерційному, демонстраційному, натурному, впроваджувальному, дослідному.

Ключові слова: децентралізація генерації, акумуляторні станції, технології накопичення енергії, комерційно-технологічна зрілість, капітальні витрати помножені на ризики.

Summary. *The article examines the issue of accumulation of various types of energy, which is largely related to the growth of the share of decentralization of generation. The most important technologies of energy storage, which are at different levels of scientific and research work, are highlighted: commercial, demonstration, full-scale, implementation, research.*

Key words: *decentralization of generation, battery stations, energy storage technologies, commercial and technological maturity, capital costs multiplied by risks.*

Характерною рисою сучасної енергетики є зростання частки децентралізованої генерації і, як наслідок, потреба в акумулюванні різних видів енергії (механічної, теплової, електричної, хімічної, електрохімічної, термохімічної, кінетичної, потенційної тощо) та в деяких випадках в її «ітераційній» трансформації. В країнах з високою часткою генерації відновлюваних джерел енергії (ВДР-генерації) (наприклад, в Данії, Німеччині, Австрії) формуються окремі галузі високотехнологічних накопичувачів енергії.

У США потужність акумуляторів у 2021 році зросла більш ніж утричі і досягла 4,6 ГВт (рис. 1). У ряді країн ресурс накопичувачів енергії (зокрема, їх потужність та сумарна ємність) є помітною часткою електроенергобалансу.

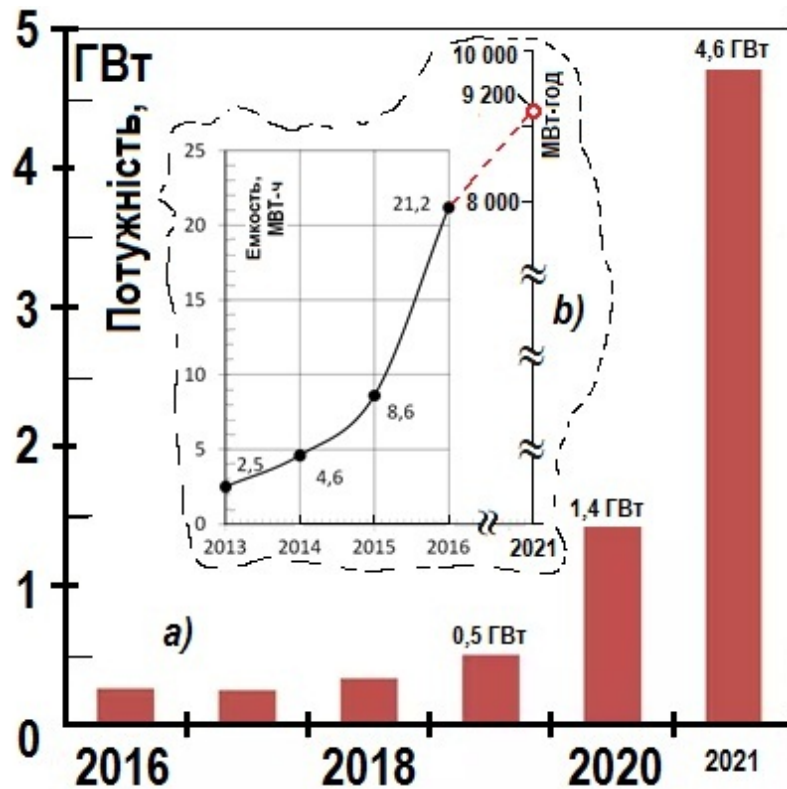


Рис. 1. Динаміка зростання встановлених потужності *a)* та ємності *b)* Li-Ion батарей у США у період 2013-2021 років

Джерело: за даними [2-6]

В табл. 1 наведено список найбільш важливих технологій накопичення енергії, упорядкований за ступенем їх поточної технологічно-комерційної готовності («зрілості», доступності) до впровадження. Усі перераховані у таблиці технології перебувають на різних фазах життєвого циклу науково-дослідних робіт – на дослідній, впроваджувальній, натурній, демонстраційній, комерційній. Перелік технологій накопичення енергії в табл. 1 починається з гідроакumuлюючих електростанцій (ГАЕС) – найбільш відомих та потужних засобів акумуляції, і закінчується пошуковою технологією термохімічного накопичення. Під технологією термохімічного накопичення тут і далі розуміється технологія використання зворотних хімічних реакцій у таких природних та штучних речовинах, як силікагелі, цеоліти та гібридні матеріали [13].

Таблиця 1

Основні технології і засоби накопичення енергії за [4; 6-14]

1	Гідроакumuлюючі електростанції (ГАЕС)
2	Акумуляторні батареї Рb-кислотні
3	"Ямні" накопичувачі
4	Накопичення холодної води
5	Підземні накопичувачі
6	Побутові нагрівачі з накопичувачами
7	Накопичення енергії стиснутого повітря (CAES)
8	Акумуляторні батареї Na-S
9	Накопичення льоду
10	Маховики низькошвидкісні
11	Розплавлена сіль
12	Акумуляторні батареї на основі Li
13	Акумуляторні батареї проточні
14	Маховики високошвидкісні
15	Іоністори (суперконденсатори)
16	Надпровідниковий магнітний акумулятор (SMES)
17	Адіабатичний накопичувач енергії стисненого повітря (CAES)

Технологія термoxiмічного накопичення ще не вийшла за рамки поодиноких малопотужних і відносно дешевих лабораторних установок. Стадії розробок усіх інших технологій зберігання енергії, що розглядаються, розташовуються у діапазоні між вказаними технологіями.

Щодо аналізу технології накопичення енергії, то на особливу увагу заслуговує підхід, згідно з яким вказані технології відображаються параметричною кривою в площині двох комплексних параметрів – «комерційно-технологічна зрілість» та «потреба у капітальних витратах, помножених на ризики». Даний підхід було нещодавно запропоновано Б. Декурром, Р. Дебарре [8-9] при систематизації численних технологій одержання, накопичення водню та його подальшого розподілення і енергетичного використання. Цей підхід поширився на всі види технологій накопичення енергії і застосовується в межах даної роботи.

Створення технологій накопичення енергії та їх впровадження є, як вже відмічалось, пріоритетним завданням сучасних енергетичних секторів промисловості. Велику увагу цьому питанню приділяє міністерство енергетики США (DoE), яке підтримує проект «DoE Global Energy Storage Database» (далі SDB-DoE) [6], що є докладним і мабуть єдиним з певного погляду виданням. На серпень 2017 року SDB-DoE містила відомості про 1636 проектів і діючих об’єктів з технологіями накопичення енергії зі встановленою потужністю 193,293 ГВт із 76 країн та Антарктиди. База включає добре структуровані за 107 ознаками дані про кожний проект або об’єкт накопичення енергії. В SDB-DoE розглядаються п’ять основних типів накопичувальних технологій: електрохімічна, електромеханічна, накопичення теплоти, накопичення водню і гідроаккумуляційна електростанція (ГАЕС). Вказана база даних регулярно, але нерівномірно оновлюється.

На рис. 2 згідно з базою даних SDB-DoE показано ранжування за убубанням потенціалу технології накопичення енергії перших 20 країн із загального списку. За наведеними даними першим трьом країнам списку (КНР, Японія, США) належить майже половина світової потужності акумуляції (43,6 %), а першим 16 країнам (≈ 20 % країн списку) відповідає майже 80 % усього потенціалу акумуляції. Останнє співвідношення відображає принцип (емпіричне правило) Парето, згідно з яким для багатьох явищ ≈ 80 % наслідків спричиняються ≈ 20 % причин.

У табл. 2 наведено оглядові дані щодо характеристик проектів технологій акумуляції тимчасових надлишків енергії на електростанціях, у тому числі VPS – віртуальних електростанцій, згідно з SDB-DoE. В представлених матеріалах враховано накопичувачі основних видів енергії: електричної, теплової, хімічної, гравітаційної, потенційної, кінетичної енергії (у тому числі на основі супермаховиків Гуліа) та енергії стисненого повітря.

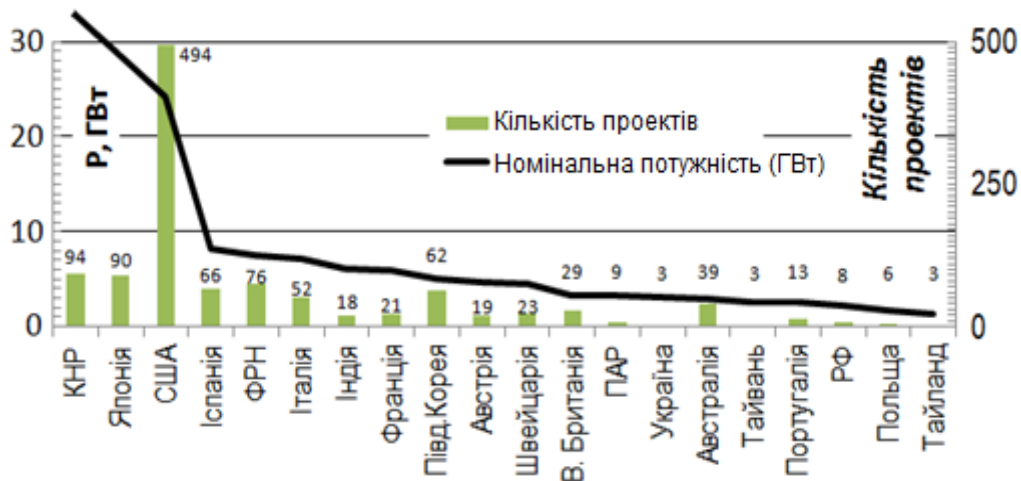


Рис. 2. Ранжування країн за величиною номінальної потужності накопичувальних пристроїв та відомості про кількість проектів з накопичення енергії згідно з SDB-DoE [1]

До недавнього часу вважалося, що в енергетиці найефективнішою технологією накопичення енергії є гідроакumuлювальна. У світі ледве (95,1 %) частка енергії, що акумулюється, належить ГАЕС. В перспективі ситуація може кардинально змінитися у зв'язку з розвитком децентралізованої генерації на базі нетрадиційних відновлюваних джерел енергії (НВДЕ) і відповідним зростанням децентралізованих засобів накопичування енергії. В період 2013-2016 років у США не було побудовано жодної ГАЕС і весь приріст накопичувальної ємності було одержано виключно за рахунок новітніх високотехнологічних станцій акумулювання. Наразі, як можна бачити з табл. 2, бурхливого розвитку набувають технології електрохімічного акумулювання енергії (на базі Li-іонних, Na-S та інших акумуляторів). Наводяться відомості про проекти, які побудовані або будуються. При цьому не враховано бізнес-проекти, число яких стрімко зростає.

**Технології накопичення енергії та встановлена потужність
відповідних накопичувачів (за даними SDB-DoE)**

Тип або приклад технології	Кількість проектів N		Встановлена потужність $P_{вст}$,	
	N	N/N_{Σ} , %	$P_{вст}$, МВт	$P_{вст}/P_{\Sigma}$, %
1. Електрохімічна (Li-іонна, Pb-кислотна, Na-S,...)	993	60,7	3279	1,7
2. Гідроаккумулявальна (на базі ГАЕС)	352	21,5	183800	95,1
3. Накопичення теплоти (холоду)	206	12,6	3622	1,9
4. Електромеханічна (стиснене повітря, маховики)	70	4,3	2616	1,3
5. Накопичення рідкого H_2	13	0,8	18	0,0
6. Накопичення рідкого повітря	2	0,1	5	0,0
Разом	$N_{\Sigma}=1636$	100	$P_{\Sigma}=193340$	100,0

Велику увагу аналізу проблеми технології накопичення енергії приділяє відомий центр з вивчення ринку інновацій Блумберга (США) [14-16]. В Євросоюзі останнім часом питаннями розвитку технологій накопичення енергії опікується Європейська асоціація накопичення енергії. В середині травня 2017 року асоціація повідомила про початок реалізації проекту «Варіанти трансформації та накопичення» тривалістю 2,5 роки з загальним бюджетом 11,8 млн. євро [19]. Однією з його фокусних точок є пошук інноваційних методів і засобів накопичення енергії та визначення сучасної ролі накопичувачів енергії в системах її передачі.

В даний час майже у кожній європейській країні є центри з розробки та впровадження технологій накопичення енергії. В Німеччині – це платформа Agora, у Франції таку функцію виконує Інститут енергії (IE), заснований Schlumberger Business Consulting (SBC) [17-18] тощо.

Можна зробити висновки, що розвиток та впровадження технологій накопичення енергії все більше активно розвиваються у світі. Світ намагається відійти від енергії вуглецевого походження та все більше переходить до ВДЕ та технологій накопичення енергії.

Література

1. Вайт Д. Біла книга щодо трансформації централізованого теплопостачання в Україні: оцінка та рекомендації. Проєкт енергетичної безпеки (ESP). Київ: USAID/Україна, PNNL, Серпень, 2020. 34 с.
2. Фіалко Н.М., Тимченко М.П. Технології накопичення енергії у складі інтелектуальних систем енергозабезпечення. Пром. Теплотехника. 2017. Т. 39, №4. С. 44-54.
3. Gupta A. R. Energy Storage: The Vital Connection in the Next Wave of Energy Transition. 2022. URL: <https://www.energytech.com/energy-storage/article/21244343/energy-storage-the-next-wave-of-energy-transition>
4. DoE Global energy storage database Office of Electricity Delivery & Energy Reliability. URL: <https://www.energystorageexchange.org/projects/>
5. Colthorpe A. Europe’s transmission grid operators back energy storage in EU Electricity Market Reform consultation. BESS (Battery energy storage system). 2023. URL: <https://www.energy-storage.news/europes-transmission-grid-operators-back-energy-storage-in-eu-electricity-market-reform-consultation/>
6. Decourt B., Debarre R. Carbon Capture and Storage: Bringing Carbon Capture and Storage to Market. Series: Leading the energy transition. SBC, Institute Energy, Paris, 2013. 59 p.
7. Decourt B, Debarre R. Electricity Storage: Factbook. Schlumberger Business Consulting Energy Institute, Paris, 2013. 98 p.

8. The future role and challenges of Energy Storage. DG ENER Working Paper. European Commission Directorate-General for Energy. 36 p. URL: https://ec.europa.eu/energy/-sites/ener/files/energy_
9. Technology Roadmap: Energy Storage. IEA, Paris, 2014. 64 p.
10. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А., Матвеев Ю.Б., Кучерук П.П., Крамар В.Г. Дорожня карта розвитку біоенергетики України до 2050 року. Аналітична записка UABIO. 2020. № 26. URL: https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/11/PP-UABIO-26-UA_26-11-2020.pdf
11. Landry M., Gagnon Y. Energy Storage: Technology Applications and Policy Options / In: Energy Procedia. 2015, 79. P. 315-320.
12. E-storage: Shifting from cost to value Wind and solar applications 2016. World Energy Council, 2016. 27 p.
13. Lele F. A. Thermochemical Heat Storage System for Households, Springer International Publishing AG, 2016. 225 p.
14. Liebreich M. Bloomberg: New Energy Finance Summit, New York, 14 April 2015. URL: https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/4/2015/04/BNEF_2014-04-08-ML-Summit-Keynote_Final.pdf
15. Liebreich M. Bloomberg: New Energy Finance Summit, New York, 5 April 2016. URL: <http://www.bbhub.io/bnef/sites/4/2016/04/BNEF-Summit-Keynote-2016.pdf>
16. Liebreich M. Bloomberg: New Energy Finance Summit, New York, 25 April 2017. URL: <https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/04/2017-04-25-Michael-Liebreich-BNEFSummit-Keynote.pdf>
17. Setting the Agenda for Further District Heating Reform in Ukraine (English). Washington, D.C.: World Bank Group. URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/477931583763702822/Setting-the-Agenda-for-Further-District-Heating-Reform-in-Ukraine>

18. "Зелений" тариф: борг "Гарпока" і "Укренерго" - 10 млрд грн. Finbalance. 2022. URL: <https://finbalance.com.ua/news/zeleniy-tarif-borh-harpoka-i-ukrenerho---10-mlrd-hrn>
19. European Green Deal, Fit for 55. URL: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>