

Перспективи розвитку технологій електроакумуляування для забезпечення сталих енергетичних трансформацій в умовах нового ринку електроенергії

Письменна У.Є.

кандидат економічних наук, старший науковий співробітник
ДУ «Інститут економіки та прогнозування НАН України»

Биконя О.С.

науковий співробітник
ДУ «Інститут економіки та прогнозування НАН України»

У статті досліджено інституційні та економічні передумови широкої присутності в енергосистемі України технологій електроакумуляування та вплив розвитку таких технологій на енергетичну сферу та енергетичний баланс України. Визначено передумови ефективного функціонування таких систем на електроенергетичному ринку.

Ключові слова: технології електроакумуляування, енергетичний баланс, ринок електроенергії, ринок системних послуг, відновлювальні джерела енергії.

Письменная У.Е., Быконя А.С. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ЭЛЕКТРОАККУМУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТРАНСФОРМАЦИЙ В УСЛОВИЯХ НОВОГО РЫНКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Статья посвящена институциональным и экономическим предпосылкам широкого присутствия в энергосистеме Украины технологий электроаккумуляирования и влиянию развития таких технологий на энергетическую сферу и энергобаланс Украины. Определены условия эффективного функционирования таких систем на рынке электроэнергии.

Ключевые слова: технологии электроаккумуляирования, энергетический баланс, рынок электроэнергии, рынок системных услуг, возобновляемые источники энергии.

Pysmenna U.Y., Bykonja O.S. THE PROSPECTS OF THE DEVELOPMENT OF POWER STORAGE TECHNOLOGIES TO MAINTAIN THE SUSTAINABLE ENERGY TRANSITIONS IN THE NEW POWER MARKET CONDITIONS

The paper studies the institutional and economic prerequisites of wide presence of power storage technologies at the Ukrainian power market and the impact of their development on the energy sphere and energy balance of Ukraine. Proven is that power storages operation could significantly broaden the market share of renewables and their share in energy mix. Defined are the prerequisites of the effectiveness of such systems within the power market.

Keywords: power storage technologies, energy balance, power market, auxiliary services market, renewables.

Постановка проблеми у загальному вигляді. У переважній більшості країн не існує спеціальних правових режимів підтримки розвитку електроакумуляуючих систем (ЕАС), однак запроваджено державні програми підтримки. Так, існують спеціальні програми фінансування розвитку таких систем для розбудови розосередженої генерації (наприклад, у Німеччині). У 2016 р. США встановили податкові преференції для суб'єктів, що експлуатують батарейні, маховикові накопичувачі, накопичувачі енергії стиснутого повітря та гідроакумуляуючих електростанцій (ГАЕС). Будівництво накопичувачів великої потужності потребує значних інвестицій і все

одно стикається з необхідністю зменшення інвестиційних ризиків. Звичайно ж, актуальними залишаються три специфічних питання для інвестицій в ЕАС будь-якої потужності та балансової належності: ліцензування, підключення до мережі та ціноутворення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питаннями перспектив розвитку електроенергетичної галузі на основі сучасних технологій займалися такі вітчизняні вчені, як Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, С.П. Денисюк, А.В. Праховник [1]. Прогнозуванням можливих сценаріїв подальшого розвитку відновлювальних джерел енергії в Україні займалися О.А. Дячук, М.Г. Чепелєв, Р.З. Подолець,

Г.С. Трипольська [2]. Питання прогнозування потреби в різних технологіях електроакмулювання досліджувалося Майклом Чайлдом та іншими іноземними дослідниками [3; 4]. Натомість питання, пов'язані з перспективами розвитку технологій електроакмулювання в умовах нового ринку електроенергії України для забезпечення сталих енергетичних трансформацій, залишаються відкритими та потребують подальших досліджень.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Мета дослідження полягає у тому, щоб визначити перспективи впровадження технологій електроакмулювання в умовах формування нового ринку електроенергії України, враховуючи сучасні тенденції сталих енергетичних трансформацій.

Виклад основного матеріалу дослідження. Переважною бізнес-моделлю функціонування систем накопичення електроенергії великої потужності у світі є їхня участь у ринку допоміжних послуг. При цьому розвиток таких систем значно пришвидшується за умов:

а) наявності національного плану дій щодо впровадження технологій інтелектуальної енергетики (Smart Grid) або принаймні врахування необхідності спорудження ЕАС у планах розвитку енергосистеми (у Плані розвитку ОЕС України на 2017–2026 рр. [5] таких систем не передбачено);

б) високого паритету цін на балансуємому ринку в години максимального і мінімального навантаження для забезпечення достатнього операційного прибутку від участі в балансуємому ринку (сьогодні гранична ціна системи ОРЕ в години максимального навантаження збільшується майже вдвічі порівняно з її величиною в години мінімального навантаження);

в) комерційних засад функціонування ринку допоміжних системних послуг (конкурентні засади придбання допоміжних системних послуг оператором системи передачі визначено у проекті закону України «Про ринок електричної енергії України» [6] і, як очікується, втіляться у життя з початком роботи нового ринку електроенергії).

Статус суб'єктів, що експлуатують ЕАС, варіює: у деяких країнах визначений як «виробники», у деяких – як «споживачі». Британський регулятор у сфері енергетики (Офіс із питань газових та електроенергетичних ринків – The Office of Gas and Electricity Markets) наголосив на необхідності виділення поняття «накопичувачі електроенергії» у законодавчій та нормативній базі для вирішення закупівлі електроенергії для їхніх технологічних потреб

від інших споживачів. На нашу думку, корисним буде визначення Законом України «Про ринок електричної енергії», Кодексом електричних мереж та новими Правилами ринку таких понять, як «накопичувачі електроенергії», «виробники-споживачі (просьюмери)» разом із поняттями «виробники електричної енергії», «надавачі допоміжних послуг» та «споживачі із регульованим навантаженням».

В Україні ЕАС набувають особливої актуальності як потенційні надавачі системної послуги з первинного регулювання частоти та потужності, достатній резерв якої є однією з умов інтеграції ОЕС України до ENTSO-E (Європейська мережа системних операторів передачі електроенергії – European Network of Transmission System Operators for Electricity).

За діючої моделі енергоринку оцінка економічної ефективності роботи ЕАС ускладнена необхідністю моделювання участі ЕАС у роботі ОЕС України і, відповідно, визначенням обсягу операційного прибутку від надання допоміжних системних послуг. Операційний прибуток від участі в ринку на добу наперед (для гідроакмулюючих електростанцій) нині визначається різницею між оптовою ринковою ціною відповідних годин купівлі (накопичення) та затвердженим тарифом (видачі в мережу). Важливо, якщо такі ж умови закупівлі будуть передбачені й для ЕАС.

Умови появи та ефективної роботи ЕАС у системі регулювання частоти і потужності за нової моделі енергоринку – це повноцінна участь у ринку довгострокових договорів, ринку на добу наперед, балансуємому ринку та ринку допоміжних послуг, а також прозорість ціноутворення на них. Оскільки довгострокового ринку потужності, як і застосування схем підтримки пріоритетної генерації, не передбачатиметься, запорукою ефективної участі ЕАС стануть ринкові механізми.

Ступінь участі ЕАС у цих чотирьох ринках визначатиметься їхньою потужністю та технічною доцільністю і може регулюватися у частині встановлення регулятором граничної нижньої межі обов'язкової купівлі електроенергії на ринку «на добу наперед» для покриття технологічних потреб (на кшталт технологічних потреб гідроакмулюючих електростанцій, визначених п. 3 ст. 67 проекту закону України «Про ринок електричної енергії»).

Теоретично на балансуємому ринку в ЕАС можуть бути дві стратегії подання цінових заявок: 1) максимізація різниці між цінами купівлі й продажу (закупівля електроенергії для накопичення у години мінімального навантаження

і видача в мережу в години максимального навантаження); 2) купівля в години, в які складаються ціни, що нижчі або дорівнюють наперед визначеному значенню, продаж у години, в які складаються ціни, що вищі або дорівнюють наперед визначеному значенню.

Операційний прибуток від участі в балансуєчому ринку визначатиметься різницею між граничною ціною відповідних годин купівлі (накопичення) та продажу (видачі електроенергії в мережу). Активація допоміжних системних послуг здійснюватиметься через балансуєчий ринок. Заявки та пропозиції на балансуєчу енергію, що відповідають попередньо укладеним договорам на готовність із надання послуг у разі прийняття оплачуються за граничною ціною. Активація буде здійснюватися на основі наявних більш дешевих пропозицій із продажу, кожного разу забезпечуючи відповідність необхідному часу активації.

Розвиток ЕАС у складі балансуєчої групи відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), розосередженої генерації та для електропостачання промислових об'єктів значно пришвидшується за умов:

а) участі у їх будівництві традиційних енергогенеруючих компаній, які або диверсифікують діяльність за рахунок ВДЕ, або потребують більшої балансуєчої потужності;

б) участі енергопостачальних компаній (операторів розподільчих мереж) для поліпшення стабільності розподільчих мереж та промислових споживачів для збільшення надійності електропостачання та безперервності виробничого процесу;

в) збільшення відповідальності за небаланс суб'єктів відновлювальної електроенергетики та споживачів із різко нерівномірним графіком споживання;

г) наявності планів із розвитку «віртуальних електростанцій» та формування інтелектуальної енергетичної системи [1].

Згідно з проектом закону України «Про ринок електричної енергії», починаючи з 2025 р. скасовується нижня межа відповідальності за відхилення від добового графіку відпуску електроенергії (10% для вітрових електростанцій та 5% для сонячних електростанцій у складі балансуєчих груп) та настає 100% фінансова відповідальність за небаланс. Така величина і межа відповідальності є порівняними з практикою європейських країн, що само по собі є достатнім стимулом до розвитку ЕАС у складі змінної енергогенерації. Додатковим стимулом може бути скасування плати за небаланси у разі встановлення та

використання ЕАС узгодженої потужності при об'єктах ВДЕ. Однак таке нововведення потребуватиме жорсткого механізму контролю над використанням ЕАС суб'єктами, що експлуатують ВДЕ. Застосування ЕАС у складі балансуєчих груп суттєво збільшує загальну присутність ВДЕ в електробалансі.

Моделювання участі ЕАС у роботі ВДЕ для оцінки необхідної потужності накопичувачів електроенергії здійснюється шляхом побудови декількох сценаріїв гнучкості енергосистеми (низька, середня та висока) з такими вхідними параметрами: встановлена енергогенеруюча потужність та технічний мінімум в енергосистемі, коефіцієнт щільності навантаження енергосистеми, відсоток кожного виду ВДЕ в електробалансі, частка електромобілів у загальній кількості автомобілів, усереднена вартість виробництва електроенергії з ВДЕ.

Прогнозування можливих сценаріїв присутності енергогенерації з відновлювальних джерел енергії в електробалансі України нині виконується в Державній установі «Інститут економіки та прогнозування НАН України» в рамках дослідження «Революційний сценарій розвитку енергетики України» та досліджень щодо можливостей переходу України на відновлювану енергетику до 2050 р. [2]. Сценарій повного переходу ОЕС України на відновлювальні технології виробництва електроенергії до 2050 р. та прогнозування відповідної потреби у різних технологіях електроакумуляції виконано Майклом Чайльдом та ін. з Lappeenranta University of Technology з використанням прогнозної моделі LUT [3; 4]. Згідно з ним, обсяг електроенергії, що буде видаватися ЕАС усіх видів, становитиме 3% нетто-споживання в енергосистемі (з них 2% – батарейні) у 2030 р. та 23% у 2050 р. До 2030 р. не передбачається широкого використання інших видів ЕАС, окрім ГАЕС, та появи значної кількості просьюмерів (активних споживачів). Наголошується на необхідності початку експлуатації до 2050 р. ЕАС типу power-to-gas (на основі виробництва синтетичного метану) для регулювання сезонних коливань енергоспоживання. Прогнозується подальше зниження CAPEX батарейних ЕАС із 300 євро/кВт•год у 2020 р. до 150 євро у 2030 р. та 75 євро у 2050 р. (табл. 1) [3].

Розглянемо функціонування ЕАС малої потужності у активних споживачів. Енергоринок Великої Британії у 2020 р. очікує досягнення рівня 30–50% участі регульованого навантаження споживачів у балансуванні. Важливим елементом оптимізації енергопроцесів у сучасних системах є зростання ролі активного

Таблиця 1

Оцінка основних показників технологій електроакумуляції

Технологія	Показник	од.вим.	2020	2030	2040	2050
Літій-іонні стаціонарні батареї	CAPEX	євро/кВт·год	300	150	100	75
	OPEX пост	євро/кВт·год	9	3,75	2,5	1,875
	OPEX змін	євро/кВт·год	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
	Строк експл.	років	20	20	20	20
	ККД вх	%	96	96	96	96
	ККД вих	%	96	96	96	96
ГАЕС	CAPEX	євро/кВт·год	70	70	70	70
	OPEX пост	євро/кВт·год	11	11	11	11
	OPEX змін	євро/кВт·год	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
	Строк експл.	років	50	50	50	50
	ККД вх	%	92	92	92	92
	ККД вих	%	92	92	92	92
Адіабатичні пневматичні	CAPEX	євро/кВт·год	35	31,1	29,8	26,3
	OPEX пост	євро/кВт·год	0,46	0,4	0,39	0,34
	OPEX змін	євро/кВт·год	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012
	Строк експл.	років	55	55	55	55
	ККД вх	%	84	84	84	84
	ККД вих	%	84	84	84	84
Водневі	CAPEX	євро/кВт·год	1	1	1	1
	OPEX пост	євро/кВт·год	0,02	0,02	0,02	0,02
	Строк експл.	років	50	50	50	50
Метанові	CAPEX	євро/кВт·год	0,05	0,05	0,05	0,05
	OPEX пост	євро/кВт·год	0,001	0,001	0,001	0,001
	Строк експл.	років	50	50	50	50

Джерело: складено за даними [3; 4]

споживача, який стає самостійним гравцем на ринку. В Україні це поки здебільшого промисловий споживач, тому актуальним є розроблення нормативно-методичного та алгоритмічного забезпечення ефективно сумісної роботи генераторів електричної енергії (як централізованої, так і розосереджених джерел) та споживача, який має власні генеруючі потужності. Використання ЕАС дає можливість активному споживачеві виходячи зі своїх потреб оптимізувати свій режим електроспоживання як для мінімізації витрат на електроенергію, так і для отримання доходу від продажу електроенергії.

Поглиблення зацікавленості споживачів у перенесенні навантаження в непікові періоди шляхом зменшення тарифного коефіцієнту для непікових періодів та зняття обмеження на обсяг споживання у нічний період є дієвим. За зміни різниці у вартості електричної енергії у нічні та пікові години доби на 1 грн./кВт·год навантаження споживачів, що регулюють свій попит на електричну потужність, збільшується приблизно на 5% уночі та знижується на 6% у пікові години доби. З майбутнім розвитком спотового ринку електроенергії, розширенням рин-

ків потужності та енергії до кінцевого споживача відбудеться подальша диференціація тарифів за часом доби (погодинно) і тарифікація у режимі реального часу, що уможливить вихід на цей ринок побутових споживачів і збільшить попит у системах накопичення електроенергії.

Висновки з цього дослідження. Переважна бізнес-модель функціонування систем накопичення електроенергії великої потужності у світі – участь у ринку допоміжних системних послуг. В Україні ЕАС набувають особливої актуальності потенційні надавачі системної послуги з первинного регулювання частоти та потужності, достатній резерв якої є однією з умов інтеграції ОЕС України до енергетичної системи ЄС. Для ефективної участі ЕАС у системі регулювання частоти і потужності необхідний початок функціонування нового ринку електричної енергії з участю ЕАС у ринках довгострокових договорів, на добу наперед, балансуючому ринку та ринку допоміжних послуг. Необхідне визначення статусу накопичувачів електроенергії – учасників ринку в нормативно-правовій базі та, зокрема, у нових Правилах ринку та порядку їхньої участі в рин-

ках для підкреслення значущості таких учасників для забезпечення системної надійності, а також формування чітких цінових сигналів.

Для подальшого збільшення частки відновлювальних джерел в енергобалансі, розвитку електроакумуляюючих систем та їх інтеграції до Об'єднаної енергетичної системи України з урахуванням необхідних параметрів якості та надійності постачання електроенергії доцільним є впровадження технологій інтелектуальних електромереж (Smart Grid). Необхідне застосування нового організаційно-економічного механізму щодо формування інтелектуальної енергетичної системи України.

За діючої моделі ринку поява й участь ЕАС інших типів, аніж діючий нині гідроакумуляюючий тип, можливі лише за умови надання можливості закупати електроенергію для накопичення на оптовому ринку електричної енергії за погодинними цінами.

Величина і межа відповідальності за небаланс, установлена проектом закону України «Про ринок електричної енергії» є порівняними з практикою світових енергоринків, що само по собі є достатнім стимулом до розвитку ЕАС у складі змінної енергогенерації. Додатковим стимулом може бути скасування плати за небаланси в разі встановлення та використання ЕАС відповідної потужності при об'єкті ВДЕ, проте має діяти жорсткий механізм контролю використання ЕАС.

Для стимулювання збільшення числа активних споживачів в енергосистемі, що має значно розширити використання ЕАС, у деяких країнах запроваджують податкові преференції та державні програми кредитування, однак головним стимулом є розвиток пов'язаної енерготехнології – децентралізованої генерації шляхом застосування зеленого тарифу.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Денисюк С.П., Праховник А.В. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні. Технічна електродинаміка. 2012. № 5. С. 52–67.
2. Перехід України на відновлювану енергетику до 2050 року / О. Дячук, М. Чепелєв, Р. Подолець, Г. Трипольська та ін.; за заг. ред. Ю. Огаренко та О. Алієвої. Київ: АРТ КНИГА, 2017. 88 с.
3. Michael Child et al. The role of storage technologies for the transition to a 100% renewable energy system in Ukraine. Lappeenranta University of Technology. URL: https://www.researchgate.net/publication/315117520_The_role_of_storage_technologies_for_the_transition_to_a_100_renewable_energy_system_in_Ukraine.
4. Michael Child et al. The role of storage technologies for the transition to a 100% renewable energy system in Ukraine – Supplementary Material. Lappeenranta University of Technology. URL: https://www.researchgate.net/publication/313255514_Role_of_storage_technologies_for_the_transition_to_a_100_renewable_energy_system_in_Ukraine_-_Supplementary_Material?ev=prf_high.
5. План розвитку ОЕС України на 2017–2026 рр. ДП НЕК Укренерго. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2016/12/Projekt-Planu-rozvytku-OES-Ukrayiny-na-2017-2026-roky.pdf>.
6. Про ринок електричної енергії України: проект закону України від 13.04.2017 № 2019-VIII / Верховна Рада України. URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>.

REFERENCES:

1. Stohnii B.S., Kyrylenko O.V., Denysiuk S.P., Prakhovnyk A.V. (2012) Evoliutsiia intelektualnykh elektrychnykh merezh ta yikhni perspektyvy v Ukraini [The evolution of intelligent electrical networks and their prospects in Ukraine]. *Tekhnichna elektrodynamika*, no. 5, pp. 52-67.
2. Diachuk O., Chepeliev M., Podolets R., Trypolska H. et al. (2017) *Perekhid Ukrainy na vidnovliuvanu enerhetyku do 2050 roku* [Ukraine's transition to renewable energy by 2050]. Kyiv: ART KNYHA. (in Ukrainian)
3. Michael Child et al. The role of storage technologies for the transition to a 100% renewable energy system in Ukraine. Lappeenranta University of Technology. URL: https://www.researchgate.net/publication/315117520_The_role_of_storage_technologies_for_the_transition_to_a_100_renewable_energy_system_in_Ukraine.
4. Michael Child et al. The role of storage technologies for the transition to a 100% renewable energy system in Ukraine – Supplementary Material. Lappeenranta University of Technology. URL: https://www.researchgate.net/publication/313255514_Role_of_storage_technologies_for_the_transition_to_a_100_renewable_energy_system_in_Ukraine_-_Supplementary_Material?ev=prf_high.
5. State enterprise National power company Ukrenergo (2016) *Plan rozvytku OES Ukrainy na 2017-2026 rr.* [Plan for the development of the UES of Ukraine for 2017-2026], Kyiv: Ukrenergo. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2016/12/Projekt-Planu-rozvytku-OES-Ukrayiny-na-2017-2026-roky.pdf>.
6. Pro rynek elektrychnoi enerhii Ukrainy: Zakonu Ukrainy vid 13.04.2017 № 2019-VIII / Verkhovna Rada Ukrainy. URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>.