

## РОЗДІЛ 2. ЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ, МЕРЕЖІ ТА КЕРУВАННЯ НИМИ

### ЛІКВІДАЦІЯ НЕБАЛАНСУ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ ЗАСОБАМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

**Барабаш А. В., студент, Кирик В. В., д.т.н., професор**

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних мереж та систем*

**Вступ.** Проблема небалансу в електричній мережі має досить значний рівень актуальності з огляду на сучасні події. У зв'язку з енергетичним терором, постійними обстрілами в умовах стохастичної зміни навантаження споживачами електричної енергії, енергетична система України функціонує на межі «живучості». Відповідно напруга постійно коливається і відхиляється від її номінальних значень, споживання та генерація складно піддаються можливості контролю операторами систем розподілу (ОСР). Ці відхилення призводять до погіршення або виходу з ладу електричного обладнання ОСР та споживачів електричної енергії. Саме тому розгляд питання ліквідації небалансу потужності має практичну доцільність і обґрунтованість. Для його вирішення варто розглянути можливість використання більш зваженого контролю видачі та споживання електроенергії, а також застосування накопичувачів електроенергії. Варто зазначити, що можливість використання накопичувачів електроенергії дозволяє покращити управління різними режимами роботи енергосистем та підвищити їх енергоефективність. Такі системи накопичують енергію в період меншого споживання (зазвичай вночі), коли в енергосистемі присутній надлишок, а потім віддають у періоди дефіциту в енергосистемі, це в свою чергу допомагає ОСР вирівняти графік електричного навантаження в періоди максимального навантаження енергосистеми.

На теперішній час активно впроваджуються нові типи потужних систем накопичення енергії, які поступово удосконалюються та використовуються в енергосистемах інших країн. Тема різновидів систем накопичення енергії є актуальною для наукового осмислення та прийняття виважених рішень практичного впровадження.

**Мета дослідження.** Аналіз можливості усунення небалансу потужності та падіння напруги в електричній мережі за рахунок встановлення потужних систем накопичення енергії і визначення їх здатності підтримувати допустимі відхилення напруги. Оцінити поточний стан і перспективи розвитку систем зберігання енергії.

**Матеріали та результати досліджень.** Беручи до уваги те, що через безперервні зміни електричного навантаження в мережі напруга регулярно відхиляється від заданих норм та варіюється за межами нормального режиму напруги, виникає необхідність у застосуванні засобів для її регулювання. Станом на зараз такі засоби включають:

- генератори на електростанціях, трансформатори з пристроями регулювання напруги під навантаженням (РПН) та без навантаження (ПБВ);
- компенсуючі пристрої, які виробляють (батареї конденсаторів, синхронні компенсатори в режимі перезбудження) та споживають (реактори, синхронні компенсатори в режимі недозбудження) реактивну потужність;
- лінійні регулятори та вольтододаткові трансформатори ;
- накопичувачі електричної енергії (електромагнітні, механічні, теплові, хімічні та інші) [1, с. 68].

Встановлення поданих систем забезпечує можливості для регулювання напруги відповідно до встановлених норм. Згідно чинних нормативних документів зміна напруги не повинна перевищувати  $\pm 10\%$  від величини номінальної напруги [2].

Тенденція переходу на відновлювальні джерела енергії, як один з основних видів генерації електроенергії, актуалізує питання накопичувачів оскільки режими виробництва та видачі електричної енергії ВДЕ в мережу мають не постійний, а змінний характер (залежить від погодних умов), що є однією з головних проблем для їхньої інтеграції в електричну мережу. Введення ВДЕ в електричну мережу дозволить забезпечити регіони з обмеженими енергоресурсами, відновлювальною екологічною чистою електроенергією, в свою чергу це дозволить зменшити шкідливі відходи в природу та також дає значні можливості для того щоб мінімізувати витрати на передачу електроенергії до споживача. Надпотужні накопичувачі здатні зберігати електроенергію та забезпечувати тривалу віддачу енергії в мережу. Оскільки в мережах потрібно керувати енергетичними потоками, які можуть досягати десятків та сотень МегаВатт, використання таких накопичувачів можна вважати необхідною частиною енергетичної системи. Це в свою чергу дасть можливість впровадження в мережу відновлювальних джерел великої потужності та буде сприяти стабільному та безперервному електропостачанню, що в свою чергу спричинить покращення якості електроенергії, зменшить коливання потужності та зможе вирівняти графіки навантажень.

Для того щоб вирівнювати споживання та генерацію, накопичувачу енергії необхідно віддавати накопичену електроенергію, яка вже була збережена в час коли навантаження мережі було низьким, та використати цю енергію під час пікових навантажень мережі і за рахунок цього усунути небаланс в мережі. Практика використання СНЕ в існуючих електричних мережах дозволила зробити висновки, що з впровадженням їх в мережу можна збільшити продуктивність мережі, підвищити її надійність. При цьому також можливо використовувати відновлювальні джерела енергії в повному обсязі компенсуючі їхні недоліки. В свою чергу це забезпечує усунення небалансу електричної мережі в результаті чого підвищується якість електроенергії, заощаджуються кошти, і відповідно знижуються витрати. Під час виникнення аварій в електричній мережі СНЕ забезпечують безперебійність постачання електричної енергії.

Наведемо ключові види систем накопичення енергії, які вже пройшли практичне випробування в існуючих електричних системах.

Розповсюдженим засобом накопичення енергії є літій-іонні акумулятори, які використовують іони літію в електрохімічних системах і застосовуються для заміщення резерву потужності. Наведені системи широко використовуються в сонячних системах, особливо в умовах, коли сонячна енергія повинна використовуватися вночі або під час низької сонячної активності. Саме цей тип акумуляторів в рамках електрохімічних акумуляторів є широкоживим, оскільки він має високий (90-95%) коефіцієнт корисної дії під час заряджання та розряджання. На противагу цьому, ККД іншого типу електрохімічних акумуляторів – свинцево-кислотних коливається в межах 60-80 %. Подібна акумуляторна батарея продемонструвала свою успішність в регіоні Південної Австралії.

За технологією, яка використовується в автомобілях, всесвітньовідома компанія “Tesla” розробила та встановила одну з найбільших одиночних батарей, яка складається з літій-іонних блоків та виконує роль накопичувача енергії. За даними розробників, такий акумулятор може використовуватись протягом мільйонів годин, допомагає у процесі переходу на вітрові та сонячні ресурси, які на національному енергоринку Австралії є найдешевшими для споживачів, що дозволяє зекономити кошти громадян [3].

Ще одним типом накопичувачів, який експерти вже характеризують як революційний, є проточні акумулятори, принцип роботи яких зображений на рис. 1. Сам акумулятор складається з двох хімічних компонентів, які розділені мембраною, під час перенесення іонів через яку здійснюється заряд і розряд акумуляторів.

Великою перевагою проточних акумуляторів є можливість зберігання електроліту в контейнері окремо від електродів. Для того, щоб збільшити ємність батареї, необхідно збільшити об'єм контейнера. Це робить акумулятор ідеально придатним для зберігання великих запасів енергії. Переважна більшість існуючих моделей проточних акумуляторів складається з іонів ванадію, тобто ванадієвої електролітичної рідини, яка є поширеним у природі хімічним елементом. Ванадій є легкодоступним елементом у багатьох різних мінералах, які легко видобувати.

На відміну від вищезгаданих літій-іонних батарей, ванадієві акумулятори екологічно безпечні, оскільки їх використання, переробка та подальша утилізація не потребують великих зусиль та не супроводжуються шкідливими викидами в атмосферу. У складі літій-іонних батарей є такі токсичні метали, як кобальт і марганець. Не лише видобуток цих металів завдає шкоди навколишньому середовищу, оскільки призводить до вимивання токсичних важких металів з шахт і спричиняє значну втрату середовища існування, а й збірка цих металів в батареї супроводжується викидом руйнівних для планети випарів вуглекислого газу [4]. Наразі використання акумуляторів такого типу зіштовхується з двома головними недоліками – фінансові витрати на хімікати значної густини та нижча ефективність порівняно з літій-іонними акумуляторами. Для вирішення першої проблеми вчені працюють над окислювально-відновлюваним акумулятором з органічним електролітом, що не вимагає значних витрат.

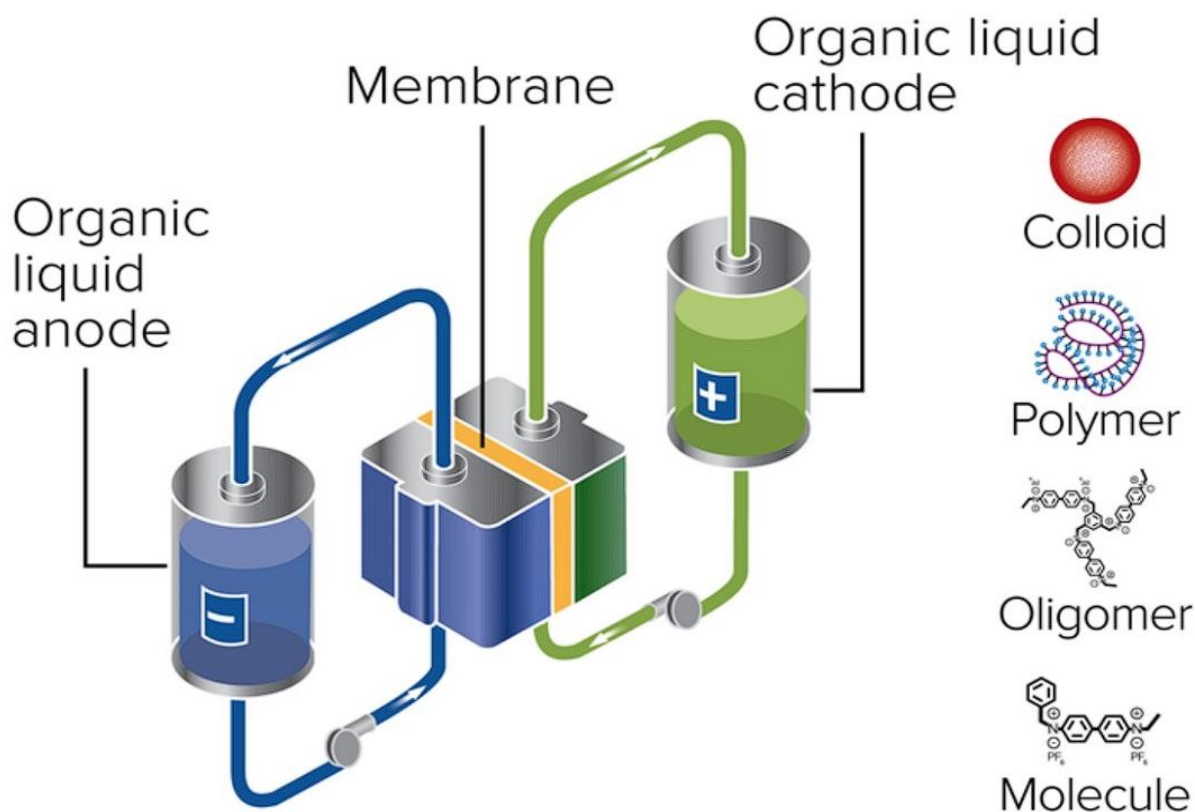


Рисунок 1 – Технологічна схема проточного акумулятора

Наступний тип систем це системи зберігання енергії на стисненому повітрі, які працюють шляхом стиснення повітря та його зберігання під високим тиском у великій спеціалізованій ємності. Принцип їх роботи зображено на рис. 2. Енергетична установка, яка акумулює енергію стислого повітря (compressed air energy storage, CAES) здійснює зберігання стисненого повітря у геологічних підземних порожнинах (наприклад, соляних кавернах) або у спеціальних резервуарах, при нестачі потужності стиснене повітря із сховища через відповідну систему підігріву подається на турбогенератор електростанції [5, с. 237].

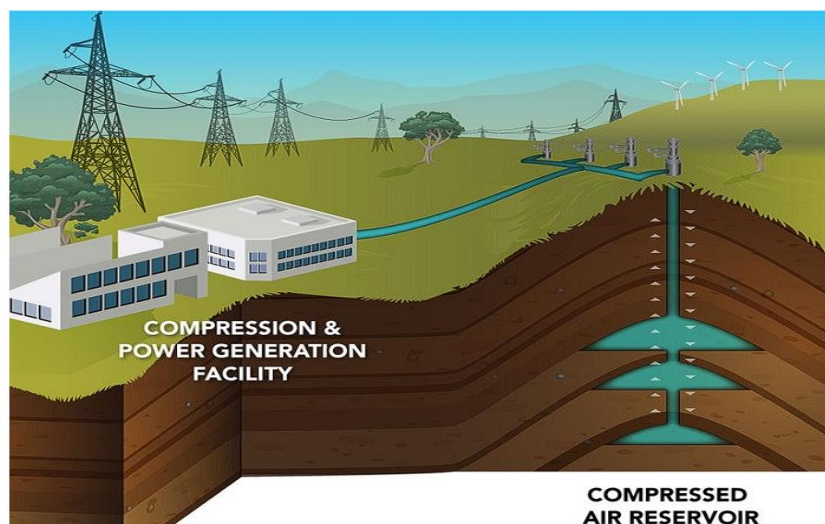


Рисунок 2 – Зберігання енергії за рахунок стисненого повітря

Компанія Hydrostor, яка виробляє вдосконалені системи накопичення енергії на стисненому повітрі, подала вже другу заявку на ліцензування проекту системи потужністю 500 МВт/4000 МВт-год до Каліфорнійської енергетичної комісії, більше того,

компанія Hydrostor розробила запатентовану технологію систем накопичення енергії на стисненому повітрі і вже реалізувала поданий комерційний демонстраційний проект в Онтаріо [6].

Гідроакумуляційні електростанції є одним із найрозповсюджених та перевірених часом методів накопичення енергії які можуть упродовж тривалого часу зберігати великі об'єми електроенергії. Передбачення будівництва ГАЕС як різновиду енергонакопичувачів великої ємності залежить від наявних природних водойм і потребує значних коштів для реалізації штучних водойм. Сумарна встановлена потужність ГАЕС в світі на сьогодні складає близько 165 ГВт. В Україні успішно використовується низка ГАЕС потужністю понад 2000 МВт: Дністровська ГАЕС, Київська ГАЕС, Ташлицька ГАЕС.

Розглядаючи відновлювальні джерела енергії, треба зазначити, що стохастичний характер генерації ВДЕ вимагає технічних рішень для досягнення умови стабільності, перманентності генерації. У даному випадку слід застосовувати накопичувачі саме великої енергоємності такі як ГАЕС або системи накопичення енергії на стисненому повітрі. Це дасть можливість виключити стохастичний характер генерації та спростити керування потоками потужності від відновлюваних джерел енергії [7, с. 33]. Як показала світова практика технології накопичення енергії на виході в мережу дають якісну електроенергію, яка не перешкоджає роботі ОЕС, а навпаки допомагає вже існуючим пристроям регулювання стабілізувати енергетичну систему та запобігти небалансу в мережі.

**Висновки.** Технології накопичення енергії розвиваються досить стрімко, вони є незамінною складовою сучасної енергетики, і їхнє застосування в управлінні енергетичними системами зростає. Результат дослідження проєктів світових лідерів зі створення систем накопичення енергії показав, що завдяки їм можна зменшити витрати, збільшити якість електроенергії, та запобігти перебою електропостачання у разі виникнення аварійних ситуацій. Розгляд передових світових розробок у технологіях накопичення електроенергії, показує що необхідність використання потужних накопичувачів дасть змогу стабілізувати енергетичну мережу. Проте в довгостроковій перспективі це надасть можливість заощадити значну кількість коштів. Також це дасть можливість зробити мережу більш стійкою до непередбачених аварійних ситуацій таких як обстріли та пошкодження ліній електропередавання. Видача збереженої енергії такими системами дасть змогу оперативним групам усунути пошкодження мережі та забезпечити безперебійне електропостачання. Тому ключовими завданнями для держави та енергокомпаній є накопичення нових знань і технологій в даній сфері енергетики. Отже, розробка та впровадження новітніх потужних систем накопичення дасть можливість вирішити вже існуючі проблеми з небалансами в енергосистемі та перебоями електропостачання. Швидкий відгук та висока

потужність накопичувачів відкривають нові можливості для управління електричними режимами в енергетичних системах.

#### Перелік посилань

1. Хоменко, О. В., Наконечний, В. О. (2020). Застосування накопичувачів електроенергії для регулювання напруги в електричній мережі. Міжнародний науково-технічний журнал "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики", 67-71. – Режим доступу: <http://jour.fea.kpi.ua/article/view/231125>.
2. Національна комісія, що здійснює держ. регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. Якість електричної енергії. Офіційний вебпортал Регулятора. URL: <https://www.nerc.gov.ua/sferi-diyalnosti/elektroenergiya/yakist-elektropostachannya/yakist-elektrichnoyi-energiyi>.
3. The Hornsdale Power Reserve [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://hornsdalepowerreserve.com.au/>.
4. Года М. Енергія майбутнього вже тут, ми просто її не використовуємо: як проточні батареї змінять все. 24 Техно. URL: [https://24tv.ua/tech/yak-pratsyuyut-protochni-akumulyatori-chomu-za-nimi-maybutnye\\_n2189906](https://24tv.ua/tech/yak-pratsyuyut-protochni-akumulyatori-chomu-za-nimi-maybutnye_n2189906).
5. Лило І. В. проблеми та перспективи впровадження систем акумулювання електричної енергії. *Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки*. 2018. С. 234–239.
6. Hydrostor проект із зберігання стисненого повітря потужністю 4 ГВт·год у Каліфорнії [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://energystorage.com.ua/novosti/hydrostor-proekt-po-hranneniyyu-szhatogo-vozduha-moshhnostyu-4-gvt-ch-v-kalifornii/>.
7. Болотний М. П., Лоєнко Ю. Г., Кармазін О. О. Застосування систем накопичення енергії для задач керування режимами ЕЕС України: стан та перспективи розвитку. *Відновлювальна енергетика*. 2022. № 3. С. 28–35. URL: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.3\(70\).28-35](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.3(70).28-35).