

Ю. В. Малогулко  
Д. М. Шаргородський  
Д. В. Щербатий

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГІБРИДНИХ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Проведено аналіз літературних джерел щодо доцільності використання гібридних систем накопичення енергії. Досліджено вартісні показники для трьох типів накопичувачів: акумуляторного, суперконденсаторного і гібридного.*

**Ключові слова:** акумулятор, суперконденсатор, системи накопичення, нетрадиційна енергетика.

### *Abstract*

*The work is devoted to the explore of using hybrid energy storage systems expediency. The cost indicators for three types of energy storage systems were explored: accumulator, supercapacitor and hybrid.*

**Keywords:** accumulator, supercapacitor, storage systems, non-traditional energy.

### Вступ

В зв'язку зі значним приростом генерування джерел нетрадиційної енергетики, які суттєво залежать від нестабільності погодних умов, а також з урахуванням значного рівня зношеності основного генеруючого обладнання маневрових електричних станцій, серед яких гідроелектростанції та теплові, виникає необхідність впровадження систем накопичення (СН) та подальшого переносу електроенергії [1].

### Результати дослідження

На сьогоднішній день створено широкий спектр накопичувачів, побудованих за різними принципами [2-4]. Вони відрізняються між собою як за техніко-економічними показниками, так і за функціональним призначенням. До найрозповсюдженіших відносять - гідравлічні та пневматичні акумулятори, маховики, надпровідні індуктивні накопичувачі, ємнісні та різноманітні електрохімічні накопичувачі.

Інтерес до накопичувачів електроенергії спричинений тим, що ці пристрої є одним з ключових елементів інтелектуальних електроенергетичних систем, в яких СН виконують ряд важливих функцій: вираження графічних навантажень у мережі; демпфування короткочасних коливань активних та реактивних потужностей і частоти; зняття або істотне скорочення нерегулярних коливань в міжсистемних лініях електропередач для підвищення її пропускної здатності; забезпечення безперебійного живлення власних потреб підстанцій та відповідальних споживачів; забезпечення стабільної та стійкої роботи децентралізованих та нетрадиційних джерел, працюючих як автономно, так і в складі енергосистеми.

В результаті аналізу літературних джерел [3-6] було встановлено, що найбільш перспективними для використання в інтелектуальних електроенергетичних системах є СН на основі акумуляторних батарей великої енергоємності, оскільки вони мають можливість реалізації модульного виконання та компактності конструкцій; функціональну гнучкість, що забезпечує реалізацію різних режимів роботи; широкі можливості автоматизації процесів управління та контролю та простоту введення в систему інтелектуальних електричних мереж.

СН на основі натрій - сірчаних акумуляторів мають значний недолік - високий струм саморозряду і низьку питому енергоємність. Що стосується накопичувачів на основі літій-іонних акумуляторів, то такого роду недоліки в них відсутні. Саме, тому до СН з літій-іонними акумуляторами останнім часом підвищений інтерес. Проте подібних пристроїв випущено всього кілька десятків і працюють вони в режимах дослідної експлуатації.

Спираючись на те, що сучасні СН мають суттєві недоліки, які впливають на їх техніко-економічні характеристики, необхідно застосовувати СН, які є гібридними. Гібридні системи

накопичення (ГСН) електричної енергії являють собою складні електротехнічні комплекси, основними елементами яких є накопичувальний елемент у вигляді літій-іонної батареї та суперконденсатора, перетворювача роду струму з постійного на змінний і навпаки, системи керування перетворювачем і системи керування електротехнічним комплексом в цілому.

Системи накопичення енергії одного типу не можуть задовольнити вимоги в реальних умовах, враховуючи потребу в енергії в різних часових масштабах. В результаті цього використання гібридних систем накопичення енергії є одним з раціональних та можливих рішень. Найпоширеніша гібридна система накопичення енергії складається з свинцево-кислотних або літій-іонних батарей та суперконденсаторів [7].

Покажемо залежність (рис. 1) вартості кіловата встановленої потужності від часу безперервної роботи (енергоємності) для трьох типів накопичувачів: акумуляторного, суперконденсаторного (дві червоні пунктирні лінії) і гібридного (з різними поєднаннями енергоємності акумуляторної і суперконденсаторної частин - сині лінії). Лінії ГТУ, ДГУ - питомі вартості газотурбінних і дизельних генераторів з урахуванням паливної складової. Тут параметр  $k = t / t_{sc}$  - відношення максимального часу безперервної роботи накопичувача ( $t$ ) до часу роботи ( $t_{sc}$ ) суперконденсатора,  $n$  - максимально можлива кількість циклів заряду-розряду.

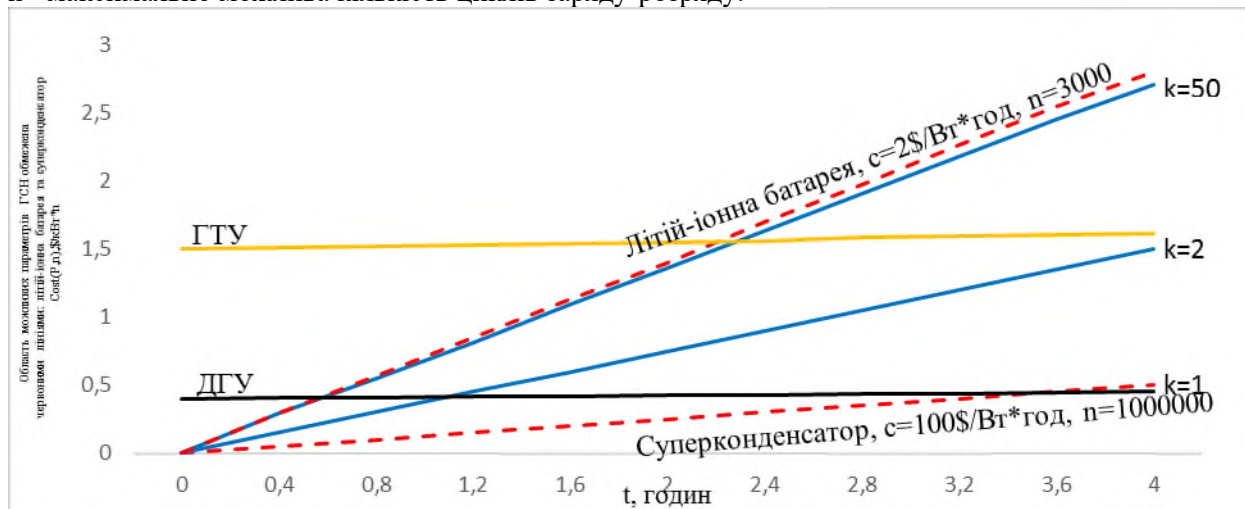


Рис. 1 – Питомі вартості накопичувачів - акумуляторних, суперконденсаторних і гібридних залежно від часу безперервної роботи (ємності)

Як видно з рис.1, застосування накопичувача на основі літій-іонних акумуляторів є економічно виправданим за розряду не більше 1 години в порівнянні з резервною газодизельною електростанцією, і не більше 2 годин порівняно з резервною газотурбінною електростанцією. Аналогічні показники для суперконденсаторного накопичувача виявились в кілька разів кращими. Останнє обумовлено значно більшим ресурсом суперконденсатора. Однак слід також врахувати, що питома енергія суперконденсатора в 20-100 разів нижча, ніж у акумулятора. Звідси випливає, що використання суперконденсаторного накопичувача великої енергоємності в більшості випадків виявляється економічно неприйнятним. Такий накопичувач є занадто великим і важким. На рисунку синіми лініями показані характеристики гібридних систем при різних ступенях гібридизації, які визначаються параметром  $k$ . Ступінь гібридизації дозволяє оптимізувати конструкцію накопичувача, варіюючи його вартість і масогабаритні характеристики в залежності від функціональних вимог до накопичувача. Можливість подібної оптимізації є важливою перевагою гібридної схеми.

### Висновки

Проведене дослідження і аналіз літературних джерел показав, що при належних умовах застосування систем накопичення енергії, їх основні технічні характеристики - запасена енергія, потужність, що віддається, та час розряду, - не можуть бути реалізовані в ідентичних технічних пристроях. Для вирішення цієї проблеми застосовуються гібридні технології і диференціація систем накопичення енергії за умовами застосування. Зокрема, для забезпечення якості електропостачання практично всіх кінцевих споживачів промислового і приватного сектора запропоновано використовувати гібридні системи накопичення на основі акумуляторів і суперконденсаторів.

Забезпечення якості електропостачання споживачів електроенергії, схильних до аварійних відключень і суттєвих порушень нормативних вимог щодо якості електропостачання внаслідок некоректної роботи живильних електричних мереж та іншого високовольтного обладнання, можливе за рахунок використання ГСН електроенергії кіловольтного та мегаватного діапазонів на основі батарей суперконденсаторів і статичних компенсаторів реактивної потужності, які дозволяють підтримувати необхідний рівень і якість напруги, а також підвищувати пропускну спроможність ліній електропередач.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Лежнюк П. Д., Кравчук С. В., Малогулко Ю. В., Прокопенко І. О. Математичне моделювання роботи системи накопичення енергії на ринку допоміжних послуг об'єднаної електроенергетичної системи України. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». 2021. № 2 (8). С. 21-29. doi:10.20998/2413-4295.2021.02.04.

[2] Susan M. Schoenung and William Hassenzahl Long vs. Short-Term Energy Storage: Sensitivity Analysis. A Study for the DOE Energy Storage Systems Program. SAND REPORT.SAND2007-4253. Unlimited Release Printed July 2007.

[3] Benjamin L. Norris, Jeff Newmiller, Georgianne Peek. NAS® Battery Demonstration at American Electric Power. A Study for the DOE Energy Storage Program. SANDIA REPORT. SAND2006-6740. Unlimited Release. Printed March 2007.

[4] Dai, H. (2010). *A Study on Lead Acid Battery and Ultracapacitor Hybrid Energy Storage System for Hybrid City Bus* (Optoelectronics and Image Processing (ICOIP), 2010 International Conference on. IEEE, Vol. 1, pp. 154–159).

[5] L., Choi, S. S., & Tseng, K. J. (2011). Design of short-term dispatch strategy to maximize income of a wind power-energy storage generating station. In *Innovative Smart Grid Technologies Asia (ISGT)* (pp. 1–8).

[6] Режим доступу: <https://dtek.com/ru/media-center/news/dtek-zapustil-pervuyu-v-ukraine-promyshlennuyu-sistemu-nakopleniya-energii/>.

[7] Feng, L., Zhang, J., Li, G. *et al.* Cost reduction of a hybrid energy storage system considering correlation between wind and PV power. *Prot Control Mod Power Syst* 1, 11 (2016). <https://doi.org/10.1186/s41601-016-0021-1>.

**Малогулко Юлія Володимирівна** — канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: Juliya\_Malogulko@ukr.net.

**Шаргородський Денис Миколайович** — студент групи 2ЕЕ-19б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: denis.shargorodskij@gmail.com.

**Щербатий Данило Вікторович** — студент групи 2ЕЕ-19б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: danyashcherbaty@gmail.com.

Науковий керівник: **Малогулко Юлія Володимирівна** — канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Malogylo Yuliia V.** — PhD, Associate professor, department of power stations and systems, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia, e-mail: Juliya\_Malogulko@ukr.net.

**Sharhorodskiy Denys M.** — student of 2EE-19b group, electric power and electromechanics faculty, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia, e-mail: denis.shargorodskij@gmail.com.

**Shcherbatyi Danylo V.** — student of 2EE-19b group, electric power and electromechanics faculty, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia, e-mail: danyashcherbaty@gmail.com.

Supervisor: **Malogylo Yuliia V.** — PhD, Associate professor, department of power stations and systems, Vinnytsia national technical university, Vinnytsia