

**Савченко Н.П.**

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

**Трет'як А.В.**

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

## СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ГІБРИДНИМИ НАКОПИЧУВАЧАМИ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ МАЛОПОТУЖНИХ СПОЖИВАЧІВ

*Стаття присвячена аналізу різних типів систем накопичення енергії для систем автономного електропостачання. Також запропоновано вдосконалену систему накопичення енергії з гібридними накопичувачами від альтернативних джерел із метою підвищення надійності та якості безперебійного електропостачання неенергоємних споживачів.*

**Ключові слова:** автономне електропостачання, система накопичення енергії, накопичувачі енергії, елементи, що акумулюють (ЕА), кінетичний енергонакопичувач (КЕН).

**Постановка проблеми.** Автономне електропостачання є актуальною тематикою в багатьох країнах світу, не є винятком і Україна. Більшість електричних мереж напругою 0,4 кВ є зношеною і потребує чималих капітальних витрат для відновлення і модернізації, тому все більше виникає випадків, за яких економічно доцільним буде застосування автономного електропостачання. Для забезпечення якісного повноцінного електропостачання малопотужних об'єктів від автономних систем електропостачання з альтернативними джерелами живлення важливим є вирішення проблеми зберігання електричної енергії в загальному процесі її перетворення та подальшого розподілу. Віднедавна цьому питанню стали приділяти багато уваги, тож воно є актуальним. Системи накопичення енергії є невіддільною і важливою частиною системи автономного електропостачання з вітроустановками або із сонячними панелями.

Як накопичувачі енергії в сучасних автономних системах електропостачання переважно застосовують хімічні акумулюючі елементи, які мають ряд недоліків, такі як невисокий ККД, обмежене число циклів заряд-розряд, нездатність швидкого реагування, проблематичність утилізації тощо, тому виникає необхідність їх заміни на більш прогресивні екологічні накопичувачі інших типів або застосування змішаних типів накопичувачів зі зменшеною часткою хімічних акумуляторів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Загальний порівняльний аналіз типів накопичувачів, застосовуваних в енергетиці, наведено в наукових працях Ю.М. Астахова, В.А. Венікова,

А.Г. Тер-Газаряна, М. МакКракена та інших учених [1–3]; дослідження щодо застосування накопичувачів в автономних системах електропостачання з поновлюваними джерелами здійснено в роботах Б.В. Лукутіна, І.О. Муравльова, Н.А. Юхно, В.В. Гладкевич та інших науковців [4–8].

**Постановка завдання.** Проведений аналіз публікацій і досліджень дає змогу зробити висновки, що питання накопичення енергії в автономних системах електропостачання з альтернативними джерелами енергії практично не вирішене з екологічного погляду і вимагає подальшого розвитку систем накопичення зі змішаними накопичувачами відновлюваної електричної енергії. Подальшого розвитку також вимагають наукові дослідження зі створення експериментальних установок накопичення енергії з використанням кінетичних накопичувачів енергії для систем електропостачання різних об'єктів будівництва. Головним завданням є впровадження екологічних систем накопичення в інтелектуальні енергосистеми з великою часткою відновлюваних джерел.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Застосування передових технологій «розумних мереж» і систем зберігання енергії дає змогу ефективно вирішувати ряд завдань, пов'язаних із генерацією і накопиченням енергії, а також зі зменшенням втрат електроенергії, завдяки зниженню потреби в її перетворенні.

Доцільність застосування автономних систем електропостачання з накопичувачами енергії базується на таких взаємопов'язаних характеристиках:

1. Функціональна надійність системи і її незалежність від енергомережі.

2. Екологічність і довговічність.

3. Економічність, пов'язана зі зменшенням втрат енергії та використанням надлишків енергії для продажу за «зеленим» тарифом.

Більшості поновлюваних джерел притаманний великий недолік – їхня енергія надходить не постійно. Працюючі на ній установки повинні мати або акумулятори, або установки-дублери, що працюють на традиційному паливі, або ж електрична мережа повинна мати достатню ємність і маневреність, щоб компенсувати неритмічність роботи [8].

З вищесказаного випливає, що питання про створення систем накопичення стоїть дуже гостро. Ця ідея не є новою, розроблено безліч проектів систем накопичення з акумуляторами теплової та електричної енергії, видано сотні статей, в яких описуються переваги таких систем і обґрунтовується їх застосування [6; 7]. Але, незважаючи на всі ці досягнення, засоби, що використовуються для зберігання, не є екологічними, що знижує перспективність застосування альтернативних джерел енергії.

Є кілька видів акумуляторів енергії: потенційні, кінетичні, хімічні і термальні [2]. До потенційних належать гідроакумулюючі і пневмоакумулюючі електростанції. Для зберігання кінетичної енергії часто застосовуються маховики, накопити хімічну енергію дають змогу акумуляторні батареї.

На рис. 1 [2] показано різні види акумуляторів, їх енергоємність, а також час, протягом якого

кожен із них може віддавати енергію. На рисунку виділені три ділянки: зліва внизу зібрано пристрої, що забезпечують точну відповідність параметрів електроживлення заданим параметрам, справа вгорі – вирізняються простотою управління і перемикання режимів, а між цими ділянками – джерела, які підходять для резервного живлення [2].

Наведений на рис. 1 поділ накопичувачів дає змогу чітко визначити сфери їх застосування відповідно до необхідних характеристик. Отже, для автономних систем електропостачання найбільш прийнятними є маховики і спеціальні хімічні акумулятори, тому що вони забезпечують високу якість накопиченої потужності, а також акумулятори теплової енергії, які мають досить високий ККД.

За сучасного вирішення питання щодо вибору накопичувача електроенергії беруть до уваги параметри, які визначають його функціональні можливості та ступінь екологічності. До таких параметрів належать максимальна потужність накопичувача, повна енергоємність, час роботи, час реверсу потужності. Також важливими критеріями під час вибору накопичувача є капітальні витрати, термін служби і ККД. На рис. 2 [2] наведено зв'язок перерахованих критеріїв для різних типів накопичувачів.

Відповідно до представлених на рис. 2 даних є цілком обґрунтованим те, що КЕН стає найбільш актуальною заміною акумуляторних джерел безперебійного живлення.

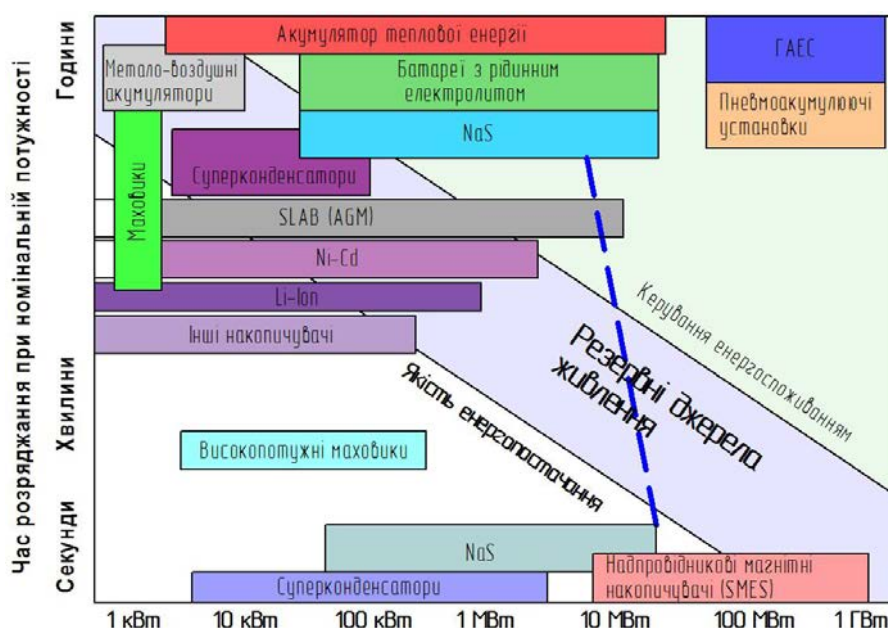


Рис. 1. Різноманітні види накопичувачів енергії

Основна перевага кінетичного накопичувача полягає в простоті технічного обслуговування, високій екологічності і живучості (приблизно до 10 років), а також величезній питомій потужності з усіх типів акумуляторів енергії [4]. Перші такі пристрої не були конкурентоздатні з електрохімічними акумуляторами. Але за останній час з'явилися надміцні і легкі матеріали, підвищилися характеристики постійних магнітів, магнітних підшипників, електроніки. Завдяки їм сучасні кінетичні накопичувачі наділені великою енергоємністю і здатністю швидко віддавати запас енергії, а також у накопичувача відсутній вплив циклів заряду – розряду на термін експлуатації пристрою [5; 11; 12].

Особливістю роботи КЕН є його здатність швидкої розрядки на навантаження, що є позитивним фактором за різкого зростання енергоспоживання.

Незважаючи на всі наведені переваги КЕН, вони ще нездатні повністю замінити акумуляторні джерела безперебійного живлення, тому гібридні системи накопичення енергії не втрачають своєї актуальності.

На рис. 3 наведена структура системи автономного електропостачання з гібридною системою накопичення енергії для малопотужних споживачів.

Принцип роботи такої автономної системи заснований на дотриманні балансу потужностей

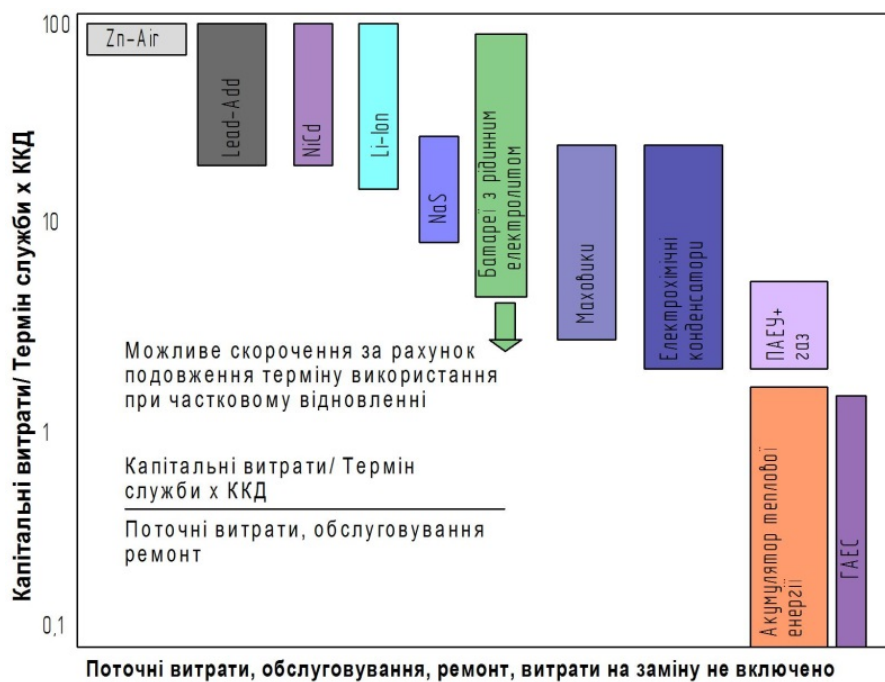


Рис. 2. Загальна вартість технологій збереження енергії за термін служби

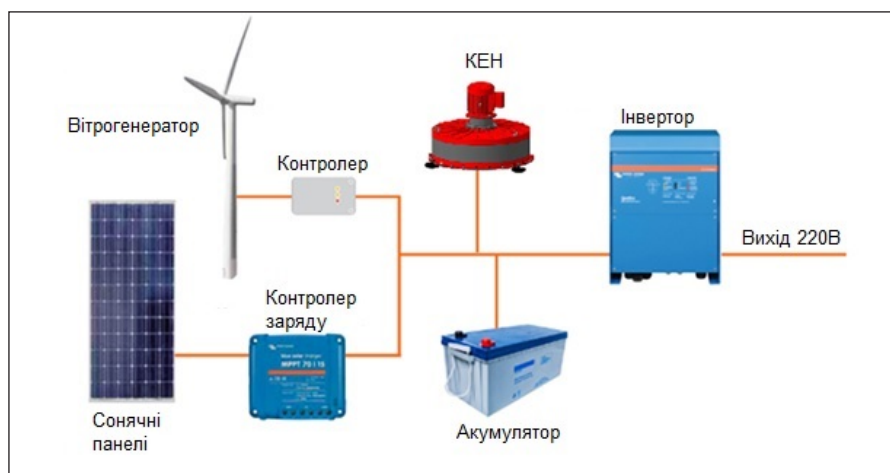


Рис. 3. Структурна схема автономного електропостачання зі змішаними типами накопичувачів енергії

і математично може бути описаний математичною моделлю:

$$\begin{cases} P_{нав} \pm P_{кен} + P_{ак} + P_z = 0 \\ Q_{нав} + Q_{кен} + Q_{ак} + Q_z = 0 \end{cases}$$

де  $P_{нав}$ ,  $Q_{нав}$  – активні і реактивні потужності споживача відповідно,

$P_z$ ,  $Q_z$  – активні і реактивні потужності генерації джерел енергії відповідно;

$P_{кен}$ ,  $Q_{кен}$  – активна і реактивна потужності, споживані КЕН;

$P_{ак}$ ,  $Q_{ак}$  – активні і реактивні потужності акумулятора відповідно.

Отже, маємо більш досконалу з економічного та екологічного питань автономну систему, розвиток якої надасть можливість повної заміни

акумуляторних елементів на механічні накопичувачі.

**Висновки.** У статті розглянуто та проаналізовано перспективи застосування гібридних накопичувачів в автономних системах електропостачання малопотужних споживачів. Зокрема, застосування кінетичних енергонакопичувачів дасть змогу підвищити екологічність системи накопичення енергії і знизити експлуатаційні витрати за весь термін служби.

Наведено структурну схему автономного електропостачання зі змішаними типами накопичувачів енергії, яка описана математичною моделлю, що дає змогу аналізувати режими роботи автономної системи на принципі дотримання балансу потужностей у електричній мережі малопотужного споживача.

### Список літератури:

1. Астахов Ю.Н., Веников В.А., Тер-Газарян А.Г. Накопители энергии в электрических системах : учеб. пособие для электроэнергетических спец. вузов. Москва : Высшая школа, 1989. 159 с.
2. МакКракен М. Накопление энергии как способ радикально сократить углеродные выбросы. *Вестник Центра организации объединенных наций по промышленному развитию. ЮНИДО*. 2012. № 8. С. 66–71.
3. Степаненко В.П. Выбор накопителей энергии. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017. № 3. С. 228–234.
4. Progress in electrical energy storage system: A critical review / Chen H., Cong T.N., Yang W., Tan C., Li Y., Ding Y. *Prog. Nat. Sci.* 2009. № 19. P. 291–312.
5. Мировой рынок накопителей энергии. Региональная энергетическая консалтинговая компания. URL: <http://mig-energo.ru/diod/kineticheskie-nakopiteli-energii/mirovoj-rynok-nakopitelej-energii>.
6. Лукутин Б.В., Муравлев И.О., Плотников И.А. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями : учеб. пособие. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. 128 с.
7. Калашников В.И., Левшов А.В., Ткаченко С.Н. Накопление возобновляемой электрической энергии – проблемы и перспективы развития. *Электротехнические и компьютерные системы*. 2014. № 15 (91). С. 20–23.
8. Гладкевич В.В. Анализ источников электроснабжения в их альтернативной системе. *Технико-экономические проблемы сервиса*. 2012. № 2 (20). С. 31–34.
9. Козюков Д.А. Гибридные накопители электроэнергии в ветро-солнечных установках. *Международный научный журнал «Инновационная наука»*. 2015. № 7. С. 33–35.
10. Елистратов В.В., Аронова Е.С. Моделирование работы и оптимизация параметров систем автономного электроснабжения на основе ВИЭ. *Известия российской академии наук. Энергетика*. 2011. № 1. С. 119–127.
11. Yulong P., Cavagnino A., Vaschetto S., Feng C., Tenconi A. Flywheel energy storage systems for power systems application. *International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)*, Santa Margherita Ligure, Italy, 27–29 June 2017. P. 492–501.
12. Marchenko O. Mathematical modeling and economic efficiency assessment of autonomous energy systems with production and storage of secondary energy carriers. *International Journal of Low-Carbon Technologies*. 2010. Vol. 5. Issue 4. P. 250–255.

### СИСТЕМА АВТОНОМНОГО БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ГИБРИДНЫМИ НАКОПИТЕЛЯМИ ЭНЕРГИИ ДЛЯ МАЛОМОЩНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Статья посвящена анализу различных типов систем накопления в составе систем автономного электроснабжения. Усовершенствована система накопления энергии с гибридными накопителями от альтернативных источников с целью повышения надежности и качества бесперебойного электроснабжения неэнергоёмких потребителей.

**Ключевые слова:** автономное электроснабжение, система накопления энергии, накопители энергии, аккумулирующие элементы (АЭ), кинетический энергонакопитель (КЭН).

**AUTONOMOUS UNINTERRUPTED ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM  
WITH HYBRID ENERGY STORAGE FOR LOW-CURRENT CONSUMERS**

*The article is devoted to the analysis of various types of accumulation systems as part of autonomous power supply systems. The energy storage system with hybrid drives from alternative sources has been improved in order to increase the reliability and quality of uninterrupted power supply to non-power-consuming consumers.*

**Key words:** *autonomous power supply, energy storage system, energy storage, accumulating elements (AE), kinetic energy storage (CEN).*