

*М. М. СИВЕНКО, О. О. МИРОШНИК, А. І. СЕРЕДА*

### **РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ НАКОПИЧУВАЧІВ ТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В ІЗОЛЬОВАНИХ ЕНЕРГОСИСТЕМАХ**

Наведено докладне обґрунтування використання накопичувачів електричної енергії при наявності в системі електропостачання генераторів на відновлюваних джерелах енергії. Досліджуються залежності параметрів накопичувача від складу та пріоритетності генерації в системі. Розглядається вирішення задачі визначення параметрів накопичувачів електроенергії за допомогою цілеспрямованої імітації параметрів генерації. Показані результати вибору потужності та ємності накопичувача електроенергії з використанням технічних і економічних показників. Визначаються оптимальні параметри накопичувачів як одного з найважливіших засобів забезпечення активності ізолюваних систем електропостачання спільно з вибором генеруючих пристроїв. Наведені результати розрахунків потужності відновлювальних джерел енергії в ізолюваних системах електропостачання у поєднанні з класичними джерелами енергії. Продемонстрована необхідність використання принципу активності розподільної електричної мережі та можливість його реалізації. На прикладі декількох ізолюваних систем приведені графіки залежності оптимального об'єму накопичувачів від частки генерації відновлювальних джерел, неінтегрованої енергії, виробленої відновлювальними джерелами від сумарної ємності накопичувачів. Наводяться основні положення використаної моделі системи електропостачання ізолюваних мереж. У досліджуваних ізолюваних системах електропостачання в якості генерації на базі відновлювальних джерел енергії використовуються вітроенергетичні установки, сонячні електростанції, які мають значну непередбачуваність генерації. Проаналізована проблема недовідпуску електроенергії до мережі шляхом покрокового збільшення генерації. Результати багатокрокового вибору потужності і енергоємності накопичувачів електроенергії обумовлюються технічними критеріями.

**Ключові слова:** мережа електропостачання, ізолювані мережі, енергетика, моделювання, відновлювальні джерела енергії, накопичувачі енергії.

*М. М. СИВЕНКО, А. А. МИРОШНИК, А. І. СЕРЕДА*

### **РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАКОПИТЕЛЕЙ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ИЗОЛИРОВАННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМАХ**

Приведено подробное обоснование использования накопителей электрической энергии при наличии в системе электроснабжения генераторов на возобновляемых источниках энергии. Исследуются зависимости параметров накопителя от состава и приоритетности генерации в системе. Рассматривается решение задачи определения параметров накопителей электроэнергии с помощью целенаправленной имитации параметров генерации. Показаны результаты выбора мощности и емкости накопителя электроэнергии с использованием технических и экономических показателей. Определяются оптимальные параметры накопителей как одного из важнейших средств обеспечения активности изолированных систем электроснабжения совместно с выбором генерирующих устройств. Приведены результаты расчетов мощности возобновляемых источников энергии в изолированных системах электроснабжения в сочетании с классическими источниками энергии. Продемонстрирована необходимость использования принципа активности распределительной электрической сети и возможность его реализации. На примере нескольких изолированных систем приведены графики зависимости оптимального объема накопителей от доли генерации возобновляемых источников, неинтегрированной энергии, производимой возобновляемыми источниками от суммарной емкости накопителей. Приводятся основные положения использованной модели системы электроснабжения изолированных сетей. В исследуемых изолированных системах электроснабжения в качестве генерации на базе возобновляемых источников энергии используются ветроэнергетические установки, солнечные электростанции, имеющие значительную непредсказуемость генерации. Проанализирована проблема недоотпуска электроэнергии в сети путем пошагового увеличения генерации. Результаты многошагового выбора мощности и энергоемности накопителей электроэнергии оговариваются техническими условиями.

**Ключевые слова:** сеть электроснабжения, изолированные сети, энергетика, моделирование, возобновляемые источники энергии, накопители энергии.

*М. SYVENKO, O. MIROSHNYK, A. I. SEREDA*

### **CALCULATION OF OPTIMAL PARAMETERS FOR STORAGE AND RENEWABLE ENERGY SOURCES IN ISOLATED ENERGY SYSTEMS**

A detailed substantiation of the use of electric energy storage devices in the presence of generators on renewable energy sources in the power supply system is given. The dependence of the storage parameters on the composition and priority of generation in the system is investigated. The solution of the problem of determining the parameters of electricity storage devices by means of purposeful simulation of generation parameters is considered. The results of the choice of power and capacity of the energy storage using technical and economic indicators are shown. Optimal parameters of electric energy storage devices as one of the most important means of ensuring the activity of isolated power supply systems together with selection of generating devices are determined. The results of calculations of capacity of renewable energy sources in isolated power supply systems in combination with classical energy sources are given. The necessity of using the principle of activity of the distribution electric network and the possibility of its realization is demonstrated. The optimal storage capacity as a function of the share of renewable generation, the non-integrated energy produced by renewable sources and the total storage capacity are plotted for several isolated systems. The main points of the used model of the power supply system of isolated networks are given. In the studied isolated power supply systems, wind power plants and solar power plants, which have significant unpredictability of generation, are used as generation based on renewable energy sources. The problem of undersupply of electricity to the grid by stepwise increase of generation is analysed. The results of the multi-step selection of power and energy consumption of electricity storage are determined by technical criteria.

**Keywords:** power supply network, isolated networks, power engineering, modeling, renewable energy sources, energy storages.

**Вступ.** Завдання визначення оптимальних параметрів накопичувачів електричної енергії та джерел генерації в ізолюваних системах електропостачання, що є одним з основних в концепції розвитку сучасної енергетики. У структурі ізолюваних систем електропостачання пропонується активно використовувати джерела генерації на базі відновлювальних джерел енергії (ВДЕ).

В цьому випадку необхідно розробити способи забезпечення безперебійного електропостачання споживачів в умовах особливостей роботи генераторів на базі ВДЕ. Рішення даної проблеми можна реалізувати за рахунок застосування накопичувачів електричної енергії, за рахунок використання додаткових традиційних джерел генерації або за рахунок застосування методики управління попитом.

Найбільш цікавими і перспективними є перший і третій способи та їх комбінація.

Аналіз літературних джерел показав, що на сьогоднішній день питання експлуатації акумуляторних батарей та сонячних електричних станцій потребують глибокого вивчення. Питаннями оптимальних параметрів накопичувачів електричної енергії та джерел генерації з фотоелектричними станціями займалися Лежнюк П. Д., Комар В. О., Дудюк Д. Л., Бурячок Т. О., Шелест М. Б., Мисак Й. С., Возняк О. Т. та інші [1–5].

**Мета досліджень.** Досліджується залежність параметрів накопичувача від складу генерації, визначаються оптимальні параметри накопичувачів електроенергії.

**Основні матеріали досліджень.** Накопичувачі електричної енергії характеризуються іншими технічними параметрами і характеристиками, ніж генератори.

Визначення оптимальних параметрів накопичувачів електричної енергії для ізолюваних систем проводиться з технічних та економічних міркувань. Виходячи з технічних умов, вибирається потужність і ємність накопичувача, а з урахуванням економічної оцінки вибирається його тип [5].

Основні параметри накопичувачів електричної енергії можна розрахувати, використовуючи наступні співвідношення:

- потужність накопичувачів електричної енергії:

$$P_{\text{нак}} = \max|\Delta P|, \quad (1)$$

де  $\Delta P$  – різниця між сумарною потужністю джерел генерації в ізолюваній системі і потужністю споживачів для даного режиму [2].

- ємність накопичувачів:

$$E_{\text{нак}} = \frac{\max(\int [\Delta P] dt)}{\eta_{\text{нак}}}, \quad (2)$$

де  $\eta_{\text{нак}}$  – ККД накопичувачів електричної енергії.

При дослідженні, в якості прикладу, була розглянута тестова ізолювана система.

В якості керованих джерел генерації в ній використовуються дизель-генератори, а як джерела генерації на базі ВДЕ – вітроенергетичні установки та сонячні електростанції.

Застосовано метод цілеспрямованої імітації. У цьому випадку використовується декілька різних варіантів, зокрема з різною часткою генерації від ВДЕ. Це дозволяє дати відповідь на питання, що буде відбуватися при різних параметрах в кожному окремому випадку.

Навантаження ізолюваної системи знаходиться в діапазоні 10–30 кВт.

Для дослідження взаємозв'язку між часткою генерації на базі ВДЕ в ізолюваній системі та необхідними у такому випадку параметрами накопичувачів електричної енергії були змодельовані кілька сценаріїв. Різниця сценаріїв полягає в різній частці генерації від ВДЕ, яка змінювалася в діапазоні 0–100 %.

У першому сценарії необхідна енергія повністю виробляється за допомогою дизель-генераторів, в той час як в останньому сценарії електроенергія повністю виробляється ВДЕ.

В усіх сценаріях враховувалася наявність накопичувачів електричної енергії, встановлена потужність яких визначається як різниця між сумарною встановленою потужністю, що генерується при використанні ВДЕ [6], і мінімальною потужністю навантаження:

$$P_{\text{нак}} = (P_{\text{В}} + P_{\text{С}}) - \min(P_{\text{Н}}), \quad (3)$$

де  $P_{\text{В}}$  – потужність, що генерується вітроенергетичними установками;

$P_{\text{С}}$  – потужність, що генерується сонячними електростанціями;

$P_{\text{Н}}$  – потужність навантаження.

У моделі прийнято, що сумарна потужність, що виробляється генераторами на базі ВДЕ, має бути більша за величину мінімальної потужності навантаження. Дана обставина дозволяє накопичувати надлишкову енергію вироблену на базі ВДЕ, оскільки електроенергія, згенерована на базі ВДЕ, має пріоритет при заповненні графіка навантаження. Традиційні генератори використовуються лише тоді, коли сумарна потужність джерел відновлюваної енергії та накопичувачів недостатня для покриття поточного навантаження.

Максимальні потужності генераторів обрані з такою умовою, що вони покривають пікове навантаження ізолюваної системи, мінімальна потужність визначається технічними можливостями генераторів.

При розрахунках величина  $P_{\text{нак}}$  при заряді і розряді накопичувачів розглядається як навантаження або генерація відповідно [3, 4].

Можливі ситуації, коли при повній зарядці накопичувачів, подальша інтеграція ними потужності від ВДЕ неможлива. У цьому випадку необхідно зменшити вироблення енергії від ВДЕ, а в перспективі – збільшити потужність накопичувачів [1].

Проведено аналіз впливу складу генерації за допомогою ВДЕ на ємність накопичувачів. Досліджено три випадки:

- частка вітрогенерації становила 0 %, сонячної генерації – 100 %;
- частка вітрогенерації – 100 %, сонячної генерації – 0 %;
- частка сонячної та вітрогенерації – по 50 %.

Наприклад, якщо енергосистема повністю забезпечується енергією з використанням енергії від сонячних електростанцій, то потрібні накопичувачі ємністю 80 кВт·год. Використання в ізолюваних системах тільки вітроенергетичних установок знижує величину оптимальної ємності накопичувача майже до 25 кВт·год, як показано на рис. 1. Дана обставина обумовлена більшою тривалістю роботи вітроенергетичних установок на добу.

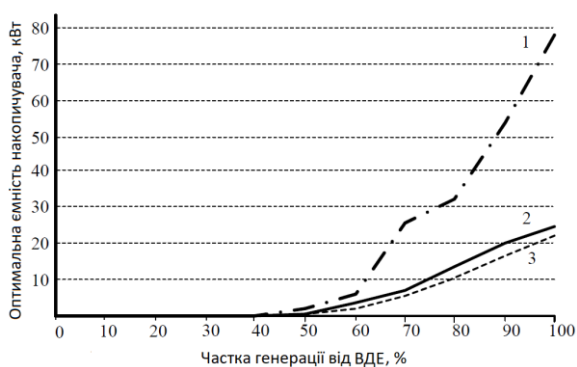


Рисунок 1 – Аналіз впливу частки відновлюваної генерації на оптимальну ємність накопичувачів:

- 1 – частка вітрогенерації 0 %, сонячної генерації 100 %;
- 2 – частка вітрогенерації 100 %, сонячної генерації 0 %;
- 3 – частка сонячної та вітрогенерації – по 50 %

**Визначення параметрів накопичувачів для ізолюваних систем електропостачання.** Для визначення параметрів накопичувачів, необхідних для функціонування ізолюваних систем, знову розглянемо систему, що складається із чотирьох дизель-генераторів, вітроенергетичних установок і сонячних електростанцій.

В реальних умовах набір та зменшення потужності генератора відбувається не миттєво, тому в розрахунках враховані швидкість набору і зменшення потужності дизель-генераторів [7, 8].

Дані розрахунки дозволяють зробити оцінки роботи системи, а також дозволили визначити оптимальні параметри накопичувачів електричної енергії, необхідні для інтеграції всієї потужності, що виробляється за допомогою ВДЕ. Для цього залишкова потужність, що покривається традиційними дизель-генераторами і накопичувачем, оцінювалася як:

$$P_i(t) = P_H(t) - P_B(t) - P_C(t). \quad (4)$$

При оцінці залишкового навантаження передбачається, що дизельні електростанції не можуть бути відключені. В результаті, у даному сценарії (без системи акумулювання енергії) залишкове навантаження аналізованої ізолюваної системи

електропостачання може бути як позитивним, так і негативним. Позитивні і негативні значення показують, що в ізолюваній системі присутній надлишок або дефіцит відповідно. Надлишок в основному пов'язаний з виробленням електричної енергії вітроенергетичними установками і сонячними електростанціями.

Ґрунтуючись на аналізі залишкового навантаження, потужність накопичувача електричної енергії може бути оцінена відповідно до виразу [8]:

$$P_{\text{нак}} = \begin{cases} \min P_i(t) \\ \max P_i(t) \end{cases}. \quad (5)$$

Для оцінки потужності накопичувачів електричної енергії можна використовувати два різних підходи. Накопичувач може бути спроектований так, щоб максимізувати інтеграцію потужності, що виробляється з використанням відновлюваних джерел енергії, або мінімізувати кількість недовідпущеної електричної енергії споживачам. У першому випадку розглядається максимальне значення залишкового навантаження, у другому – слід враховувати його мінімальне значення [4, 8].

Було проведено аналіз залежності величини неінтегрованої енергії, виробленої за допомогою ВДЕ, від ємності накопичувачів електричної енергії. Аналіз проводився методом цілеспрямованої імітації, шляхом поступового збільшення ємності накопичувача та розрахунку величини неінтегрованої енергії. При застосуванні цього підходу для запропонованої ізолюваної системи електропостачання оптимальним рішенням слід вважати систему накопичувачів загальною ємністю 40 кВт·год (рис. 2). При таких параметрах вся енергія, що виробляється за допомогою ВДЕ, може бути використана. Дані результати є оптимальними з технічної точки зору. Але з економічної точки зору вони можуть бути не найкращим варіантом, зважаючи на дійсну вартість систем накопичувачів електричної енергії.

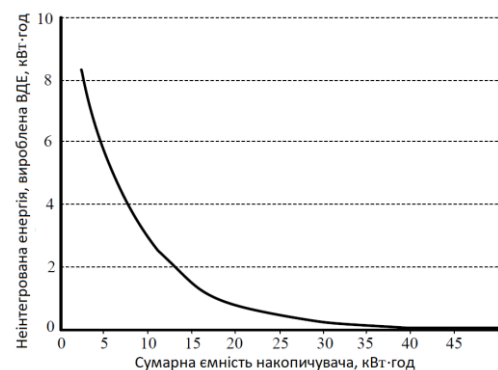


Рисунок 2 – Залежність величини неінтегрованої енергії, виробленої при використанні ВДЕ, від сумарної ємності накопичувачів електричної енергії

Нижче представлені основні параметри сценарію, використовуваного при знаходженні оптимальних параметрів накопичувачів:

- 1) Підбираються генеруючі джерела:

- традиційні генератори покривають лише частину потреби в електричній енергії;

- потужності вітроенергетичних установок і сонячних електростанцій повинні бути підібрані так, щоб їх сумарна величина була значно більше мінімального навантаження.

2) Визначення оптимального графіка роботи генераторів протягом одного тижня і визначені оптимальні параметри накопичувачів енергії.

3) Параметри накопичувачів змінюються таким чином (табл. 1):

- потужність накопичувачів змінювалася в діапазоні 1–7 кВт з кроком в 1 кВт;
- тривалість роботи накопичувачів змінювалася від 4 до 6,5 годин з кроком 0,5 годин.

Таблиця 1 – Вихідні дані для кожного кроку розрахунку

Крок	t, час	$P_{\text{нак}}$ , кВт	Крок	t, час	$P_{\text{нак}}$ , кВт
1	4	1	22	5,5	1
2	4	2	23	5,5	2
3	4	3	24	5,5	3
4	4	4	25	5,5	4
5	4	5	26	5,5	5
6	4	6	27	5,5	6
7	4	7	28	5,5	7
8	4,5	1	29	6	1
9	4,5	2	30	6	2
10	4,5	3	31	6	3
11	4,5	4	32	6	4
12	4,5	5	33	6	5
13	4,5	6	34	6	6
14	4,5	7	35	6	7
15	5	1	36	6,5	1
16	5	2	37	6,5	2
17	5	3	38	6,5	3
18	5	4	39	6,5	4
19	5	5	40	6,5	5
20	5	6	41	6,5	6
21	5	7	42	6,5	7

4) На кожному кроці обчислюється недовідпуск електроенергії в ізолюваній енергосистемі – енергії, яка могла б бути вироблена за допомогою ВДЕ, але не була вироблена з огляду на те, що накопичувачі в той момент часу були повністю заряджені. Метою оптимізації є мінімізація обох цих величин.

Розрахунок проводився для тривалості роботи накопичувачів 4; 4,5; 5; 5,5; 6 і 6,5 годин.

Результати розрахунків за такими сценаріями:

- максимальне навантаження – 32 кВт;
- вітроенергетичні установки – 15 кВт;
- сонячні електростанції – 6 кВт;
- дизель-генератори – 4 шт. по 6 кВт.

Тривалість роботи накопичувачів збільшувалася від 4 до 6,5 годин. Підвищення тривалості роботи сприяло зменшенню величини неінтегрованої накопичувачами електроенергії від джерел генерації на базі ВДЕ та зменшенню недовідпуску енергії.

Представлені на рис. 3 результати показують, що повна інтеграція ВДЕ досягається при використанні накопичувачів електричної енергії з сумарною потужністю 7 кВт і тривалістю роботи 5,5 годин. Проте, при таких параметрах накопичувачів недовідпуск електроенергії ще існує.

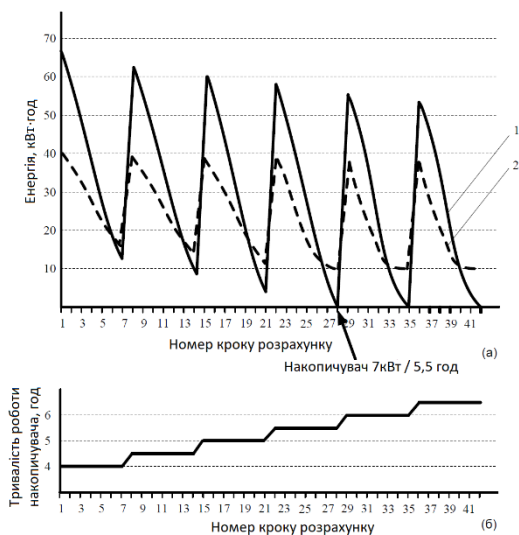


Рисунок 3 – Залежність енергії (а) і тривалість роботи накопичувачів (б) на кожному кроці розрахунку:  
1 – неінтегрована накопичувачами електроенергія від ВДЕ;  
2 – недовідпуск електроенергії

Для мінімізації величини недовідпуску електроенергії можлива реалізація різних сценаріїв. Зокрема зміна параметрів накопичувачів електроенергії, збільшення частки традиційної генерації, а також збільшення частки генерації на базі ВДЕ [10]. У даному випадку прийнятий спрощений варіант і для цих цілей пропонується знайти нову потужність генераторів на базі ВДЕ, що також призведе до зміни параметрів накопичувачів. Цей процес представлений графічно на рис. 4. Змінюємо потужність генераторів на базі ВДЕ. При досягненні їх потужності у 26 кВт навантаження в ізолюваній енергосистемі повністю покривається (рис. 4), система стає бездефіцитною. Оптимальним параметрам накопичувача електричної енергії відповідають потужність 8 кВт і тривалість роботи 13 год. Тобто технічні параметри накопичувача істотно збільшуються, відповідно вартість накопичувача зростає.

У даному дослідженні не враховуються втрати, які, є в реальній системі.

З прикладу видно, що повна автономність є дорогою, тому що потрібні чималі накопичувачі, які використовуються лише частково.

**Висновки.** Для забезпечення надійного функціонування ізолюваних систем електропостачання необхідно підібрати оптимальні параметри накопичувачів як з технічної, так і з економічної точки зору.

Визначення оптимальних параметрів накопичувачів електричної енергії для ізолюваної енергосистеми проводиться на комплексній основі.

Використання наведеної методики забезпечить підвищення ефективності роботи ізолюваних систем з розподіленою генерацією від ВДЕ, а також надає можливість комплексно та оптимально керувати режимами ізолюваної системи електропостачання.

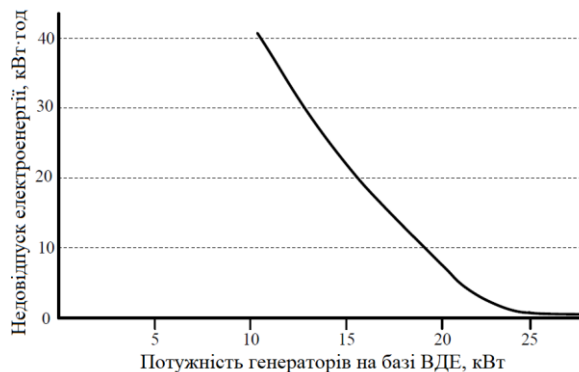


Рисунок 4 – Залежність невідпуску електроенергії від потужності генераторів на базі ВДЕ

### Список літератури

1. Лежнюк П. Д., Комар В. О., Кравчук С. В., Лесько В. О., Нетребський В. В. *Балансова надійність електричної мережі з фотоелектричними станціями: монографія*. Вінниця: ВНТУ, 2018, 136 с.
2. Дудюк, Д. Л., Мазепа С. С., Гнатишин Я. М. *Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі: навч. посіб.* Львів: «Магнолія 2006», 2009, 188 с.
3. Бурячок Т. О., Буцьо З. Ю., Варламов Г. Б., Дубовської С. В., Жовтянський В. А. *Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі*. URL: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5> (дата звернення: 29.03.2021).
4. Шелест М. Б., Гайда П. І. *Основи будови та експлуатації акумуляторних батарей: навч. посіб.* Суми: Сум. держ. ун-т, 2014, 210 с.
5. Мисак Й. С., Возняк О. Т., Дацько О. С., Шаповал С. П. *Сонячна енергетика: теорія та практика: монографія*. Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2014, 340 с.
6. *NIST Framework and Road map for Smart Grid Interoperability Standards, Release 3.0*. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.1108r3.pdf> (дата звернення: 29.03.2021).
7. Peng J., Lu L., Yang H. Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013. Vol. 19. P. 255–274. doi: 10.1016/j.rser.2012.11.035
8. Weaver J. F. *A look at a Chinese fishery with a giant integrated solar array – feeding a world hungry for clean energy*. URL: <https://electrek.co/2017/01/29/a-look-at-a-chinese-fishery-with-a-giant-integrated-solar-array-feeding-a-world-hungry-for-clean-energy/> (дата звернення: 29.03.2021).

9. Braga M. H., Grundish N. S., Murchison A. J., Goodenough J. B. Alternative strategy for a safe rechargeable battery. *Energy & Environmental Science*. 2017. Iss. 1. P. 331–336. doi: 10.1039/c6ee02888h
10. Schweber B. *Lithium Batteries: The Pros and Cons*. URL: <https://electronics360.globalspec.com/article/5555/lithium-batteries-the-pros-and-cons> (дата звернення: 29.03.2021).

### References (transliterated)

1. Lezhnyuk P. D., Komar V. O., Kravchuk S. V., Les'ko V. O., Netrebs'kyi V. V. *Balansova nadijnist' elektrychnoyi merezhi z fotoelektrychnymi stantsiyamy: monohrafiya* [Balancing Grid Reliability with Photovoltaic Stations: Monograph]. Vinnytsia, VNTU Publ., 2018, 136 p.
2. Dudyuk, D. L., Mazepa S. S., Hnatyshyn Ya. M. *Netradytsiyna enerhetyka: osnovy teorii ta zadachi: navch. posib.* [Unconventional Energy: Fundamentals of Theory and Problems: Study Guide]. Lviv, "Magnolia 2006" Publ., 2009, 188 p.
3. Buryachok T. O., But's'o Z. Yu., Varlamov H. B., Dubov's'koy S. V., Zhovtyans'kyi V. A. *Enerhetyka: istoriya, suchasnist' i maybutnye. Elektroenerhetyka ta okhorona navkolyshn'oho seredovyschcha. Funktsionuvannya enerhetyky v suchasnomu sviti* [Energy: history, present and future. Electricity and environmental protection. The functioning of energy in the modern world]. Available at: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5> (accessed 29.03.2021).
4. Shelest M. B., Hayda P. I. *Osnovy budovy ta ekspluatatsiyi akumuljatorykh batarey: navch. posib.* [The Fundamentals of Battery Construction and Operation: Study Guide]. Sumy, SSU Publ., 2014, 210 p.
5. Mysak Y. S., Voznyak O. T., Dats'ko O. S., Shapoval S. P. *Sonyachna enerhetyka: teoriya ta praktyka: monohrafiya* [Solar Energy: Theory and Practice: Monograph]. Lviv, Lviv Polytechnic Publ., 2014, 340 p.
6. *NIST Framework and Road map for Smart Grid Interoperability Standards, Release 3.0*. Available at: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.1108r3.pdf> (accessed 29.03.2021).
7. Peng J., Lu L., Yang H. Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013, vol. 19, pp. 255–274. doi: 10.1016/j.rser.2012.11.035
8. Weaver J. F. *A look at a Chinese fishery with a giant integrated solar array – feeding a world hungry for clean energy*. Available at: <https://electrek.co/2017/01/29/a-look-at-a-chinese-fishery-with-a-giant-integrated-solar-array-feeding-a-world-hungry-for-clean-energy/> (accessed 29.03.2021).
9. Braga M. H., Grundish N. S., Murchison A. J., Goodenough J. B. Alternative strategy for a safe rechargeable battery. *Energy & Environmental Science*. 2017, iss. 1, pp. 331–336. doi: 10.1039/c6ee02888h
10. Schweber B. *Lithium Batteries: The Pros and Cons*. Available at: <https://electronics360.globalspec.com/article/5555/lithium-batteries-the-pros-and-cons> (accessed 29.03.2021).

Надійшла (received) 17.04.2021

### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Сивенко Михайло Максимович (Сивенко Михаил Максимович, Syvenko Mykhailo)** – аспірант Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка; м. Харків, Україна; e-mail: michael.syvenko@gmail.com.

**Мірошник Олександр Олександрович (Мирошник Александр Александрович, Mirosnyk Oleksandr)** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8745-9903>; e-mail: omiroshnyk@ukr.net.

**Середа Анатолій Іванович (Середа Анатолий Иванович, Sereda Anatoliy Ivanovych)** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0777-0449>; ais66@ukr.net.