

Н. П. САВЧЕНКО (канд. техн. наук)
Державний вищий навчальний заклад
«Донецький національний технічний університет»
natali_a_savchenko@ukr.net

ОБГРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ГІБРИДНОЇ АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ МІКРОГЕНЕРАЦІЇ

Анотація. Розглянуті питання оптимізації складу джерел та накопичувачів енергії у гібридних автономних системах мікрогенерації з метою підвищення їх енергоефективності. Представлений новий підхід класифікації гібридних автономних систем за ознакою ступеня гібридизації її складових. Розроблений алгоритм комплексного обґрунтування складу та режимів роботи гібридної автономної системи мікрогенерації. Запропонована структура оптимальної гібридної автономної системи мікрогенерації з ВДЕ та розроблено алгоритм керування робочими режимами системи з гібридними відновлювальними джерелами енергії та гібридною системою накопичення енергії, що призведе до підвищення надійності та енергоефективності децентралізованого електропостачання споживачів. Наведена математична модель запропонованої гібридної автономної системи мікрогенерації.

Ключові слова: *гібридна автономна система мікрогенерації, відновлювальні джерела електроенергії (ВДЕ), система накопичення енергії (СНЕ).*

Постановка проблеми. Розвиток відновлювальної енергетики, а саме її децентралізація та автономія, на сьогодні є основним питанням у енергетиці. Ефективна робота автономних систем електропостачання є багатофакторною оптимізаційною задачею, рішення якої потребує у кожному випадку індивідуального підходу з урахуванням безлічі показників впливу. Тому дуже важливим є виявлення оптимальної енергоефективної структури автономної системи мікрогенерації з гібридизацією її основних складових з метою обмеження негативних факторів впливу на роботу системи у цілому.

Аналіз попередніх досліджень. Перехід до децентралізованої енергетики, а саме розвиток систем мікрогенерації з використанням ВДЕ – це світовий енергетичний тренд. Суть ідеї в тому, щоб просувати нові екологічні технології виробництва енергії, одночасно дозволяючи фізичним особам, домогосподарствам, а також малому бізнесу знижувати витрати на забезпечення власних потреб у ній. Мікрогенерація має на увазі, що споживачі електроенергії для власних потреб встановлюють поряд з місцем споживання джерела енергії компактних розмірів потужністю до 15 кВт включно. Окремо питанню щодо організації систем мікрогенерації присвячено немало робіт як зарубіжних так вітчизняних дослідників, а саме у роботах [1,2,3,4] наведені основні напрямки їх розвитку, питання керування окремими видами автономних систем розглянуті у роботах [5,6]. При цьому оптимізація таких систем за рахунок гібридизації складових висвітлена недостатньо та потребує подальшого розгляду.

Мети статті. Основною метою статті є розробка оптимальної енергоефективної структури автономної гібридної системи мікрогенерації та алгоритму керування її робочими процесами.

Основний матеріал дослідження. Основними концепціями розвитку енергетики є збільшення частки генерації від відновлювальних джерел енергії та запровадження децентралізованих автономних систем мікрогенерації. Одночасно це є рішенням проблем зростаючого рівня споживання електроенергії та збільшення викидів вуглекислого газу у атмосферу при виробництві електроенергії. Таким чином, це призведе до укріплення енергетичної безпеки країни. Впровадження малої енергетики, а саме автономних систем мікрогенерації – це позачергова задача, яка потребує негайного обґрунтованого рішення.

Застосування у автономних системах джерела живлення одного типу виявилось ненадійним та нерациональним. У процесі подальшої еволюції автономних систем з'явилися так звані гібридні системи, які використовують декілька джерел живлення з різними принципами генерації електроенергії.

На теперішній час поняття та принципи побудови «гібридної автономної системи мікрогенерації» повинне бути розширене та розглядатися не тільки з позиції якісного складу джерел генерації енергії, а з урахуванням неоднорідності у побудові усіх складових системи. Таким чином, пропонується новий підхід до визначення та класифікації сучасних гібридних автономних систем мікрогенерації з ВДЕ, а саме за наступними ознаками:

1. Гібридна автономна система, яка має декілька ВДЕ, які відрізняються принципом генерації енергії (гібридна система першого типу).
2. Гібридна автономна система, яка має одне ВДЕ та систему накопичення енергії, яка складається з накопичувачів відмінної принципової дії (гібридна система другого типу).
3. Гібридна автономна система, яка має декілька ВДЕ, які відрізняються принципом генерації енергії та систему накопичення енергії, яка складається з накопичувачів відмінної принципової дії (гібридна система третього типу).

система третього типу).

Схематично новий підхід до класифікації гібридних автономних систем мікрогенерації наведений на рис.1.

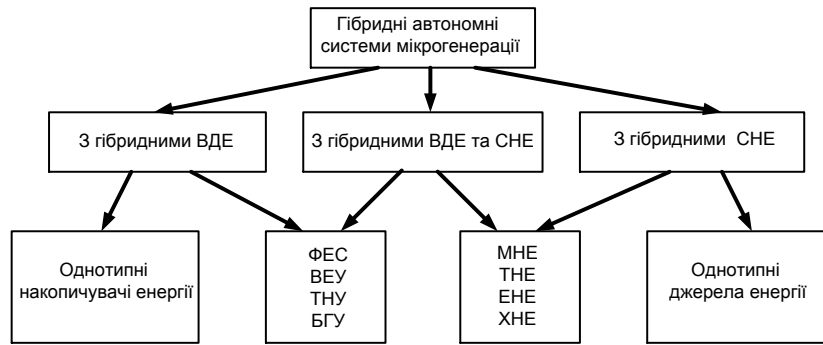


Рисунок 1 – Класифікації гібридних автономних систем мікрогенерації з ВДЕ

Згідно з класифікацією, наведеною на рис.1 у якості ВДЕ можуть бути використані: фотоелектрична станція (ФЕС), вітроенергетична установка (ВЕУ), теплосасосна установка (ТНУ) та біогазова установка (БГУ). Складові системи накопичення енергії є механічні накопичувачі енергії (МНЕ), теплові накопичувачі енергії (ТНЕ), електричні накопичувачі енергії (ЕНЕ) та хімічні накопичувачі енергії (ХНЕ).

Гібридні автономні системи першого типу найбільше поширені та досліджені у роботах [6,7,8]. Системи другого типу та третього типу тільки починають впроваджуватися, що пов'язано з бурхливим розвитком систем накопичення енергії. Останнім часом механічні та електричні накопичувачі мають найбільше застосування, а саме у якості механічних використовують кінетичні та потенціальні накопичувачі енергії, у якості електричних – акумуляторні батареї та суперконденсатори.

Обґрунтування оптимального складу гібридної автономної системи мікрогенерації, а саме оптимального складу джерел та накопичувачів електроенергії, тісно пов'язано з визначенням та оптимізацією її режимів роботи. Необхідний комплексний підхід до оптимізації складу та режимів роботи автономної системи мікрогенерації з ВДЕ та активними споживачами електроенергії. Алгоритм комплексного обґрунтування складу та режимів роботи гібридної автономної системи мікрогенерації наведено на рис.2.

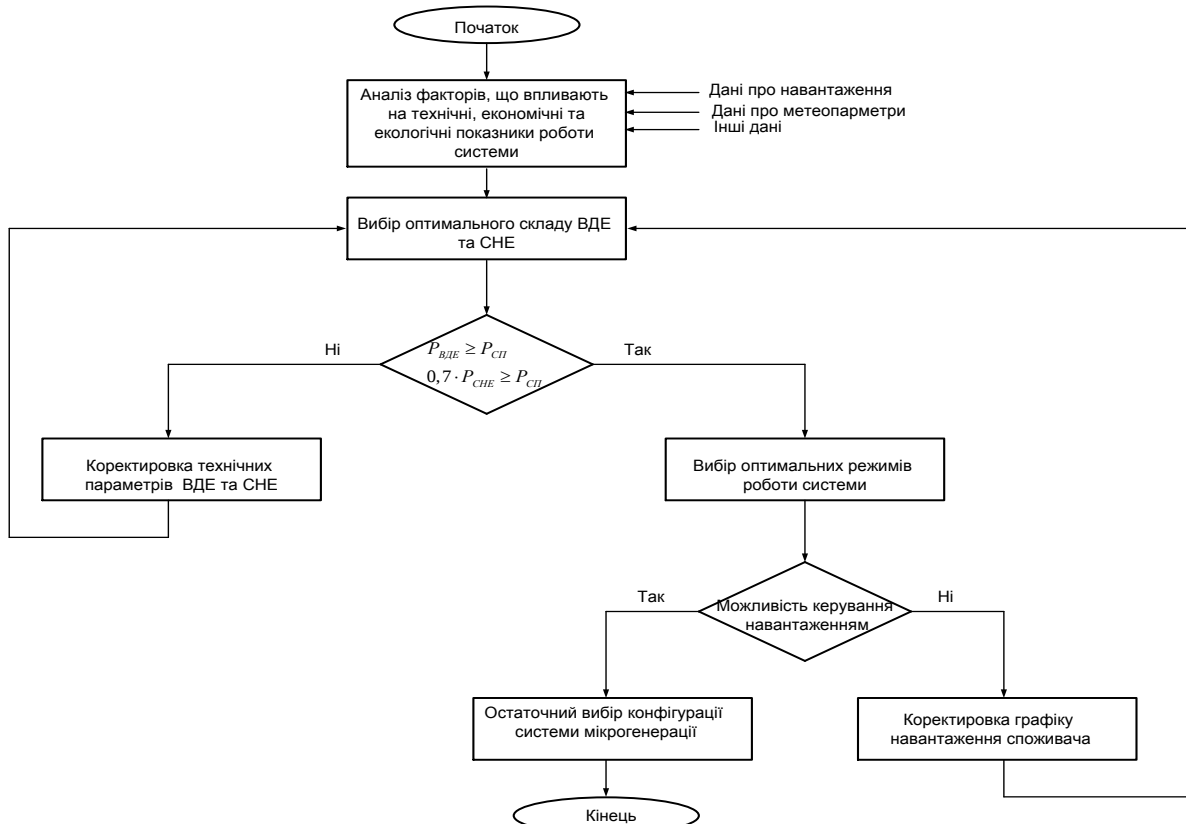
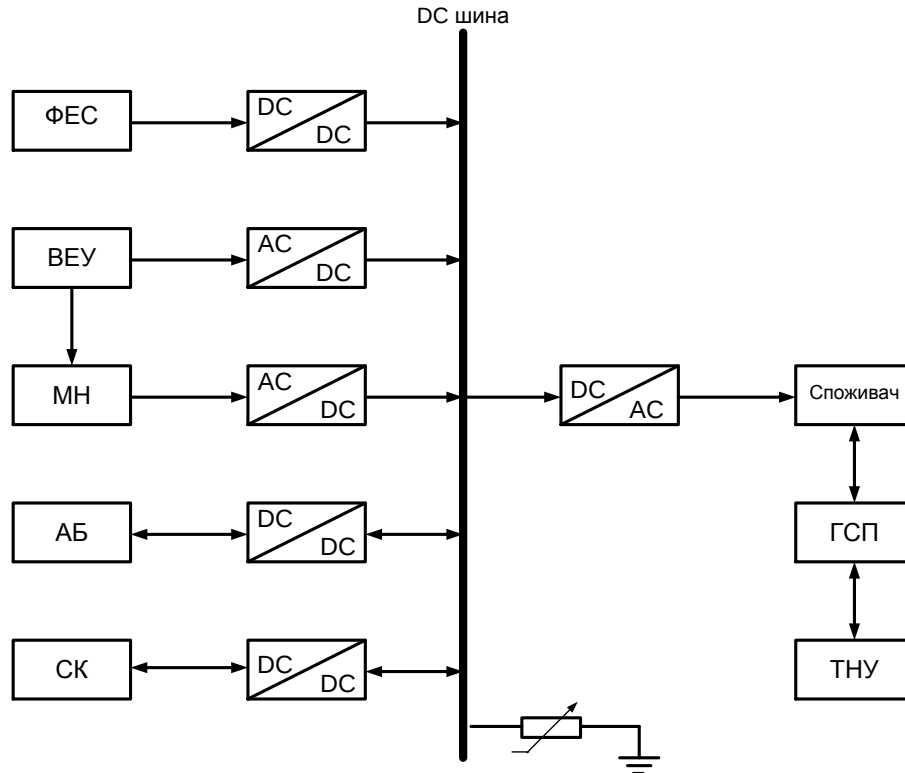


Рисунок 2 – Алгоритм комплексного обґрунтування складу та режимів роботи гібридної автономної системи мікрогенерації

Аналіз гібридизації ВДЕ для систем мікрогенерації з технічної та економічної точок зору та згідно наведеного на рис.2 алгоритму дозволяє зробити висновок, що комбінація ФЕС, ВЕУ та ТНУ є найкращою у

забезпечені найвищою енергоефективністю, при чому ФЕУ та ВЕУ генерують електричну енергію, а ТНУ – теплову.

Розроблена структурна схема оптимальної гібридної автономної системи мікрогенерації наведена на рис.3.



АБ – акумуляторна батарея; СК – блок суперконденсаторів; ГСП – гідравлічна система підключення; AC/DC, DC/DC, DC/AC – інвертори.

Рисунок 3 – Структурна схема оптимальної гібридної автономної системи мікрогенерації з ВДЕ

Кожен компонент гібридної автономної системи мікрогенерації третього типу має свої недоліки та переваги, але у сукупності система буде стійкою, енергоефективною, надійною та екологічною.

Математична модель запропонованої гібридної автономної системи мікрогенерації базується на виконанні балансу потужностей:

– потужність системи мікрогенерації у режимі перевищення генерації над споживанням:

$$P_{CM} = P_{ФЕС} + P_{ВЕУ} + P_{ТНУ} - P_{СП} - P_{СНЕ} - \Delta P_C, \quad (1)$$

де $P_{ФЕС}, P_{ВЕУ}, P_{ТНУ}$ – потужності ВДЕ, кВт; $P_{СП}$ – потужність споживання, кВт; $P_{СНЕ}$ – потужність СНЕ, кВт; ΔP_C – втрати потужності у системі, кВт.

Потужності складових системи мікрогенерації:

$$P_{ФЕС} = m \cdot S_{ФЕП} \cdot G_t \cdot \eta_{ФЕП} \cdot (1 - P_n), \quad (2)$$

де m – кількість панелей; $S_{ФЕП}$ – площа панелей, м²; $\eta_{ФЕП}$ – ККД панелі, %; P_n – коефіцієнт зниження вироблення енергії панеллю у результаті нагріву, %.

$$P_{ВЕУ} = k \cdot D^2, \quad (3)$$

де k – коефіцієнт, що включає середньорічну швидкість вітру, щільність повітря, коефіцієнт використання енергії вітрового потоку, сумарний ККД елементів силового тракту ВЕУ, інші постійні величини; D – діаметр вітроколеса.

$$P_{СНЕ} = P_{МН} + P_{АБ} + P_{СК}, \quad (4)$$

де $P_{МН}, P_{АБ}, P_{СК}$ – потужності накопичувачів СНЕ, кВт.

– потужність системи мікрогенерації у режимі перевищення споживання над генерацією:

$$P_{CM} = P_{ФЕС} + P_{ВЕУ} + P_{ТНУ} - P_{СП} + P_{СНЕ} - \Delta P_{CM}. \quad (5)$$

Обґрунтування оптимального складу джерел та накопичувачів у автономній системі мікрогенерації передбачає обов'язковий вибір алгоритмів управління.

В алгоритм управління режимами запропонованої гібридної системи мікрогенерації покладені наступні принципи:

1. Максимальне корисне використання електроенергії, що генерується ВЕУ та ФЕС та теплової енергії, що генерується ТНУ.

2. Розподілення сгенерованої ВДЕ енергії на потреби конкретизованого електрообладнання споживача та її перерозподіл при необхідності компенсації нестачі вироблення енергії від якогось з ВДЕ.

3. Миттєва компенсація потужності споживання за рахунок СНЕ у послідовності: спочатку розряджаються МН та СК, а АБ у останню чергу, але повний розряд накопичувачів недопустимий.

Для практичної реалізації алгоритму керування необхідний постійний контроль за запасом енергії у накопичувачах СНЕ та поточними значеннями генерованої, споживаної та акумульованої потужностями. Послідовність та ступінь заряду-розряду гібридних накопичувачів СНЕ забезпечується за допомогою інтелектуальної системи керування. Як було зазначено вище, для запропонованої системи мікрогенерації можливо два основних режими роботи. Перший – коли вихідна потужність ВДЕ більше споживаної активної потужності навантаження. В У цьому режимі споживач повністю забезпечується енергією від ВДЕ, а надлишки потужності спрямовуються на заряд накопичувачів СНЕ. При цьому, одна частина СНЕ може заряджатися від ФЕС, а саме АБ та СК, друга частина СНЕ від ВЕУ, а саме МН. У випадках, коли СНЕ повністю заряджена, а надлишок енергії ще присутній, то вона розсіюється на баластних опорах. Другий режим – коли вихідна потужність ВДЕ менша за споживану активну потужність навантаження. В цьому режимі інтелектуальна система керування визначає нестачу потужності, необхідної споживачеві, та компенсує її за рахунок СНЕ.

Висновки.

Розроблений алгоритм комплексного обґрунтування складу та режимів роботи гібридної автономної системи мікрогенерації заснований на розрахунку та порівняльному аналізі енергетичних характеристик гібридних складових автономної системи з урахуванням потреб електропостачання конкретного споживача та з прив'язкою до кліматичних умов місця її розташування.

Запропонована структура оптимальної гібридної автономної системи мікрогенерації має високі енергетичні показники за рахунок раціонального вибору встановлених потужностей генеруючих та акумулюючих джерел. Також система має високий рівень надійності та екологічності, що є важливим аспектом розвитку децентралізованої енергетики.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Афонин, В. С., Васильков, А. Г., Дерюгина, Г.В., Тягунов, М.Г., Шестопалова Т.А. (2012) Системные свойства гибридных энергокомплексов на основе возобновляемых источников энергии, Энергоресурсосбережение и энергоэффективность, 2(44), с. 20-27.
- [2] Гордиевский, Е.М., Мирошниченко, А.А., Кулганатов, А. З., Соломин, Е.В. (2019) Разработка имитационной модели мобильного энергокомплекса на базе viz в программе MATLAB, Электротехника, информационные технологии, системы управления, 31, с.51–71.
- [3] Сивенко, М.М., Мірошник, О.О., Середа, А.І. (2021) Розрахунок оптимальних параметрів накопичувачів та відновлювальних джерел енергії в ізованих енергосистемах, Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика, надійність та енергоефективність, 1(2), с. 91-95.
- [4] Бердников, Р.Н., Фортов, В.Е., Сон, В.Е., Деньщиков, К.К., Жук, А.З., Шакарян, Ю.Г. (2013) Гибридный накопитель для ЕНЕС на базе аккумуляторов и суперконденсаторов, Энергия единой сети, 2(7), с. 40-51.
- [5] Лежнюк, П.Д., Рубаненко, О.Е. (2018) Оптимізація режимів з відновлювальними джерелами енергії. Вінниця: ВНТУ. 174 с.
- [6] Удалов, С.Н. (2013) Возобновляемые источники энергии. Новосибирск.: НГТУ. 459 с.
- [7] Обухов, С.Г., Шутов, Е.А., Хошнау, З.П. (2017) Методика выбора ветроэнергетических установок малой мощности, Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность, 2, с.25–30.
- [8] Удалов, С.Н., Захаров, А.А. (2013) Гибридная система электроснабжения для автономного дома, Энерго- и ресурсоэффективность малоэтажных жилых зданий: материалы. науч.- практ. конф., 19-20 марта 2013 г., Новосибирск: Институт Теплофизики им. С.С. Кутателадзе, с. 111-115.

REFERENCES

- [1] Afonin, V. S., Vaskov, A. G., Deryugina, G. V., Tyagunov, M. G., Shestopalova T. A. (2012) System properties of hybrid energy complexes based on renewable energy sources, Energy saving and energy efficiency, 2 (44), p. 20-27.
- [2] Gordievsky, E. M., Miroshnichenko, A. A., Kulganatov, A. Z., Solomin, E. V. (2019) Development of a simulation model of a mobile power complex based on RES in the MATLAB program, Electrical engineering, information technology, control systems, 31, pp. 51–71.
- [3] Sivenko, MM, Miroshnik, OO, Sereda, AI. (2021) Achievement of optimal parameters for accumulating and unloading energy sources in isolated power systems, Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Energy, reliability and efficiency, 1 (2), p. 91-95.

- [4] Berdnikov, R.N., Fortov, V.E., Sleep, V.E., Denshchikov, K.K., Zhuk, A.Z., Shakaryan, Yu.G. (2013) Hybrid storage for EHC based on batteries and supercapacitors, *Energy of a unified network*, 2 (7), p. 40-51.
- [5] Lezhnyuk, P.D., Rubanenko, O.C. (2018) Optimization of regimes with input power dzhherels. Vinnytsia: VNTU. 174 p.
- [6] Udalov, S.N. (2013) *Renewable Energy Sources*. Novosibirsk.: NSTU. 459 p.
- [7] Obukhov, S.G., Shutov, E.A., Khoshnau, Z.P. (2017) Methodology for the selection of wind power plants of low power, *Electrical engineering, electric power industry, electrical industry*, 2, p. 25–30.
- [8] Udalov, S.N., Zakharov, A.A. (2013) A Hybrid Power Supply System for an Autonomous Home, *Energy and Resource Efficiency of Low-Rise Residential Buildings: Materials. scientific - practical. Conf.*, March 19-20, 2013, Novosibirsk: Institute of Thermophysics named after S.S. Kutateladze, p. 111-115.

Надійшла до редколегії 29.10.2021

Рецензент: Нікіфоров А. П., д-р техн. наук

N. SAVCHENKO

State Institution of Higher Education «Donetsk National Technical University»

Justification of the optimal structure of a hybrid autonomous microgeneration system. The issues of optimization of the composition of energy sources and storage units in hybrid autonomous microgeneration systems are considered. The development of renewable energy, namely its decentralization and autonomy, is today the main issue in the energy sector. At the same time, it is a solution to the problems of an increasing level of electricity consumption and an increase in carbon dioxide emissions into the atmosphere during electricity production. The introduction of small-scale power generation, namely autonomous microgeneration systems, is an extraordinary task that needs an immediate substantiated solution. The use of one type of power supply in stand-alone systems is unreliable and inefficient. In the process of evolution of autonomous systems, so-called hybrid systems have appeared, using several power sources with different principles of generating electricity. The article presents a new approach to the classification of hybrid autonomous systems based on the degree of hybridization of its components. Justification of the optimal composition of a hybrid autonomous microgeneration system, namely the optimal composition of sources and storage of electricity, is closely related to the determination and optimization of its operating modes. An integrated approach to optimizing the composition and operating modes of an autonomous microgeneration system with renewable energy sources and active consumers of electricity is considered. The algorithm developed in the article for a comprehensive substantiation of the composition and operating modes of a hybrid autonomous system is based on the calculation and comparative analysis of the energy characteristics of the hybrid components of an autonomous system, taking into account the needs of power supply of a particular consumer and with reference to the climatic conditions of its location. On the basis of the analysis, the structure of the optimal hybrid autonomous microgeneration system is proposed, which has high energy performance due to the rational choice of the installed capacities of generating and accumulating sources. The system has a high level of reliability and environmental friendliness, which is an important aspect of the development of decentralized energy. For the proposed structure, an algorithm for controlling the operating modes of a system with renewable hybrid energy sources and a hybrid energy storage system has been developed. A mathematical model of the proposed hybrid autonomous microgeneration system is presented.

Key words: *hybrid autonomous microgeneration system, renewable energy sources (RES), energy storage system (ESS).*