

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЯК ВИСОКОМАНЕВРОВОЇ ПОТУЖНОСТІ З ЗАСТОСУВАННЯМ В РІЗНИХ ВУЗЛАХ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

Івахнов А. В., Лазуренко О. П., Федорчук С. О.

Національний Технічний Університет "Харківський Політехнічний Інститут"

Запропоновано аналіз проблем дотримання балансу в енергосистемі з метою створення універсальної моделі для дослідження впливу систем накопичення електроенергії на якість електроенергії.

Постановка проблеми. Питанням маневрової спроможності електростанцій та балансу потужності в енергосистемі займалися вже з початку розвитку енергетичної галузі, так як основна її особливість – необхідність для стабільної роботи енергосистеми одночасного споживання і генерації електричної енергії. Саме нерівномірність графіку споживання вносить небаланс потужності і виявляє необхідність маневрувати джерелом генерації. Проблема "споживача" для енергетичної галузі полягає в непередбачуваності, неможливості стовідсоткового прогнозування зміни навантаження споживання. Ще одним джерелом внесення небалансу в енергосистемі є відновлювальні джерела електроенергії (ВДЕ), через свою повну залежність від погодних умов [1, 2]. Ці два фактори ставлять питання необхідності мати в енергосистемі достатні високоманеврові потужності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Актуальною проблемою для енергозбутових компаній на сьогодні є прогнозування "на добу вперед" [3], на основі якого надаються погодинні дані про планове споживання електроенергії. Відхилення від фактичного графіку в більшу чи меншу сторону призводить до того, що енергозбутова компанія несе додаткові затрати на викуп недостатніх об'ємів електроенергії за більшу вартість і продаж надлишкових об'ємів за нижчу вартість, ніж закладений в результаті торгів [4].

Розглядаючи генерацію електричної енергії за допомогою ВДЕ можна прослідити, що окрім усіх екологічних та інших переваг, що надають ВДЕ, цей вид генерації погодо-залежний в великій мірі. Прикладом такої залежності є дослідження прогнозних та реальних даних на основі енергії вітру (рис.1), що розглядається в [5]. З рисунку видно, що прогнозне і реальне значення генерації відрізняється.

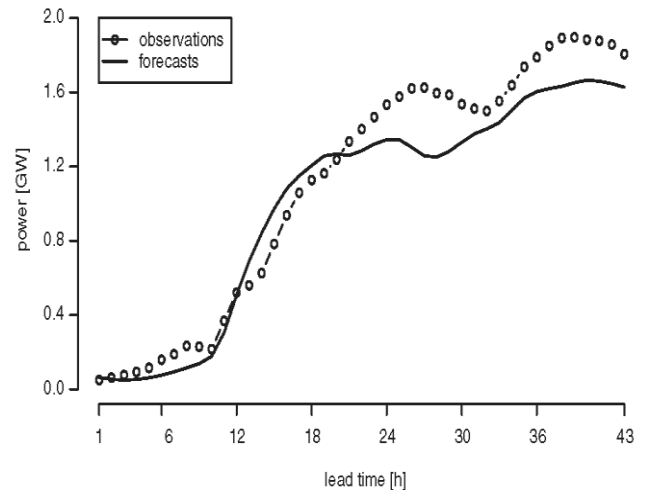


Рисунок 1 – Прогноз генерації електроенергії за допомогою вітру 4-го квітня 2007 року повної потужності берегової електростанції Західного Денмарку [5]

Для зменшення небалансу потужності в енергосистемі і як наслідок підвищення параметрів якості електроенергії пропонується використання систем накопичення електроенергії (СНЕ). На сьогодні існує велика кількість різних видів СНЕ [6]. У табл. 1 наведено дані результатів дослідження американського департаменту енергетики (The US DOE), що показують придатність встановлення СНЕ відповідно до вузла енергосистеми.

Таблиця 1 – Коротка інформація про сучасні технології зберігання та придатності впровадження в різних вузлах [7]

Технологія в фокусі дослідників	Традиційна генерація	ВДЕ	Відновлювальні міні-мережі	В вузлах передачі	В вузлах розподілення	В вузлах навантаження
ГАЕС	Придатна	Розвивається	Непридатна	Придатна	Розвивається	Непридатна
Пневмоакумулятори	Придатна	Розвивається	Непридатна	Придатна	Розвивається	Непридатна
Електрохімічні	Розвивається	Розвивається	Розвивається	Придатна	Придатна	Придатна
Хімічні	Розвивається	Розвивається	Розвивається	Розвивається	Непридатна	Розвивається
Електромагнітні	Непридатна	Розвивається	Розвивається	Придатна	Придатна	Непридатна
Теплова (маневрування джерелом енергії)	Придатна	Розвивається	Розвивається	Розвивається	Розвивається	Придатна

Ці дані представлені як ознайомчі, через те, що базуються на типовому їх використанні, можуть відрізнятися в певних умовах. Відповідно до типу СНЕ, вони можуть встановлюватися в різних вузлах генерації, виходячи зі своїх переваг та недоліків. Так, розглядаються варіанти встановлення СНЕ у вузлу генерації – АЕС [8] (для забезпечення стабільної і безпечної роботи в базовому режимі роботи), ВДЕ [1, 2, 5, 7]. Для ТЕС це питання не розглядається так як ТЕС мають розподіл на ті, що приймають участь у маневруванні і ті, що працюють у базовому графіку навантаження з незначним маневруванням. Застосування СНЕ для вузлів розподілення електроенергії це питання детально не розглянуто. Широко розглядається можливість встановлення системи накопичення на стороні споживача [5, 7], що дозволяє отримати безліч переваг: 1) Можливість, теоретично, досягнення повної прогнозованості споживання; 2) Вирівняти графік потужності споживання; 3) Дати змогу традиційним електростанціям працювати з базовим, стабільним навантаженням, та ін.

Мета статті. Пропонується розробка універсальної математичної та комп'ютерної моделей для дослідження впливу СНЕ як високоманеврової потужності на якість електроенергії дотриманням балансу в енергосистемі з контролюванням частоти, як одного з найбільш важливих показників якості електроенергії.

Основні матеріали дослідження. При складанні математичної моделі прийнято ряд спрощень, в порівнянні з реальними фізико-математичними процесами, що протікають в обладнанні необхідному для роботи електроенергетичної системи. Комп'ютерне моделювання проводимо за допомогою програмного забезпечення MatLab, надбудова Simulink.

Основне рівняння балансу визначимо формулою

$$\Delta P = P_{\text{ген}} - P_{\text{нав}}, \quad (1)$$

де $P_{\text{ген}}$ – активна потужність генерації;

$P_{\text{нав}}$ – активна потужність навантаження.

Потужність отриману від (1) використовуємо для визначення струму i в подальшому ємності СНЕ, за формулою

$$i_{\text{СНЕ}} = \frac{\Delta P}{U_{\text{СНЕ}}}, \quad (2)$$

де U – напруга на шинах з'єднання акумуляторів, задаємо константою.

Зі значення струму (2) визначаємо параметр стану заряду СНЕ, SOC , за формулою

$$SOC = C_{\text{поч}} - \frac{1}{C} \cdot \int i \cdot dt, \quad (3)$$

де $C_{\text{поч}}$ – стан початкового заряду СНЕ;
 C – ємність батареї.

Оптимальний стан заряду та глибини розряду визначається відповідно до типу СНЕ. В моделі прийня-

то оптимальні параметри, що відповідають літій-іонним накопичувачам.

З відомих струму (2) та напруги, визначаємо потужність СНЕ за формулою

$$P_{\text{СНЕ}} = i_{\text{СНЕ}} \cdot U_{\text{СНЕ}} \quad (4)$$

Складаючи різницю потужностей генерації та споживання з потужністю СНЕ, визначаємо дотримання балансу потужності, має в ідеальному випадку дорівнювати 0, за формулою:

$$P_{\text{бал}} = \Delta P - P_{\text{аб}} \quad (5)$$

Визначимо алгоритм згідно якого будуть працювати елементи моделі разом (рис.2).

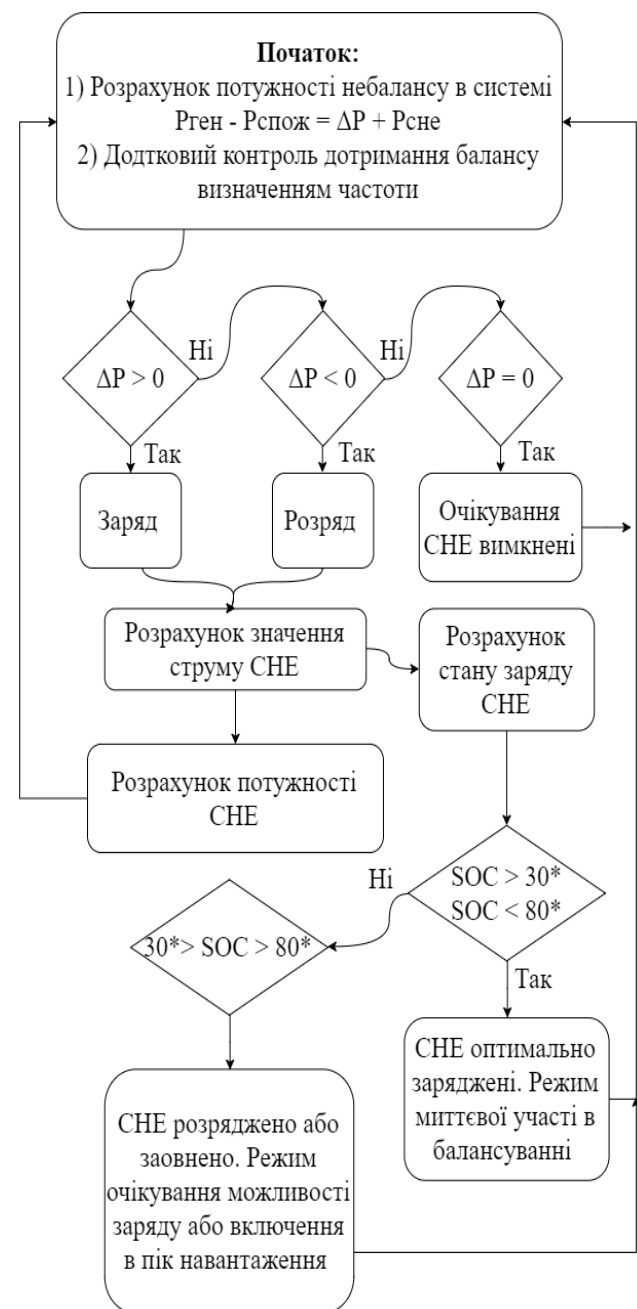


Рисунок 2 – Алгоритм проведення моделювання

Окрім знаходження небалансу потужностей на рівні 0, додатковий критерій відслідковування частоти визначається наступним чином

$$T \cdot \frac{df}{dt} + D \cdot \Delta f = \Delta P \quad (6)$$

де T – постійна часу;
 D – коефіцієнт демпфування;
 f – частота.

Для нормального спрацьовування накопичувачів в модель необхідно ввести систему керування. Реалізація такої системи виконується блоком MATLAB Function, за допомогою написання програмного коду синтаксисом MatLab (рис.3).

```
function [system, battery] = fcn(SOC)
%#codegen
system = 0;
battery = 1;

if and (SOC > 30, SOC < 80)
    system = 0;
    battery = 1;
elseif or (SOC <= 30, SOC >= 80)
    system = 1;
    battery = 0;
end
```

Рисунок 3 – Програмний код системи керування спрацьовуванням СНЕ

Дослідження з усіма припущеннями проводимо за умовно заданими параметрами, так задаємо графіком навантаження з вираженими піками і провалами, де базове стає значення 100 (рис.4).

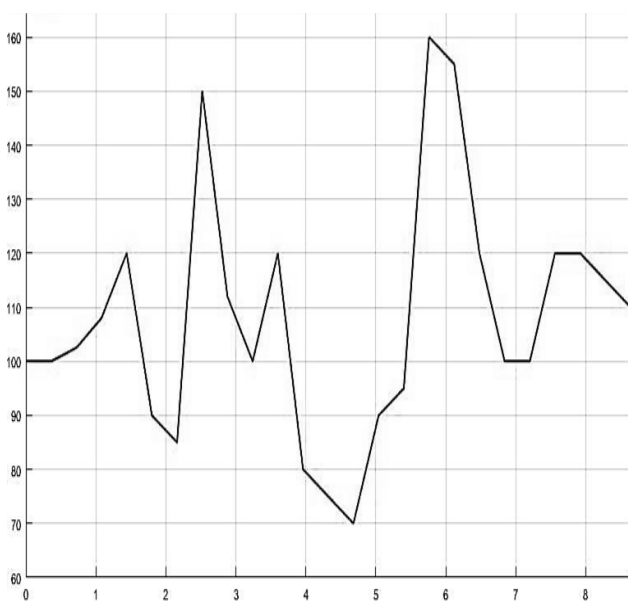


Рисунок 4 - Графік навантаження заданий в блоці Signal Builder

Враховуючи усі допущення математичної моделі, видно, що для побудови комп'ютерної моделі краще використовувати базові блоки надбудови Simulink, так як блоки SimPowerSystems дуже важкі для проведення моделювань через надмірність розрахованих одночасно параметрів. Загальний вид отриманої моделі показано на рис.5.

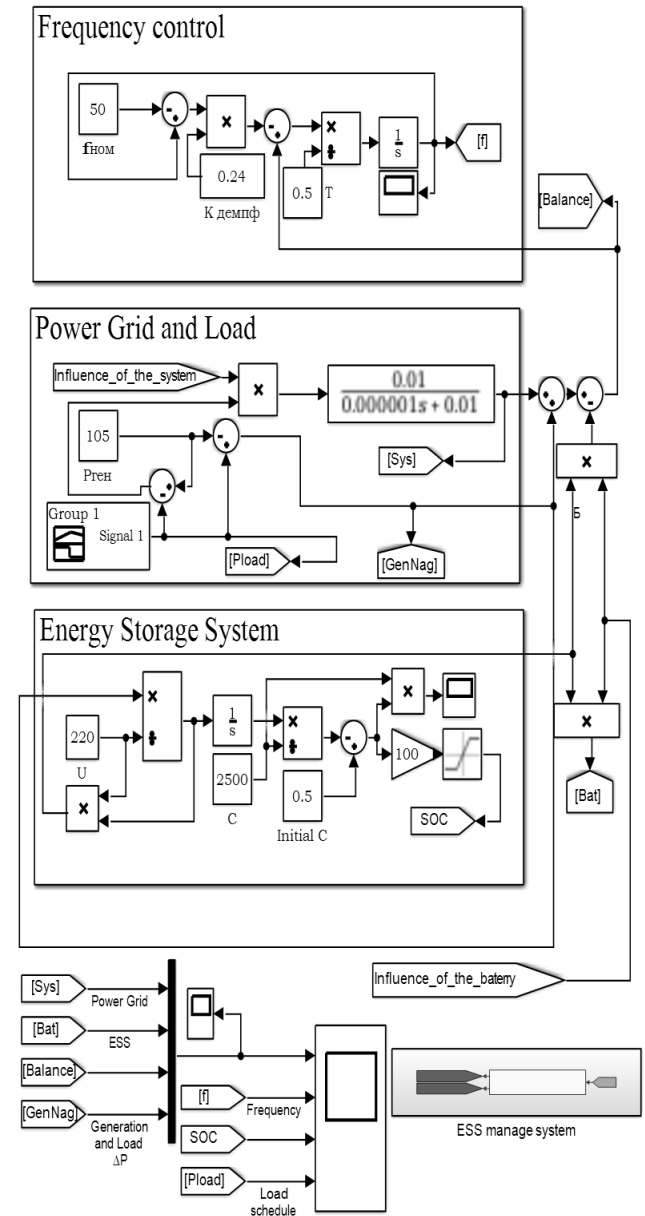
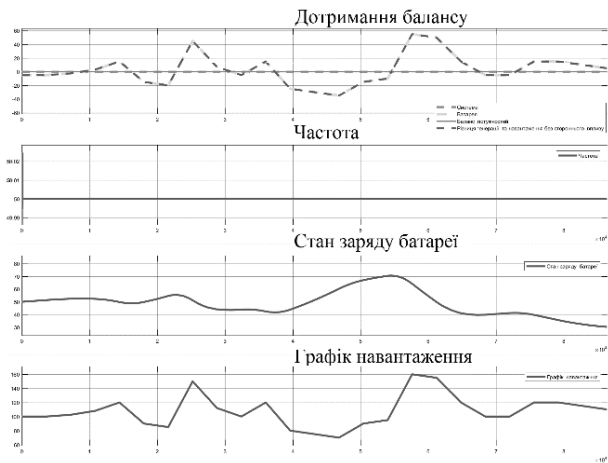


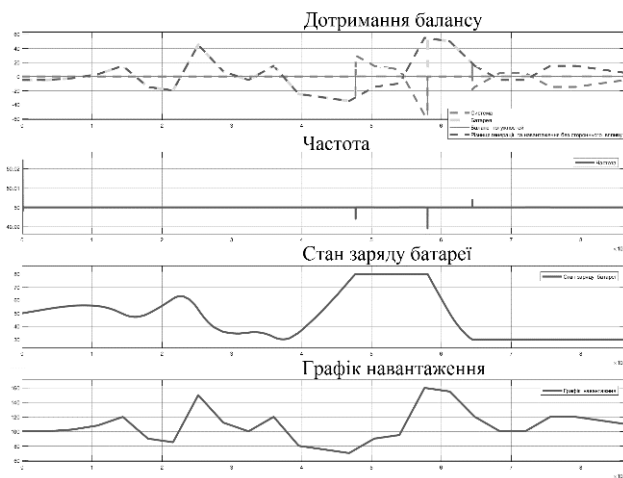
Рисунок 5 – Загальний вид побудованої моделі

Моделювання проводимо в двох режимах:

- 1) "Нормальний", коли ємності СНЕ вистачає повністю, навіть з запасом. Економічну складову по ємності СНЕ в експерименті не враховано;
- 2) "Аварійний". Модульність конструкції в випадку акумуляторних батарей робить можливим вихід з ладу одного або декілька модулів зі збереженням інших. В механічних СНЕ це може бути вихід з ладу деяких обертових механізмів і т.д. Тобто в цьому режимі ми передбачаємо "зменшення ємності" СНЕ.



a)



b)

Рисунок 6 – Результати моделювання: а) Нормального режиму; б) Аварійного режиму

Висновки. За допомогою допроектного моделювання отримано результати, за якими видно позитивний вплив СНЕ на якісь електроенергії, вид розробленої моделі може свідчити про її універсальність в застосуванні з різними вузлами енергосистеми. В подальшому модель буде допрацьовано з тим, щоб відслідковувати процеси коли система має одночасно усі види генерації та СНЕ.

Список використаних джерел

1. Report on Forecasting, Concept of Renewable Energy Management Centers and Grid Balancing [Електронний ресурс] // GIZ. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://mnre.gov.in/file-manager/UserFiles/draft-report-fscb-remcs.pdf>.
2. Vidyavathi K. Integration of Renewable Energy Technologies in AC Power System Grid [Електронний ресурс] / K. Vidyavathi, N. Divya, M. Dhana Lakshmi // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.irjet.net/archives/V5/i5/IRJET-V5I5484.pdf>.

3. Про ринок електричної енергії Закон України від 13.04.2017 № 2019-VIII. Стаття 67. Ринок "на добу наперед" та внутрішньодобовий ринок [Електронний ресурс] // Верховна Рада України – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#n1345>.

4. Кретов Д. А. Прогнозирование электропотребления энергосбытовой компании с использованием искусственной нейронной сети [Електронний ресурс] / Д. А. Кретов, Р. В. Рузанов // Инженерный вестник Дона. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2880>.

5. Integrating Renewables in Electricity Markets – Springer New York Heidelberg Dordrecht London: Springer, 2014. – 434 с. – (Springer). – (International Series in Operations Research & Management Science; вип. 205).

6. Івахнов А. В. Системи акумулювання електроенергії, аналіз можливостей та їх поєднання для застосування в енергосистемі / А. В. Івахнов, О. П. Лазуренко, С. О. Федорчук. // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Енергетика надійність та енергоефективність. – 2018. – №10. – С. 53–59.

7. Innovation Outlook: Renewable Mini-grids [Електронний ресурс] // IRENA. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.irena.org/publications/2016/Sep/Innovation-Outlook-Renewable-mini-grids>.

8. Кононенко В. Ю. Возможности использования сетевых накопителей энергии и их эффективность [Електронний ресурс] / В. Ю. Кононенко, Д. О. Смоленцев, О. В. Вещунов // Известия Академии Наук. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21686020>.

Аннотация

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ КАК ВЫСОКОМАНЕВРЕННОЙ МОЩНОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ В РАЗНЫХ УЗЛАХ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Ивахнов А. В., Лазуренко А. П., Федорчук С. О.

Предложено анализ проблемы поддержания баланса в энергосистеме с целью создания универсальной модели для исследования влияния систем накопления электроэнергии на качество электроэнергии.

Abstract

MODELLING OF ENERGY STORAGE SYSTEMS AS HIGHLY-MANEUVERING POWER BY USING IT IN VARIOUS NODES OF POWER GRID

A. Ivakhnov, O. Lasurenko, S. Fedorchuk

The analysis of a problem of balance in a power grid is offered aiming at making a universal model for researching the impact of energy storage systems on the quality of electricity.