

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва інституту)

Кафедра електропостачання

_____ (повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
в.о. завідувача кафедри
_____ Денис ДЕРЕВ'ЯНКО
«__» _____ 2022 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
спеціалізації Системи забезпечення споживачів електричною енергією
на тему: «Підвищення ефективності функціонування Microgrid систем з накопичувачами в умовах лібералізованого ринку електричної енергії»

Виконала: студент II курсу, групи ОЕ-11мп

Воробель Володимир Васильович

(прізвище, ім'я по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник к.т.н., доц. Ткаченко В. В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Консультант нормоконтроль Черкашина Г.І

(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2022 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний
інститут імені Ігоря
Сікорського»**

Інститут/факультет Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра електропостачання

(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Спеціалізація «Системи забезпечення споживачів електричною енергією»

в.о. завідувача кафедри

_____ Денис ДЕРЕВ'ЯНКО

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Воробель Володимир Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Підвищення ефективності функціонування *Microgrid* систем з накопичувачами в умовах лібералізованого ринку електричної енергії»

науковий керівник дисертації к.т.н., доц. Ткаченко В. В.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від 09 листопада 2022 р. №4128-1

2. Строк подання студентом дисертації 15 грудня 2022 року

3. Об'єкт дослідження: процес заряджання електромобілів від гібридної системи.

4. Предмет дослідження: *MicroGrid* системи на основі систем накопичення електричної енергії

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

- аналіз *MicroGrid* систем;

- аналіз існуючого законодавства та лібералізованого ринку електричної енергії на можливість впровадження *MicroGrid* систем;

- інтеграція відновлюваних джерел енергії *MicroGrid* системи;

- аналіз систем накопичення електричної енергії на можливість реалізації стратегії цінового арбітражу;

- моделювання взаємодії накопичувачів електричної енергії із існуючою системою навантаження та розподіленої генерації;

- проведення розрахунків стратегії цінового арбітражу на основі систем накопичення електричної енергії;

- розроблення стартап проекту.

6.Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація

7.Орієнтовний перелік публікацій: 1) Дерев'яно Д.Г. Підвищення ефективності функціонування Microgrid систем з накопичувачами. / Дерев'яно Д.Г., Воробель В. В.// Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2022. – № 4. – С. – ISSN 1813-5420. 2.) Воробель В. В. Визначення оптимальних параметрів накопичувачів в умовах роботи лібералізованого ринку електричної енергії України. / Воробель В. В.// Збірник праць V Науково-технічної конференції магістрантів НН ІЕЕ, 2022. – (Київ, 9-14 грудня 2022 рік) - ст. 38-39.

8.Консультанти розділів дисертації

Нормоконтроль

Черкашина Г.І.

9.Дата видачі завдання 01 вересня 2022 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів МД	Примітка
1	Отримання завдання	01.09.2022	Виконано
2	Аналіз літературних джерел	01.09.2022-01.10.2022	Виконано
3	Формування плану роботи	01.10.2022-14.10.2022	Виконано
4	Розробка першого та другого розділу	01.11.2022-01.12.2022	Виконано
5	Розробка третього розділу	01.12.2022-14.12.2022	Виконано
6.	Розробка стартап проєкту	14.12.2022-17.12.2022	Виконано
7.	Оформлення дисертації		Виконано
8.	Оформлення реферату та презентації, проходження перевірки на плагіат та рецензування	20.12.2022	Виконано
9.	Передзахист МД	14. 12.2022	Виконано
10.	Захист дисертації	22.12.2022	Виконано

Студент

_____ (підпис)

Воробель В. В.

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

Ткаченко В. В.

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація виконана на тему «Підвищення ефективності функціонування Microgrid систем з накопичувачами в умовах лібералізованого ринку електричної енергії». Дисертація містить 91 сторінку основного тексту, 36 рисунків, 16 таблиць, 46 бібліографічних джерел за переліком посилань та 1 додаток.

Актуальність теми. В умовах значного фізичного зносу та морального старіння існуючих генеруючих потужностей та системи розподілу електричної енергії виникає висока необхідність у їх модернізації з закладанням можливості подальшого розвитку ВДЕ та впровадження SmartGrid.

Значний ріст вартості енергоносіїв зміщує виробництва шукати можливість для покриття частини власних потреб, та перенесення основного споживання у періоди із нижчою вартістю електричної енергії.

В даний час, існує велика кількість виробництв, які впровадили альтернативні джерела енергії для покриття власних потреб, однак їх непередбачуваність, сезонна та добова залежність негативно впливає не лише на їх ефективне використання інвесторами, але й на роботу енергосистеми загалом.

Впровадження MicroGrid систем дозволить зменшити негативний вплив розосередженої генерації на енергосистему, підвищить надійність та якість електричної енергії для споживачів, знизить затрати на енергоносії та забезпечить можливість розвитку галузі ВДЕ у майбутньому.

MicroGrid на кількох рівнях допомагає вирішити існуючі проблеми та дозволить уникнути проблем у майбутньому. До того ж, переваги впровадження таких систем всебічні, як для сторони споживача, так і для сторони енергосистеми.

Метою магістерської дисертації є підвищення ефективності функціонування Microgrid систем з накопичувачами в умовах лібералізованого ринку електричної енергії шляхом запровадження стратегії цінового арбітражу для накопичувачів електричної енергії.

Для досягнення поставленої мети важливо вирішити наступні завдання:

1. Аналіз структури та моделей сучасних Microgrid систем з накопичувачами електричної енергії;
2. Аналіз накопичувачів електричної енергії та моделей їх взаємодії з централізованими системами електропостачання та з джерелами розосередженої генерації;
3. Проаналізувати методи та способи визначення ефективної ємності систем накопичення електричної енергії для Microgrid систем з джерелами розосередженої генерації;
4. Розробка стратегії цінового арбітражу для Microgrid систем з накопичувачами електричної енергії.

Об'єктом дослідження є процес взаємодії MicroGrid систем з накопичувачами електричної енергії із сегментами ринку електричної енергії.

Предметом дослідження є методи та стратегії цінового арбітражу, а також режими MicroGrid систем з накопичувачами електричної енергії.

Методи дослідження. Дослідження засновані на аналізі за допомогою математичних моделей.

Наукова новизна результатів дослідження.

На основі аналіз структури та моделей сучасних Microgrid систем з накопичувачами електричної енергії та моделей їх взаємодії з централізованими системами електропостачання та з джерелами розосередженої генерації запропоновано стратегію цінового арбітражу котра дає змогу максимізувати рентабельність Microgrid систем з джерелами РГ та накопичувачами електричної енергії.

На основі запропонованої стратегії цінового арбітражу у поєднанні з проаналізованими методами та способами визначення ефективної ємності систем накопичення електричної енергії для Microgrid систем з джерелами розосередженої генерації запропоновано алгоритм, котрий дає змогу визначення ефективної ємності системи накопичення.

Практичне значення отриманих результатів.

Отримані результати моделювання можуть використовуватися:

- для модернізації існуючих систем навантаження із розосередженою генерацією альтернативних джерел енергії, для підвищення комерційної ефективності використання.
- для реалізації стратегії цінового арбітражу електричної енергії на основі систем накопичення.
- для дослідження різних сегментів ринку електричної енергії з метою створення умов розвитку розподіленої генерації та поширення систем накопичення.

Апробація результатів роботи. Результати магістерської роботи були оприлюднені на:

1. VII Міжнародній науково-технічній конференції «Енергетичний менеджмент. Стан та перспективи розвитку – REMS`22».(Київ, 16 листопада 2022 р.);

2. V Науково-технічна конференція магістрантів НН ІЕЕ.(Київ, 9-14 грудня 2022р.).

Публікації.

1. Дерев`янку Д.Г. Підвищення ефективності функціонування Microgrid систем з накопичувачами. / Дерев`янку Д.Г., Воробель В.В.// Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2022. – № 4. – С. – ISSN 1813-5420.

2. Воробель В. В. Визначення оптимальних параметрів накопичувачів в умовах роботи лібералізованого ринку електричної енергії України. / Воробель В. В.// Збірник праць V Науково-технічної конференції магістрантів НН ІЕЕ, 2022. – (Київ, 9-14 грудня 2022 рік) - ст. 58-59.

Ключові слова: MICROGRID, СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ ПАНЕЛІ, АКУМУЛЯТОРНА БАТАРЕЯ, ЗАРЯДЖАННЯ, ЦІНОВИЙ АРБІТРАЖ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

ABSTRACT

The master's thesis was completed on the topic "Increasing the efficiency of functioning of Microgrid systems with storage devices in the conditions of a liberalized electricity market." The thesis contains 91 pages of the main text, 36 figures, 16 tables, 46 bibliographic sources according to the list of references and 1 appendix.

Actuality of theme.In the conditions of significant physical wear and tear and moral aging of the existing generating capacities and the electrical energy distribution system, there is a high need for their modernization with the possibility of further development of RES and the introduction of SmartGrid.

A significant increase in the cost of energy sources causes production to look for an opportunity to cover part of their own needs, and to transfer the main consumption to periods with a lower cost of electricity.

Currently, there are a large number of industries that have implemented alternative energy sources to cover their own needs, but their unpredictability, seasonal and daily dependence negatively affects not only their effective use by investors, but also the operation of the energy system in general.

The introduction of MicroGrid systems will reduce the negative impact of distributed generation on the energy system, increase the reliability and quality of electric energy for consumers, reduce the cost of energy carriers and provide the opportunity for the development of the RES industry in the future.

MicroGrid helps solve existing problems and avoid problems in the future on several levels. In addition, the advantages of implementing such systems are comprehensive, both for the consumer side and for the energy system side.

The purpose of the master's thesis is to increase the efficiency of the functioning of Microgrid systems with accumulators in the conditions of a liberalized electricity market by introducing a price arbitrage strategy for accumulators of electric energy.

To achieve the goal, it is important to solve the following tasks:

5. Analysis of the structure and models of modern Microgrid systems with

electric energy storage;

6. Analysis of electric energy storage and models of their interaction with centralized power supply systems and with sources of decentralized generation;

7. Analyze the methods and methods of determining the effective capacity of electric energy storage systems for Microgrid systems with distributed generation sources;

8. Development of pricing strategyarbitration forMicrogrid systems with electric energy storage.

The object of the research isthe process of interaction of MicroGrid systems with electric energy storage devices with segments of the electric energy market.

The subject of the research ismethods and strategies of price arbitrage, as well as regimesMicroGrid systems with electric energy storage.

Research methods.Researchbased on analysis using mathematical models.

Scientific novelty of the research results.

Based on the analysis of the structure and models of modern Microgrid systems with electric energy storage and models of their interaction with centralized power supply systems and sources of distributed generation, a strategy is proposedprice arbitrage that allows you to maximize profitabilityMicrogrid systems with RH sources and electric energy storage.

Based on the proposed strategyprice arbitragein combination with the analyzed methods and ways of determining the effective capacity of electric energy storage systems for Microgrid systems with sources of distributed generation, an algorithm is proposed that enables the determination of the effective capacity of the storage system.

Practical significance of the obtained results.

The obtained simulation results can be used:

- to modernize existing load systems with decentralized generation of alternative energy sources, to increase commercial efficiency of use.

- to implement the strategy of price arbitrage of electric energy based on storage systems.

- for the study of various segments of the electric energy market in order to create conditions for the development of distributed generation and the spread of storage systems.

Approbation of work results. The results of the master's work were published on:

3. VII International Scientific and Technical Conference "Energy Management. State and prospects of development - PEMS'22". (Kyiv, November 16, 2022);

4. V Scientific and technical conference of master's students of NN IEE. (Kyiv, December 9-14, 2022).

Publications.

1. Derevyanko D.G. Increasing the efficiency of functioning Microgrid systems with storage devices. / Derevyanko D.G., Vorobel V.V.// Energy: economy, technologies, ecology. – 2022. – No. 4. – P. – ISSN 1813-5420.

2. Vorobel V. V. Determination of optimal storage parameters in the conditions of operation of the liberalized electricity market of Ukraine. / V.V. Vorobel// Proceedings of the 5th Scientific and Technical Conference of Master's Students of the National Academy of Sciences of the Russian Academy of Sciences, 2022. - (Kyiv, December 9-14, 2022) - art. 58-59.

Keywords: MICROGRID, ELECTRICITY STORAGE SYSTEMS, PHOTOELECTRIC PANELS, ACCUMULATORY BATTERY, CHARGING, ELECTRICITY PRICE ARBITRATION

ЗМІСТ

ВСТУП	12
РОЗДІЛ 1 ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ MICROGRID СИСТЕМ В ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ УКРАЇНИ	15
1.1 Аналіз світових тенденцій впровадження MicroGrid.	15
1.2 Аналіз структури енергетики ОЕС України	26
1.3 Аналіз ринку електричної енергії та законодавчої бази на можливість впровадження MicroGrid	43
1.4 Системи накопичення електричної енергії як основа побудови MicroGrid систем	53
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ВПРОВАДЖЕННЯ MICROGRID СИСТЕМ НА ОСНОВІ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В УМОВАХ ФУНКЦІОНУВАННЯ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	67
2.1 Аналіз ринку електричної енергії для впровадження MicroGrid на основі систем накопичення електричної енергії	67
2.2 Методи Оцінки ефективності впровадження системи MicroGrid для інвестицій	71
2.3 Методики визначення ефективної ємності системи накопичення електричної енергії	73
РОЗДІЛ 3 ОПТИМІЗАЦІЯ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ MICROGRID НА ОСНОВІ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В УМОВАХ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	76
3.1 Розрахунок ефективної ємності накопичувача	76
3.2 Визначення та збір необхідних даних спотового ринку електричної енергії	80
3.3 Розрахунок коефіцієнту по волатильності спотового ринку для оптимізації використання MicroGrid на основі систем накопичення електричної енергії	83
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ	86
4.1 Поняття стартапу	86
4.2 Опис ідеї стартапу	87

4.3	Технологічний аудит проекту	88
4.4	Аналіз ринкових можливостей проекту	90
4.5	Розроблення ринкової стратегії проекту	91
4.6	Розроблення маркетингової програми стартап проекту	92
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	96
	ДОДАТОК А	100

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

ВДЕ – відновлювані джерела енергії

DG – розподілена генерація

MG – мікрогрід

EPRI – науково-дослідний інститут електроенергетики

РДЕ – розподілені джерела енергії

CERTS – консорціум по електричній надійності

PCC – точка загального зв'язку

SS – статичний перемикач

DPS – цифровий сигнальний процесор

ОЕС України – об'єднана енергосистема України

ЕЕС – електроенергетична система

ЛЕП – лінія електропередач

ОСП – оператор системи передач

АКБ – Акумуляторна батарея

СЕС – сонячна електростанція

ВСТУП

Існуюча в Україні система електропостачання потребує змін, до того ж саме структурних та організаційних змін, а не лише оновлення матеріального фонду. Причинами цього є зміна самої структури споживання та генерації, постійне зростання вартості енергоносіїв, необхідність у підвищенні екологічності енергетики. Зацікавленість у цьому є з усіх можливих сторін: великих приватних та національних енергетичних компаній, промислових та побутових споживачів, політичного керівництва держави.

На сьогодні, склалася ситуація коли у малого та середнього бізнесу з'явилися інструменти для входження у енергетичну галузь і вони почали активно їх використовувати, шукаючи нові можливості, беручи на себе ризики та організаційні затрати на розвиток нових галузей енергетики.

За роки існування «зеленого» тарифу, розвинулась не лише галузь ВДЕ, яка також гостро потребує впровадження як систем накопичення електричної енергії так і MicroGrid систем для прямої взаємодії із споживачами, але й створилася велика маса нових спеціалістів у енергетиці, які мають достатні знання та вміння для впровадження сучасних технологій у енергетику.

Широке поширення MicroGrid систем та накопичувачів електричної енергії стане «зміною правил гри» у енергетиці, виведе споживачів на рівноправну, партнерську взаємодію з генерацією та операторами розподільних мереж, з усіма можливостями та відповідальністю яку несе таке партнерство.

Актуальність теми. В умовах значного фізичного зносу та морального старіння існуючих генеруючих потужностей та системи розподілу електричної енергії виникає висока необхідність у їх модернізації з закладанням можливості подальшого розвитку ВДЕ та впровадження SmartGrid.

Значний ріст вартості енергоносіїв змішує виробництва шукати можливість для покриття частини власних потреб, та перенесення основного споживання у періоди із нижчою вартістю електричної енергії.

В даний час, існує велика кількість виробництв, які впровадили альтернативні джерела енергії для покриття власних потреб, однак їх непередбачуваність, сезонна та добова залежність негативно впливає не лише на їх ефективне використання інвесторами, але й на роботу енергосистеми загалом.

Впровадження MicroGrid систем дозволить зменшити негативний вплив розосередженої генерації на енергосистему, підвищить надійність та якість електричної енергії для споживачів, знизить затрати на енергоносії та забезпечить можливість розвитку галузі ВДЕ у майбутньому.

MicroGrid на кількох рівнях допомагає вирішити існуючі проблеми та дозволить уникнути проблем у майбутньому. До того ж, переваги впровадження таких систем всебічні, як для сторони споживача, так і для сторони енергосистеми.

Метою магістерської дисертації є оптимізація використання систем MicroGrid в умовах функціонування лібералізованого ринку електричної енергії.

Об'єктом дослідження є процес взаємодії MicroGrid систем, на основі накопичувачів електричної енергії із сегментами ринку електричної енергії.

Предметом дослідження є MicroGrid систем на основі накопичувачів електричної енергії.

Методи дослідження. Дослідження засновані на аналізі за допомогою математичних моделей.

Наукова новизна результатів дослідження.

Проведено комплексні дослідження складу, режимів роботи системи із навантаження, сонячної електричної станції з впровадженням накопичувача електричної в умовах ринку електричної енергії, що дозволило виявити напрями та можливості ефективного використання систем накопичення та розвитку MicroGrid.

Розроблено алгоритм визначення оптимальної ефективної ємності системи накопичення на основі історичних даних споживання навантаження, генерації сонячної електростанції та даних ринку електричної енергії.

Практичне значення отриманих результатів.

Отримані результати моделювання можуть використовуватися:

- для модернізації існуючих систем навантаження із розподіленою генерацією альтернативних джерел енергії, для підвищення комерційної ефективності використання.
- для реалізації стратегії цінового арбітражу електричної енергії на основі систем накопичення.
- для дослідження різних сегментів ринку електричної енергії з метою створення умов розвитку розподіленої генерації та поширення систем накопичення.

Апробація результатів роботи. Результати магістерської роботи були оприлюднені на:

5. VII Міжнародній науково-технічній конференції «Енергетичний менеджмент. Стан та перспективи розвитку – PEMS`22». (Київ, 16 листопада 2022 р.);

6. V Науково-технічна конференція магістрантів НН ІЕЕ. (Київ, 9-14 грудня 2022р.).

Публікації.

1. Дерев`янку Д.Г. Підвищення ефективності функціонування Microgrid систем з накопичувачами. / Дерев`янку Д.Г., Воробель В.В.// Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2022. – № 4. – С. – ISSN 1813-5420.

Ключові слова: MICROGRID, СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ ПАНЕЛІ, АКУМУЛЯТОРНА БАТАРЕЯ, ЗАРЯДЖАННЯ, ЦІНОВИЙ АРБИТРАЖ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

РОЗДІЛ 1 ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ MICROGRID СИСТЕМ В ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ УКРАЇНИ

1.1 Аналіз світових тенденцій впровадження MicroGrid

1.1.1 Опис системи MicroGrid

В умовах росту вартості енергії отриманої із викопних джерел палива, та їх негативний вплив на навколишнє середовище, особливо у розвинених країнах, різкий ріст отримали відновлювальні джерела енергії (ВДЕ). Однак, для їх подальшої інтеграції, необхідний розвиток розподільних мереж, які історично розбудовувались з акцентом на централізовану генерацію, а не розподілену. Це чи не останній сектор енергетики, який не взаємодіє із споживачами, та не отримує зворотного зв'язку від споживачів своїх послуг. Існуюча система розподілу є односторонньо ієрархічною, вона для своєї подальшої використовує накопиченні історичні данні, а не попит у реальному часі чи його прогнозовані рівні. Через це, система розрахована на проходження пікових навантажень у вечірні та ранішні години, а решту часу не використовує свій потенціал, а відповідно і капіталовкладення, ефективно [1].

Такі системи не можуть зберігати електричну енергію, ефективно використовувати відновлювальні джерела енергії, через їх непостійність та оптимізувати взаємодію із користувачами, пропонуючи їм широкий спектр послуг різної вартості.

Зараз можна виділити наступні проблеми, пов'язанні із постачанням електричної енергії:

- старіюча інфраструктура;
- надійність;
- безпека;
- ринкова динаміки;
- ціноутворення;
- розподілена генерація;
- ефективність та оптимізація;
- зростання витрат на енергоносії;

- вплив на навколишнє середовище;
- масова електрифікація;
- поновлювальні джерела енергії;

Для вирішення цих завдань, необхідно модернізувати електричні мережі, створивши додатковий інтелектуальний рівень управління та взаємодії із споживачами. Для цього впроваджують «розумні мережі» (Smart Grid), які більш технологічні, порівняння із існуючими мережами наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Порівняння існуючої та розумної мережі

Існуюча мережа	Smart Grid
Електромеханічна	Цифрова
Односторонній зв'язок	Двосторонній зв'язок
Централізована генерація	Розподілена генерація(DG)
Ієрархічна	Мережева
Невелика кількість датчиків	Датчики всюди
Відсутність моніторингу	Самостереження
Ручна реставрація	Самоусунення недоліків
Збої і відключення	Адаптація і острівний режим
Ручна перевірка	Дистанційна перевірка
Обмежений контроль	Розширений контроль
Невелика кількість клієнтів	Значна кількість клієнтів

По своїй структурі, розумні мережі можуть функціонувати у складі загальної енергосистеми, так і окремо від неї.

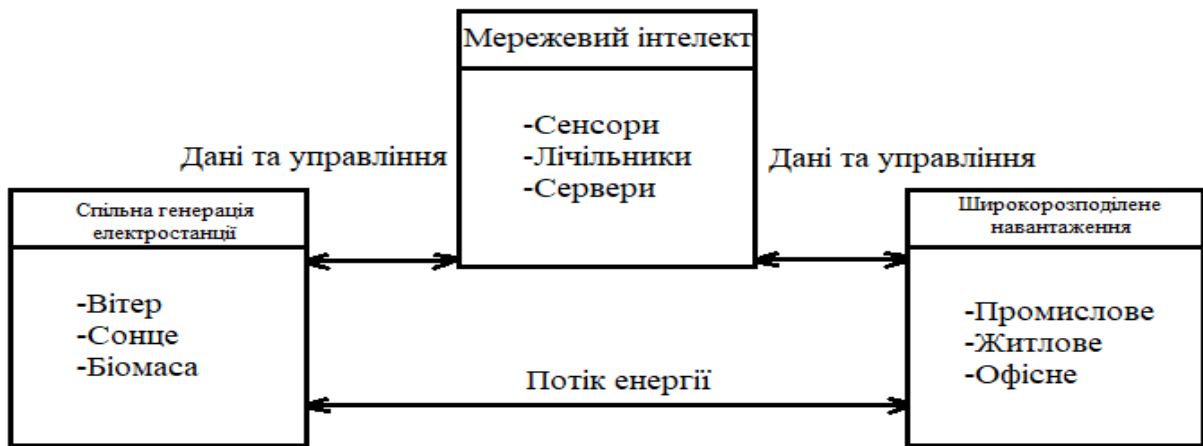


Рисунок 1.1 - Топологія Smart Grid [2]

Такі, окремо функціонуючі, розумні мікро мережі являються базовими елементами потенційної розумної мережі.

MicroGrid (MG) – група пов’язаних між собою навантажень та розподілених енергоресурсів, що продемонстровано на рисунку 1.1, із об’єднаним управлінням, в чітких енергетичних кордонах (із визначеними точками балансової належності), відповідно, територіально локалізована, яка може працювати в режимі підключення до централізованої енергосистеми, або у острівному режимі. Згідно визначення Міністерства енергетики США та науково-дослідного інституту електроенергетики (EPRI). Можна сформулювати головні параметри концепції MicroGrid:

- об’єднана система із генерації, накопичувачів та керованого навантаження, локалізованих у розподільній мережі. Це відрізняє концепцію мікро мереж, від енергетичних агрегаторів, так як акцентує увагу на локальній подачі електричної енергії до споживачів, не виводячи електричну енергію за чіткі кордони енергетичного кордону;
- самодостатність, тобто передбачена можливість роботи із взаємодією із централізованою мережею, так і робота у локалізованому (острівному) режимі. Переважаючий режим роботи існуючих мікро мереж, передбачає взаємодію із енергосистемою, це дозволяє реалізувати основні переваги мікро мережі, в залежності від стану її мережевого з’єднання. Для роботи у тривалому острівному режимі, MicroGrid

повинна мати значну встановлену потужність генеруючих джерел, та систем накопичення енергії [3];

- управління здійснюється оператором мікро мережі, який об'єднує у собі не лише базові функції управління генерацією та споживанням, регулювання викидів, розподілу фінансових потоків, чи контроль навантаження, а всі ці функції комплексно та багато інших цілей технічних, економічних та екологічних [4].

1.1.2 Структура MicroGrid

MicroGrid – об'єднання розподільних навантажень побутового характеру та низьковольтних розподілених джерел енергії (РДЕ). Таких як, мікро турбіни, сонячні електростанції на основі фотоелектричних елементів, вітрові турбіни, дизель генератори, накопичувачі електричної енергії та інші. Структура побудови MicroGrid системи наведе на рисунку 1.2.

Мікро мережі локалізуються безпосередньо поруч із споживачами, що обумовлює їх роботу у низьковольтних (іноді середньовольтних) розподільних мережах, з чого виникає ряд слабких місць у їх роботі:

- стабільність системи;
- якість електричної енергії;
- роботоздатність мережі у аварійних ситуаціях;

Ці проблеми вирішуються впровадженням сучасних методів управління для відповідних рівнів напруги, а не управлінням на високих рівнях напруги, які поширені у централізованій енергосистемі. Тобто, передбачається більш активна роль усіх елементів системи у її управлінні.

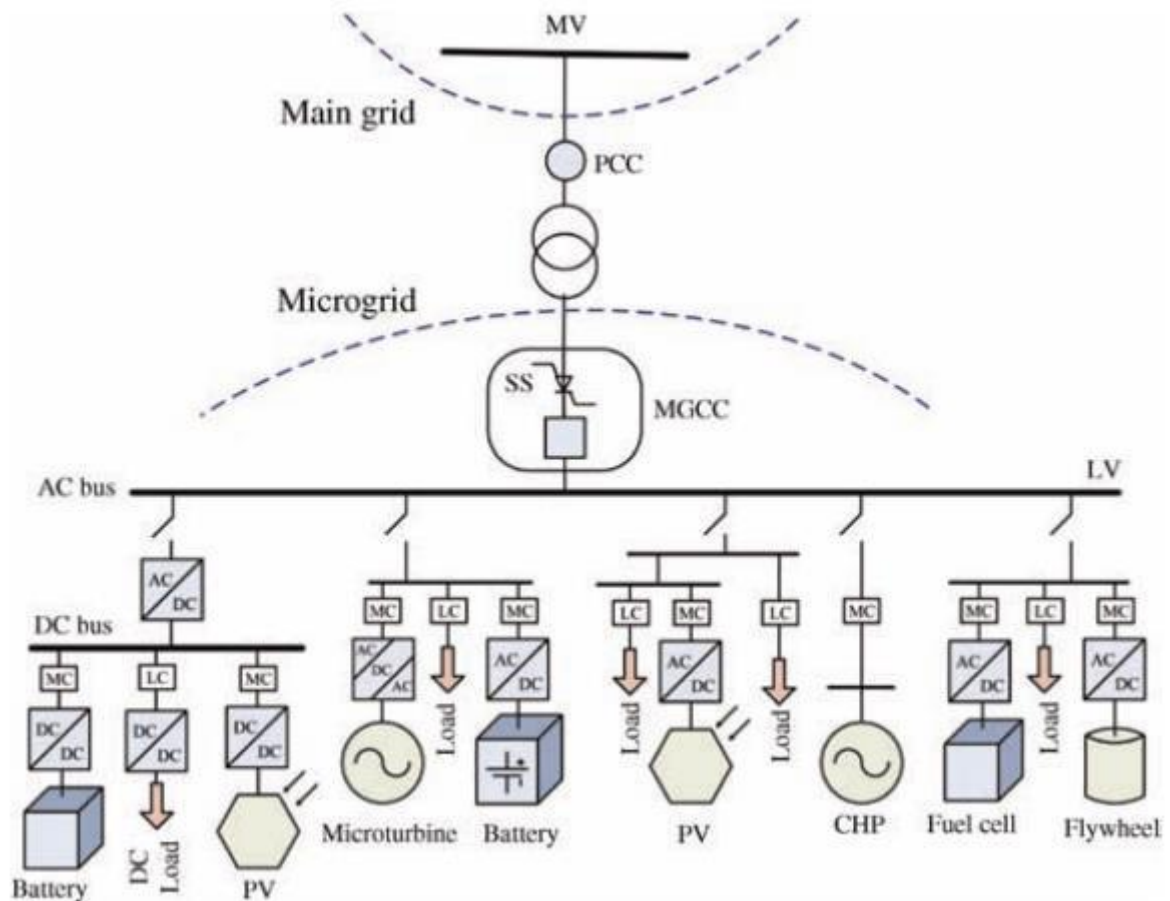


Рисунок 1.2 - Спрощена структура MicroGrid [5]

Така мережа включає групу радіальних фідерів розподіленої мережі. Внутрішнє навантаження розділяється на «чутливе» та «нечутливе» за допомогою окремих фідерів. Чутливі навантаження живляться від розподілених джерел генерації, тоді як нечутливі можуть відключатися у разі аварійних ситуацій. Фідери комплектуються автоматичними вимикачами або іншими комутаційними приладами, для від'єднання від мережі, регуляторами потоку потужності, який керується центральним контролером або оператором. Розподілена генерація керується за допомогою вимірювання локальних параметрів мережі: напруги та струмів. У разі виникнення перешкод із живленням, комутуючі пристрої розмикаються, ізолюючи чутливе навантаження від електричної мережі, що передбачається у разі достатнього генеруючого ресурсу для задоволення споживання в мікро мережі. Працюючи з енергосистемою, нечутливе навантаження може житись від локальної генерації. В концепції консорціуму технологічних рішень по електричній

надійності (Consortium for Electric Reliability Technology Solutions, CERTS) закладено, що елементи мікро мережі працюють у режимі plug-and-play, з автономним управлінням. Тобто, у мікро мережі немає єдиного контролера або пристроїв накопичення пам'яті, що дозволяє системі працювати при виході із ладу окремих її елементів. Також підхід за концепцією plug-and-play, дозволяє переміщувати пристрої, без внесення коректив у елементи управління та забезпечує оптимальне розміщення генерації відносно навантажень. До енергосистеми MicroGrid приєднується через точку загального зв'язку (PCC) та статичний перемикач (SS), який дозволяє з'єднувати та від'єднувати мікро мережу від енергосистеми та виконує функції обліку, зв'язку з цифровим сигнальним процесором (DSP), захисту, перемикання живлення.

За структурою MicroGrid класифікуються на:

- Єдиний об'єкти MicroGrid. Сюди відносяться промислові будівлі, багатоповерхівки, торгівельні чи офісні центри, лікарні. Їх загальне навантаження складає до 1-2 МВт. Вони потребують резервних джерел генерації, при острівних режимах роботи. При їх проектуванні закладаються принципи доступності та якості електричної енергії, для деяких із них слід передбачити плавність переходу від живлення з мережі до острівного режиму.
- Об'єднання кількох об'єктів MicroGrid. Це можуть бути студентські містечка, житлові або промислові комплекси з кількох будівель локалізованих на одній території, загальною потужністю до 5 МВт. При їх проектуванні слід забезпечити високу якість та надійність електропостачання.
- MicroGrid ліній живлення. Такі мікро мережі управляють генерацією та навантаженням об'єктів що живляться від однієї лінії підстанції, їх загальна потужність може сягати 10 МВт. Така система може включати в себе об'єднання із кількох MicroGrid меншого розміру.

- MicroGrid підстанцій. Таким мікро мережам підпорядковуються усі об'єкти приєднанні до підстанції. Їх загальна потужність становить від 10 МВт і більше. Вони можуть включати кількох рівневі мікро мережі, на рівні MicroGrid ліній живлення та нижче за структурою, також можуть мати генерацію підключену безпосередньо до підстанції. При проєктуванні таких систем, ставляться завдання підвищення якості електропостачання, його доступності для споживача та надійності.

1.1.3 Перспективи розвитку MicroGrid систем

Розвиток розподіленої генерації, в історичному плані, відбувся у зв'язку з необхідністю електрифікації ізольованих общин, та забезпечення критично важливих споживачів безперебійним електропостачанням. Наприклад, це можуть бути спільноти в країнах що розвиваються і не мають необхідного рівня забезпечення централізованим електропостачанням, чи фізично відділенні території, як географічні острови. У них широко поширювались розподіленні джерела генерації (DER) і, як наслідок, розвивались MicroGrid. Особливістю таких регіонів, є те що основну генерацію вони отримують від відновлювальних джерел (міні- мікро- ГЕС, сонячні станції, вітрові електростанції) в комбінації із дизель генераторами. При цьому, вони мають покривати весь попит, споживачів які знаходяться поруч із ними, намагаючись забезпечити якість та надійність електропостачання, в тому числі і при непередбачуваних режимах споживання. Враховуючи змінний характер як споживання, так і генерації, такі системи потребують системного, стратегічного підходу для підвищення надійності та якості електропостачання. Також, вони мають підвищувати ефективність таких систем, знижувати вартість їх реалізації.

В розвинених країнах також зростає поширення розподіленої генерації в електричних системах і, враховуючи, енергетичну кризу останніх років, ця тенденція зберігатиметься. Це включає в себе широкий спектр двигунів внутрішнього згорання, газотурбін, міні- мікро- гідроелектростанції, відновлювальні джерела енергії, системи накопичення та інші види,

об'єднанні загальним визначенням розподіленні енергоресурси (DER). Однак, на відміну від країн що розвивають та мікро мережі є швидше вимушеним рішенням, у розвинених країнах особливий акцент робиться на вплив на навколишнє середовище, та стратегію енергетичного переходу з метою боротьби із глобальним потеплінням. Але і економічний ефект у розвинених країнах значно вищий, через високі ціни на енергоносії. Це дозволяє розвивати технологію, розвивати галузь ВДЕ, зменшити залежність від енергії отриманої від спалювання газу та вугілля. Також це дозволяє скоротити відстань від генерації до споживача, що зменшує технологічні втрати на передачу енергії, та більш ефективно використовує розподільні мережі.

На основі досвіду впровадження розподіленої генерації в країнах Європейського союзу, можна виокремити три етапи розвитку:

- Інтеграція розподіленої генерації в існуючу енергетичну систему. Країни Європи цей етап пройшли, Україна, яка пізніше почала розвивати цю галузь, знаходиться на ньому;
- Розвиток децентралізованих систем, які взаємодіють із центральною енергосистемою. На цьому етапі знаходяться країни Європи та США. Децентралізовані системи стають на рівні із загальною енергосистемою учасниками забезпечення споживачів електричною енергією, включаючи процеси утворення спільної організаційної роботи, управління системами, підвищення якості та надійності, зменшення технологічних втрат, оптимізація комерційної складової за рахунок конкуренції різних мікро систем між собою та центральною енергосистемою.
- На перше місце, у забезпеченні споживачів електричною енергією, виходять мікро системи та розподілена генерація, а центральна система виконує роль їх регулювання та управління на високому рівні напруги.

Мікро мережі мають значно вищий рівень гнучкості для інтеграції різномірних джерел генерації та накопичування електричної енергії, таких як ВДЕ, включення яких до централізованої енергосистеми є проблемним. Для

забезпечення цього, такі системи повинні бути включенні до планів розвитку регіональних мереж, через які взаємодіяти із національною та міжнародною системою. Це дозволить забезпечити підвищення якості та надійності електропостачання, так як мікро мережі взаємодітимуть із регіональними мережами споживаючи чи віддаючи енергію, в залежності від графік споживання, генерації та комерційної доцільності.

Для використання усього потенціалу розподіленої генерації необхідно використовувати системний підхід, у якому забезпечується локальне управління генерацією відповідно до миттєвих потреб споживання. При збуреннях окремих об'єктів генерації, вони можуть локалізуватися від навантаження забезпечуючи вищу надійність експлуатації як навантаження, так і системи в цілому. Таке розподілення забезпечує вищу надійність електропостачання для локальних споживачів, ніж централізована енергосистема [6]. Також було запропоновано підхід до побудови системи, при якому управління забезпечується на базі розподіленої генерації і являє собою систему plug-and-play, без потреби проектувати кожен ланку системи окремо, вона була запропонована Робертом Лассером [7]. В подальшому цю концепцію розвивав консорціум технологічних рішень по електричній надійності (CERTS), яка була створена у 1999 році для розробки нових методів покращення електропостачання енергосистема США [8], створивши першу інверторну, з розподілом генерації, мікро мережу.

Окремим викликом для розвитку як MicroGrid, так і SmartGrid стає забезпечення кібернетичної безпеки. Враховуючи, що мікро мережа акцентує увагу на забезпеченні надійного споживання, та включає у свою структуру і дизель генератори, і накопичувачі електричної енергії, які забезпечують роботу критичної інфраструктури при аварійних режимах, то кібернетична атака чи отримання доступу до управління мікро мережею несе у собі значні загрози, які слід враховувати при розробці таких систем, передбачаючи високий ступінь захисту та локалізацію системи управління при критичних режимах всередині себе, без зовнішнього доступу.

Головною перешкодою для реорганізації та впровадження нових систем є висока вартість їх розробки. А відсутність чітко випрацьованих, сформульованих та описаних комерційних переваг, стримує інвесторів для фінансування подібних проєктів. А враховуючу саму сутність розподіленої генерації та локалізованих мереж, їх розвиток, в першу чергу, має базуватись на залучені фінансів від інвесторів, а не державних програм. Хоча, на первинних етапах впровадження і вони необхідні. Саме тому, на цьому етапі мають співпрацювати як державні регулятори, так і некомерційні організації (інститути, об'єднання, асоціації енергетичного профілю), які зацікавлені у модернізації енергосистеми, та розуміють усі переваги такого розвитку, з метою розробки зрозумілих концепцій для бізнесу. А вже впровадження подібних концептів забезпечить:

- підвищення якості електропостачання, за рахунок впровадження нових технологій, та більшої гнучкості у пошуку енергетичного балансу між споживанням та генерацією;
- розвиток мереж та підвищення їх пропускної здатності, з впровадженням новітніх рішень на основі силової електроніки, нових видах провідників та нейронних мереж;
- зроблять систему більш гнучкою для впровадження, на їх основі, наступних рішень, можливостей та викликів що постануть перед енергетикою, перші з яких уже формуються, наприклад, різке поширення електромобілів, які є чудовою основою як для управління попитом споживання, так і черговим викликом для застарілої енергетичної системи, яка не зможе забезпечити приріст споживання.

За останні кілька років в Україні сформувалася доволі велика кількість інвесторів, зацікавлених у розвитку нетрадиційних джерел енергії та розосередженої генерації.

Головною причиною такого росту, став «зелений» тариф та зменшення капіталовкладень для будівництва об'єкту яке помітне на рисунку 1.3, за

рахунок світового розвитку технологій, в основному зниження вартості сонячних панелей [9].

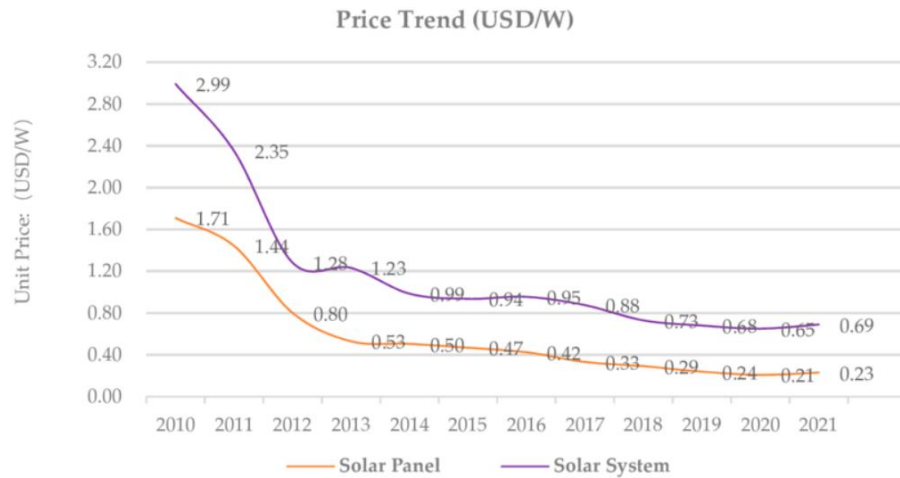


Рисунок 1.3 – Ціновий тренд сонячних панелей та сонячних систем [9]

Однак, якщо ми поглянемо на співвідношення вартості будівництва до вартості «зеленого» тарифу, наведеного у таблиці 1.2, за 2013-2021 рік:

Таблиця 1.2 – Ціновий тренд вартості сонячних панелей та «зеленого» тарифу

Рік	2013	2014	2015	2015	2016	2017-2019	2020	2021
Зелений тариф, євро за кВт*год	0.47	0.34	0.31	0.17	0.16	0.15	0.11	0.11
Крос курс, долар-євро	1.36	1.36	1.10	1.10	1.14	1.22	1.09	1.17
Зелений тариф, доларів за кВт*год	0.63	0.46	0.34	0.19	0.18	0.18	0.12	0.13
Вартість сонячних панелей, дол. за 1 кВт	650	520	480	480	440	300	240	210
Відношення вартості сонячних панелей до вартості "зеленого" тарифу	1027	1126	1429	2572	2413	1636	1956	1649

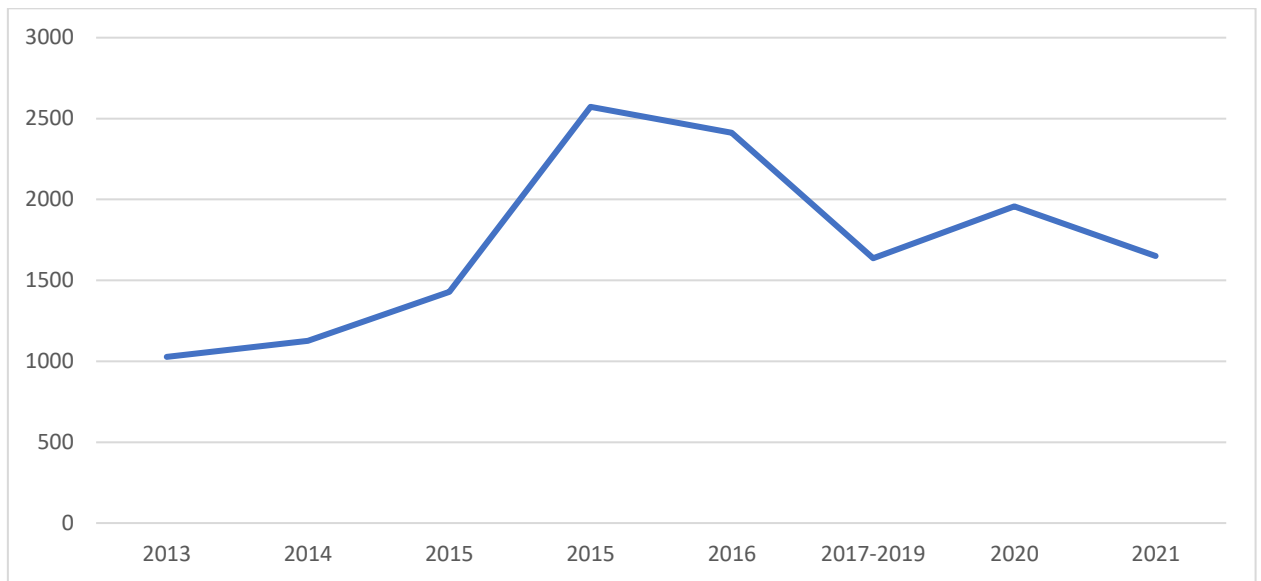


Рисунок 1.4 - Відношення вартості сонячних панелей до вартості "зеленого" тарифу

Найбільш ефективними інвестиції у сонячні станції, для їх експлуатації в умовах «зеленого» тарифу, були у 2013 році, що відображено на рисунку 1.4. Однак, найбільше залучення інвестицій у галузь відбулося у 2018-2019 роках.

Це пояснюється тим, що станом на 2018-й рік галузь була уже достатньо розвинена. Сформувалась велика та конкурентна кількість спеціалістів, компаній що займаються поставкою обладнання, проектуванням, будівництвом та експлуатацією, між ними виникла конкуренція у залученні інвесторів, банки сформували вигідні умови кредитування нових об'єктів та рефінансування існуючих об'єктів. За рахунок цього значно знизився поріг входження інвестицій у енергетичну галузь.

1.2. Аналіз структури енергетики ОЕС України

1.2.1 Опис структури енергетики України та її вплив на формування ринку електричної енергії

Об'єднана енергосистема України (ОЕС України) являє собою систему генеруючих електростанцій, системо утворюючих, магістральних та розподільних мереж, відновлювальних джерел енергії розміщених на території держави, об'єднаних між собою режимом виробництва, передачі та розподілу електричної та теплової енергії з метою дотримання енергетичного

балансу між споживанням та виробництвом. ОЕС України є основою електроенергетики країни та забезпечує централізоване постачання електричної енергії для споживачів, взаємодіє з енергосистемами сусідніх країн, шляхом здійснення експорту та імпорту електричної енергії.

ОЕС України на сьогодні є одним із найбільших енергетичних об'єднань Європи, та складається із семи регіональних електроенергетичних систем (ЕЕС): Дніпровська, Західна, Кримська, Південна, Південно-Західна, Північна і Центральна, що взаємопов'язані системоутворюючими та магістральними лініями електропередачі (ЛЕП) 750 кВ і 330-500 кВ [10].

Централізоване управління енергосистемою здійснюється Оператором системи передач (ОСП), роль якого покладена на Національну енергетичну компанію «Укренерго». НЕК «Укренерго» здійснює ліцензоване диспетчерське (оперативно-технологічне) управління енергосистемою.

Основою режиму роботи ОЕС України є дотримання енергобалансу між генерацією та споживанням електричної енергії. Для забезпечення чого здійснюється диспетчерське управління об'єктами що належать до ОЕС України, підтримання у робочому стані електричних мереж, розвиток електричних мереж, контроль енергогенеруючого обладнання, а також відновлення електропостачання у випадку надзвичайних ситуацій, виходу із ладу генеруючого обладнання або пошкодження магістральних ліній електропередач (ЛЕП).

У ОЕС України працюють більше 400-а виробників електричної енергії, серед яких і великі генеруючі потужності, 7-м з яких забезпечує 90% всієї генерації системи, що відображено на рисунку 1.5. Близько 40 компаній займаються передачею електричної енергії для локальних електричних мереж та понад 150 ліцензованих постачальників енергії, які здійснюють комерційну діяльність, та ліцензіати які здійснюють трейдерську діяльність, їх кількість постійно змінюється із тенденцією до збільшення [11].

Основні генеруючі потужності в енергосистемі являють собою:

- 4 атомних електростанціях (АЕС), на яких діє 15 енергоблоків, з яких 13

- потужністю по 1 000 МВт і 2 – потужністю 415 та 420 МВт;
- каскадах з 8 ГЕС на річках Дніпро й Дністер із загальною кількістю гідроагрегатів – 103 одиниці, а також трьох гідроакумулюючих станціях (ГАЕС), з яких 11 гідроагрегатів з потужністю від 33 МВт до 324 МВт;
- 12 ТЕС із блоками одиничною потужністю 150, 200, 300 і 800 МВт, з яких 75 енергоблоків, у т.ч. потужністю: 150 МВт – 6, 200 МВт – 31, 300 МВт – 32, 800 МВт – 6 та 3 турбогенератора, а також 3 великих ТЕЦ з енергоблоками 100 (120) МВт та 250 (300) МВт;
- близько 875 сонячних електростанцій, 60 біогазових електростанцій (БіоЕС), 83 вітрових електростанцій (ВЕС), згідно даних опублікованих на платформі Енерго.юа [12]. Загальний відсоток вироблення електричної енергії яких становить 8% сумарної генерації по ОЕС України [13].

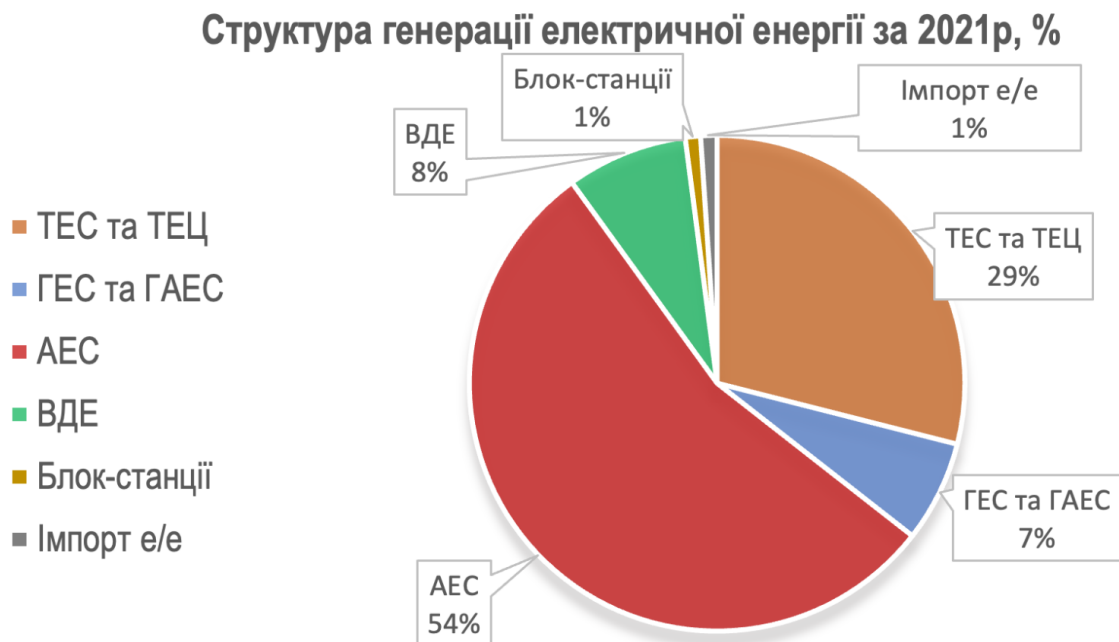


Рисунок 1.5 – Структура генерації ОЕС України 2021 рік [13]

Добовий графік споживання має значне відношення між нічними годинами мінімального споживання, та годинами вечірніх піків – понад 0,7. Така нерівномірність ускладнює досягнення стабільності частоти на рівні Європейської енергосистеми. Також є значна нерівномірність споживання за

географічним критерієм, що пояснюється нерівномірним розподілом промисловості по території країни. Також явно виражена сезонність, через перепади температур, так як значна частка споживання приходить на комунально-побутовий сектор. Співвідношення між промисловими споживачами та промисловими має тенденцію до зростання, так протягом останніх років споживання промисловістю знизилось із 47% у 2012 р., до 42,8 % у 2017 р.

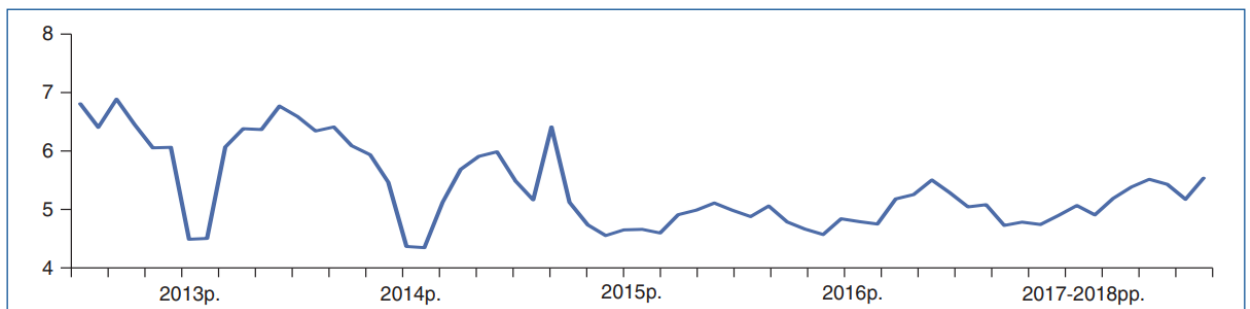


Рисунок 1.6 - Споживання електроенергії промисловістю в Україні [14]

До грудня 2014 р. споживання промисловістю було сталим у річному діапазоні, однак після окупації промислових районів Донбасу, тренд значно змінився, що відображено на рисунку 1.6. У березні 2016 р. коливання місячних обсягів споживання електроенергії зменшилось та стабілізувалось. По порівнянню на рисунку 1.7, помітно що 2016 рік та 2017 відрізняються не значно.

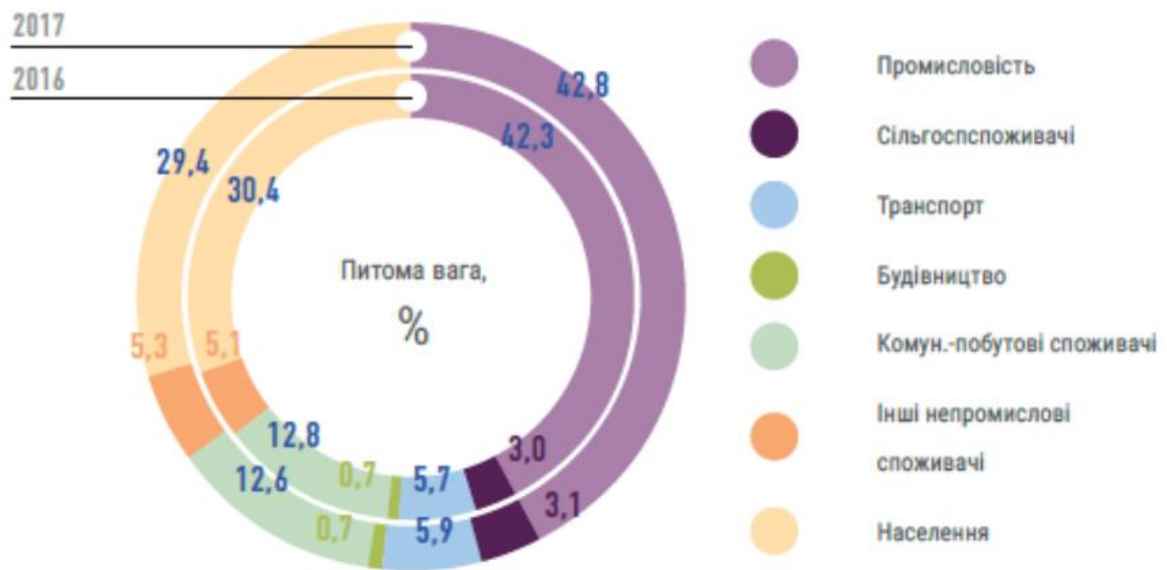
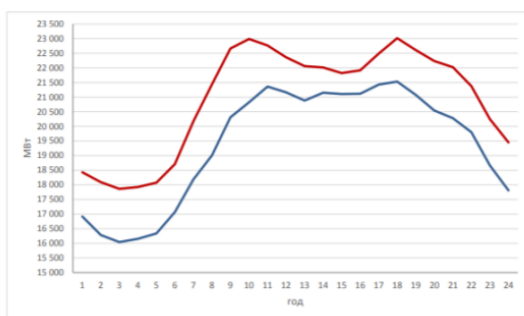
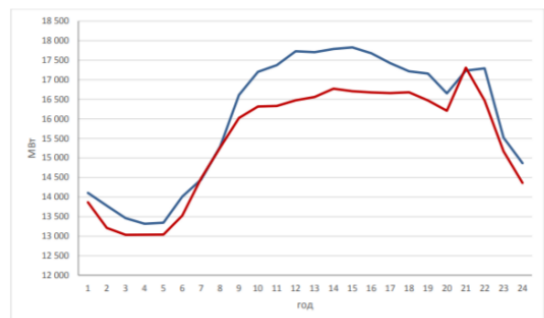


Рисунок 1.7 – Структура споживання електричної енергії в Україні 2016 та 2017 р. [14]

Протягом 2016-2021 років профіль електроспоживання в масштабах сезонів та країни стабілізувався та не змінювався, що відображено на рисунку 1.8.



а)



б)

Рисунок 1.8 - Графік споживання електричної енергії в ОЕС України: а) для робочого дня в січні 2018 р. при температурах вищих $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (синій колір) і нижчих $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (червоний колір) від середньомісячної $-5,1\text{ }^{\circ}\text{C}$; б) для робочого дня в серпні 2018 р. при температурах вищих $+24\text{ }^{\circ}\text{C}$ (синій колір) і нижчих $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (червоний колір) від середньомісячної $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$. [14]

Нерівномірність споживання вимагає від генеруючих об'єктів постійної та значної зміни графіків роботи, що негативно впливає на ефективність їх

роботи, так як більшість потужних генеруючих станцій України мають низьку маневреність через застарілі технологічні процеси.

На сьогодні ОЕС України синхронізована із Європейською мережею ENSTO-E та Республікою Молдови, позбавившись будь-якої взаємодії із енергосистемами рб та рф-ії. Енергетичні зв'язки із сусідніми енергосистемами забезпечуються за допомогою мереж 110-750 кВ. На рисунку 1.9 зображена загальна карта об'єднаної енергомережі України.

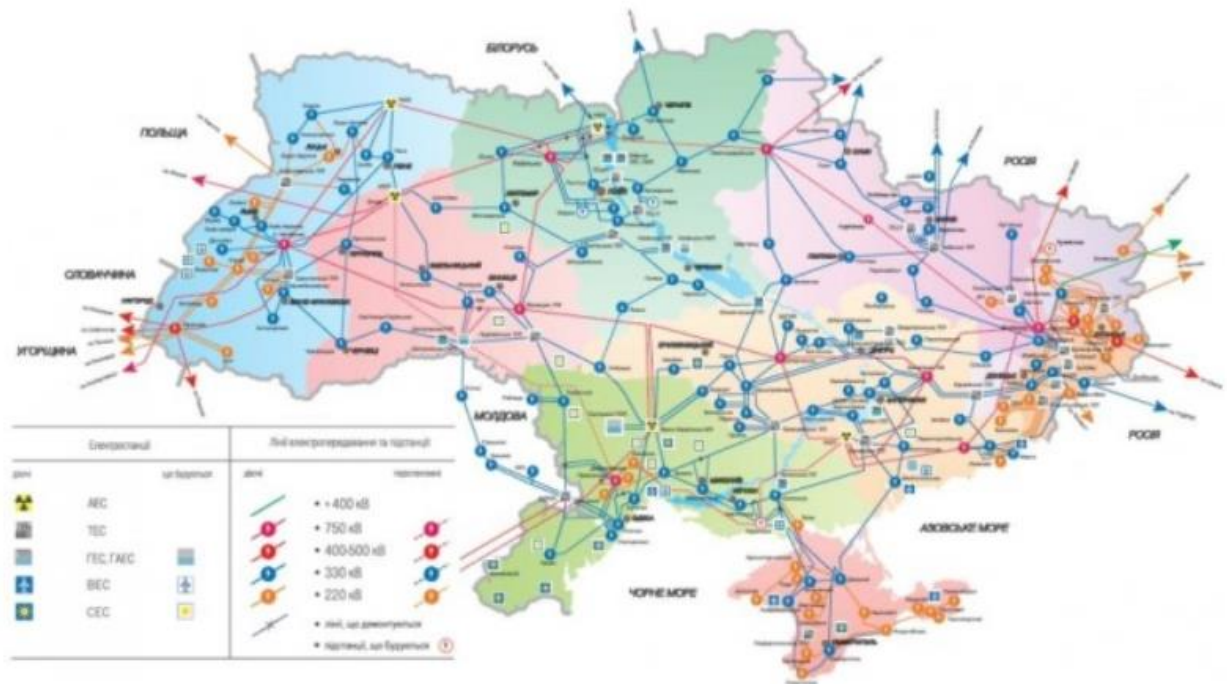


Рисунок 1.9 – Карта ОЕС України [17]

До системоутворюючих мереж відносяться лінії напругою 220-750 кВ, які включають магістральні лінії та інтерконектори (міждержавні електричні мережі). Вони забезпечують передачу електричної енергії від потужних блоків генеруючих об'єктів (АЕС, ТЕС), їх передачу до розподільних мереж напругою 10-110 кВ, імпорт та експорт електроенергії. Перетворення електричної енергії різних рівнів напруги, а відповідно і різного рівня управління, відбувається за допомогою автотрансформаторів і трансформаторів напругою 750-330 кВ, 330-220 кВ, 400-330 кВ, 330-110 (150) кВ, 220-110 (150) кВ, 150/110 кВ.

Протяжність мереж ОЕС України становить: магістральних та міждержавних 23 тис. км, з яких 4.9 тис. км відносяться до рівня напруги 400-800 кВ, 13.4 тис. км напругою 330 кВ, 4 тис. км до 220 кВ, близько 700 км напругою 35-110 кВ. На балансі ДП «НЕК «Укренерго» перебуває 137 підстанцій (ПС) напругою 110 – 750 кВ трансформаторною потужністю 78585,1 МВА. З них ПС 220 кВ – 33 шт., 330 кВ – 88 шт., 400 кВ – 2 шт., 500 кВ – 2 шт., 750 кВ – 8 шт. та 110 кВ – 4 шт. [15-17].

Розподільчі електричні мережі нараховують понад 1 млн. км. повітряних і кабельних ЛЕП напругою 0,4–150 кВ і близько 200 тис. трансформаторних ПС напругою 6–150 кВ [15].

Така структура генерації призводить до нефективного та неоптимального підтримання частоти, потужності та енергетичного балансу в енергосистемі, що посилюється дефіцитом маневрених та резервних потужностей:

- значна частка генерації від АЕС, які використовуються для покриття лише базової потужності, та, в силу технологічних особливостей, мало залучаються для регулювання;
- застарілі ТЕС, що знаходяться на межі терміну своєї експлуатації, та не проходили необхідних реконструкцій, що призводить до зниження їх маневрених можливостей, та посилюється зниженням якості твердого палива;
- вичерпання гідроенергетичного потенціалу Дніпра, внаслідок чого знижується можливість використовувати ГЕС як маневрені потужності та розбудовувати нові, вкрай необхідні ГАЕС;
- значний приріст встановлених потужностей ВДЕ, яким характерна явно виражена сезонність, низька точність прогнозування рівня генерації, відсутність зручних засобів курування генерацією, в зв'язку з великою кількістю об'єктів генерації.

Для стабільної роботи ОЕС України, енергосистема має містити:

- базові електростанції повинні складати 50-55%;
- напівпікові – 30-35%;
- пікові – 15%.

На сьогодні у національній енергосистемі спостерігається брак пікових потужностей (10% проти необхідних 15%). Унаслідок цього до регулювання досить активно залучають енергоблоки ТЕС [18].

При цьому більшість мереж мають значне зношення та моральне старіння, порівняння об'ємів введених потужностей по роках проілюстроване на рисунку 1.10, так елементи мереж, що працюють у постійно режимі експлуатуються понад 40 років: 17,3% підстанцій та 56% ЛЕП.

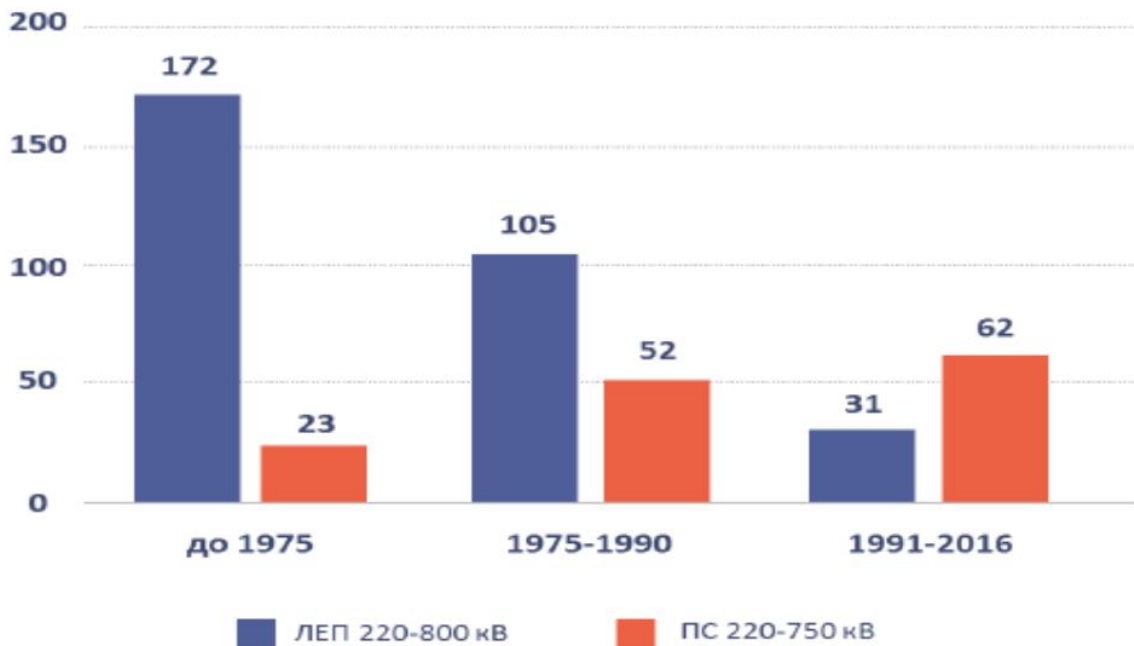


Рисунок 1.10 – Періоди введення в експлуатацію елементів системи передач

Така зношеність мереж негативно впливає на технологічні втрати при передачі та розподілі електричної енергії, підвищує кількість аварій на лініях, та загальну неефективність їх експлуатації.

Перелічене значно впливає на можливість ефективно керувати режимом роботи ОЕС України для підтримування частоти в енергосистемі, забезпечення стійкості та надійності системи. Регулювання частоти забезпечується сумісною роботою багатьох систем керування: автоматичне

регулювання частоти турбін, автоматичне регулювання потужності, часткове розвантаження генеруючих об'єктів, частотне автоматичне повторне включення. [19] Також, для цих цілей, починаю використовувати системи накопичення електричної енергії на основі літій-іонних (Li-ion) акумуляторів, технологічний процес яких значно ефективніше справляється із цими завданнями.

Так, ДТЕК пройшов перевірку НЕК «Укренерго» на сертифікацію для надання допоміжних послуг - резерву підтримки частоти (РПЧ) оператору системи передачі, яка підтвердила, що система накопичення енергії ДТЕК здатна виконувати збільшення або зменшення потужності від нуля до повного резерву за 0,4-0,6 секунди, тоді як кодекс системи передачі (КСП) регламентує такий час на позначці 30 секунд. Швидкість реагування батареї на відхилення частоти склала менш ніж 0,1 секунди. [20]

Така структура енергосистеми відображається і на формуванні вартості електричної енергії. Можна виділити наступні фактори, які впливають на формування вартості:

- інструменти балансування енергосистеми. Так ТЕС протягом доби зупиняють та запускають близько 10 енергоблоків, а враховуючи їх технологічний процес, це призводить до збільшення витрат палива. Також частину блоків тримають на холостому ході, для швидкого введення в генеруючий режим.
- ціна протягом доби залежить від того які генеруючі та маневрені потужності використовуються протягом розрахункового періоду (окремої години), так в нічні години базового навантаження основним джерелом генерації являється АЕС, що продемонстровано на рисунку 1.11, електроенергія від яких найдешевша, а в пікових навантаженнях використовуються ТЕС із значно вищою вартістю енергії.

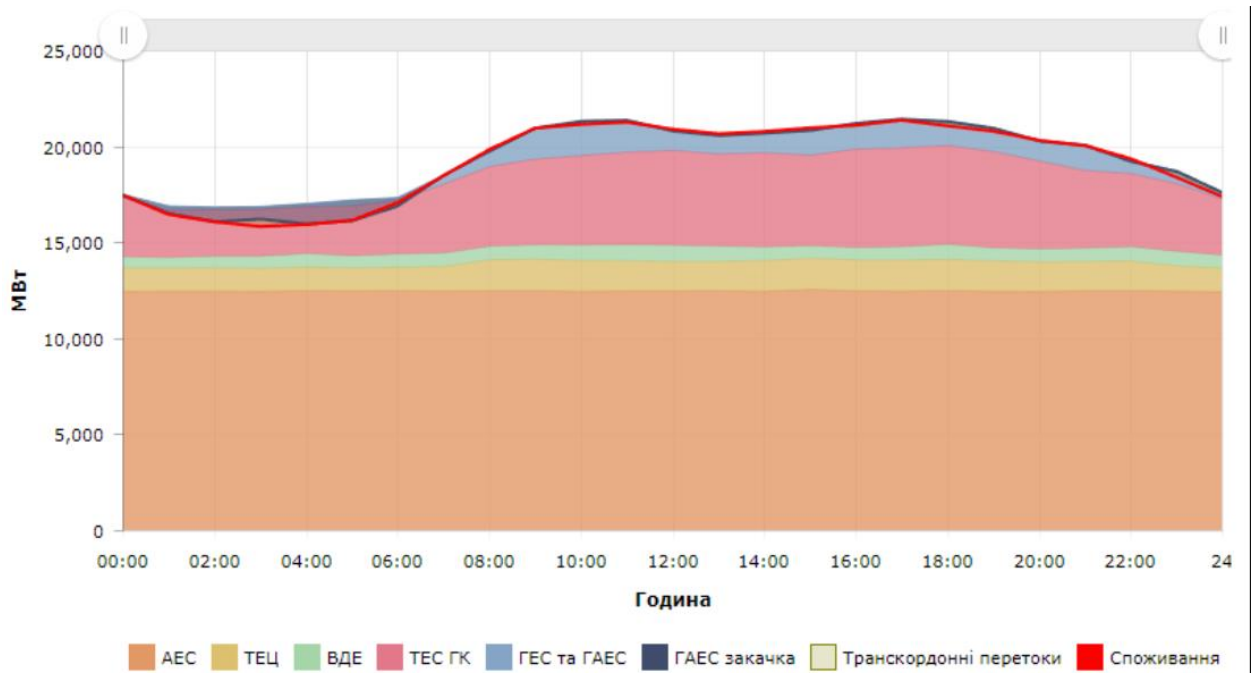


Рисунок 1.11 – Добова структура генерації ОЕС України

- велика чутливість до сезонності, яка проявляється не лише у споживанні, а й видах задіяної генерації, відтак улітку значно зростає генерація сонячних станцій, а наповнюваність рік зменшується, що зменшує можливості ГАЕС. Так у 2012 році, у Каліфорнії виник термін «duck curve», характерний силует качки помітно на рисунку 1.12, так місцевий оператор CAISO описав форму графіку, якого має дотримуватись традиційна керована генерація для покриття різниці між споживанням в енергосистемі та виробництвом некерованої генерації з ВДЕ. [21]

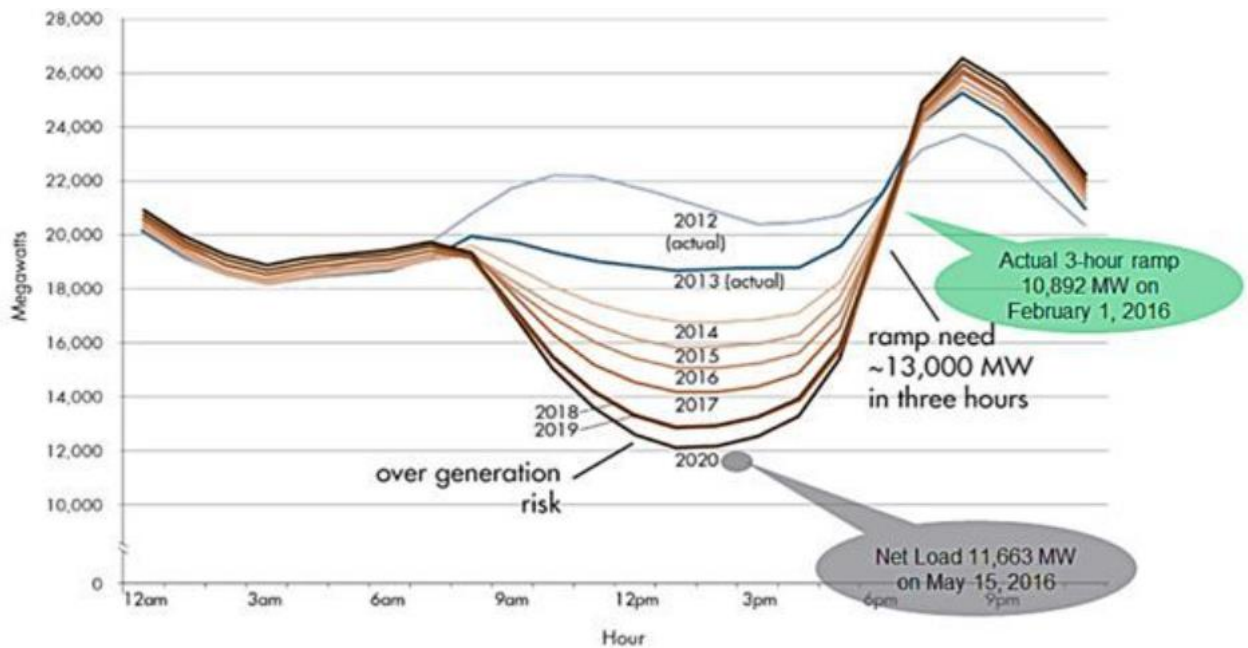


Рисунок 1.12 - Графік, що має видати традиційна керована генерація для покриття різниці між споживанням в енергосистемі та виробництвом некерованої генерації з ВДЕ, «duck curve» [21]

- також на остаточне формування вартості впливає імпорт та експорт електричної енергії, і вплив цього параметру також зростатиме, по мірі інтеграції Українського ринку електричної енергії з Європейськими ринками.

1.2.2 Потенціал України для розвитку розосередженої генерації

Енергетична галузь загалом у світі переживає етап своєї перебудови. В залежності від розвиненості енергетики країни, ця побудова має різні цілі та засоби реалізації, від розвитку мереж, підвищення надійності та доступності електричної енергії у країнах що розвиваються, до реалізації енергетичного переходу, зі цілями зменшення впливу на навколишнє середовище та підвищення енергоефективності. Попри різницю у цілях, засоби перебудови схожі і забезпечуються технологічними інноваціями. У розвинених країнах завдання стає не стільки та не тільки у фізичній перебудові мереж, а у реорганізації самих підходів до енергетики та ринків енергії. Стрімкий розвиток розосередженої генерації, особливо тієї що базується на ВДЕ, значна тенденція зростання попиту на електричну енергію, зміна поведінки

споживачів, зростання впливу електромобілів, об'єднання ринків та інші. Для задоволення цих викликів робиться великий акцент на актуальні обчислювальні потужності та нейронні мережі.

Одним із ключових аспектів перебудови енергетичної системи, є тенденція до відмови від централізованого електропостачання. Так уже 12,5% глобальних енергетичних компаній користуються розосередженими джерелами генерації. На рівні держав, яскравим прикладом є Данія, де більше 50% споживання використовує власні джерела генерації електричної чи теплової енергії. [22]

Україна знаходиться на проміжному етапі, так як з одного боку має розвинені мережі та енергетичну систему загалом, з іншого більшість генеруючих потужностей та розподільчих мереж морально застарілі та фізично зношені. Також, останніми роками, в Україні відбувся стрімкий ріст галузі ВДЕ, попри те що основні генеруючі потужності продовжують видавати згенеровану потужність у центральну енергосистему, для отримання «зеленого» тарифу, широкого розповсюдження набули об'єкти ВДЕ для домогосподарств, на кінець 2021 року їх налічувалось понад 45 тис., загальною встановленою потужністю більше 1,2 ГВт. [23]

Окрім цього, у 2021 році, на фоні зростання вартості електричної енергії як на ринках, так і вартості розподілу електричної енергії, намітилась, та ще не встигла сформуватись, тенденція до встановлення ВДЕ промисловістю без «зеленого» тарифу, а для покриття власних потреб. Що уже більш відповідає поняттю розосередженої генерації.

Концепція розосередженої генерації, розуміє під собою розвиток енергетики, у напрямку введення нових потужностей споживачами, для покриття власних потреб. І хоч загальний розвиток ВДЕ, більша частина якого припадає на промислові сонячні та вітрові станції, не відповідає цій концепції, він створює широку базу для їх подальшої інтеграції в MicroGrid системи фідерного рівня, або рівня підстанцій. Імовірно це трапиться до закінчення терміну дії «зеленого» тарифу, так як складеться ринкова

ситуація при якій більш вигідно інтегрувати уже існуючі об'єкти ВДЕ у мікро мережі. [24]

Однак, реалізація цієї концепції пов'язана із створенням нових та погіршенням деяких існуючих проблем, головною з яких є дисбаланс енергосистеми. Адже споживачі віддаватимуть надлишок згенерованої потужності, яку вони самі не використовують у час низького попиту на ринку та в енергосистемі: в сезон осені та зими, споживання теплової енергії є постійним, а споживання електричної енергії продовжує змінюватись протягом доби, формуючи явно вираженні вечірні піки; генерація ВДЕ змінюється від сезонів та протягом доби, маючи найвищі значення улітку при зниженні потреби енергосистеми, і значно знижуються узимку, коли потреба зростає.

Взаємодія розосередженої генерації споживача з централізованої енергосистем забезпечує покриття графіку споживання у періоди недостатності потужності власного джерела генерації, а надлишок дозволяє відпускати у мережу. В залежності від джерела енергії розосередженої генерації, собівартість відпуску надлишків у мережу, може наближатись до нуля, у випадку відновлювальних джерел енергії на базі фотоелектричних модулів, вітрових турбін та мікрогідроелектростанцій. Уже навіть таке використання власних джерел генерації дає ряд переваг:

- зменшуються технологічні втрати на передачу електричної енергії, так як відстань від джерела до споживача мінімальна;
- можливість оптимізувати свій графік споживання, під наявний вид генерації;
- підвищується надійність електропостачання, за рахунок зменшення протяжності розподільчих ліній електропередачі;
- вноситься вагомий позитивний вклад в екологічні процеси.[25]

Однак, слід розуміти, що у найближчій та середньотривалій перспективі відмовитись від централізованої енергосистеми та традиційних джерел генерації неможливо. Окрім причин пов'язаних із низькою вартістю

електроенергії генерованої на АЕС, та інших економічних факторах, провадження розосередженої генерації створює проблеми із її управлінням, у зв'язку з великою кількістю об'єктів та досягнення енергетичного балансу, так як більшість типів розосередженої генерації не є високо маневреними. Навіть якщо до високо маневрених можна віднести сонячні станції, вітрові станції розвантаження яких займає секунди, ефективність їх обмеження низька, так призводить до зменшення комерційної ефективності їх роботи.

Але тенденція відмови від викопних видів палива та перехід до їх альтернатив продиктована не лише економічними чи технологічними аспектами, а й політичними. При подальшій інтеграції України до країн Європейського союзу, вона повинна буде дотримуватись прийнятих правил та обмежень спільноти країн. В ЄС чітко регламентовані вимоги щодо захисту навколишнього довкілля та боротьби із глобальним потеплінням, ці обмеження прописані і для енергетики. А враховуючи сценарії росту економіки та розвитку країни, рівень споживання постійно зростатиме, відтак потреба у нових генеруючих потужностях лише збільшуватиметься.[26]

Такі обмеження стимулюватимуть рух до швидкої перебудови енергетики України, створюючи додаткові економічні стимули, нагальність вирішення організаційних та законодавчих питань щодо енергоефективності, розвитку ВДЕ, розвитку мікро мереж та інших інновацій, які у результаті значно покращать енергосистему України як в технічному плані, так і економічному. Україна характеризується як країни із тісними зв'язками між великим бізнесом та державними органами. На деяких етапах цю особливість можна використовувати для швидкого впровадження великомасштабних проєктів, за рахунок побудови взаємодії держави та приватних капіталів «зверху вниз». [27] Але для розвитку розосередженої генерації та мікро мереж необхідний вклад інвесторів середнього розміру, забезпечивши їм прийнятні умови кредитування та залучення закордонних інвесторів до проєктів, а тісна взаємодія влади та

великого бізнесу негативно впливає на це, у чому можна переконатися проаналізувавши результати роботи «зеленого» тарифу протягом 2019-2021 років.

Вирішення існуючих проблем у галузі ВДЕ та вироблення стратегії розвитку цього сектору на наступні роки підвищить інвестиційну привабливість галузі, а як наслідок і інших видів розосередженої генерації та взаємодії із нею. Однак, це потребує вироблення чіткого та довгострокового плану розвитку, який включатиме прогнозування реального споживання, наявних та потенційних резервних та маневрених потужностей, забезпечення ефективного економічного та технічного електропостачання. Україна пройшла етап, коли можна неконтрольовано будувати ВДЕ будь-яких видів, не враховуючи їх вплив на енергобаланс. Звісно ж, навіть самий детальний та ефективний план, повинен постійно редагуватись відповідно до реалій.

Інший вагомий фактор, який стримує підвищення енергоефективності споживання, особливо у побутово-комунальній сфері, є неринковий тариф для населення, розмір якого розраховується не із вартості затраченої на виробництво та передачу електричної енергії, а із спроможності оплачувати комунальні послуги. Як наслідок, при розгляді доцільності впровадження якось енергоефективної технології у комунально-побутових споживачів, закладається значно занижена вартість і, при розрахунку окупності, навіть сама очевидно енергоефективна технологія може виявитись недоцільною для впровадження. Перехід же на ринкові ціни, із «адресним» дотуванням споживачів, пришвидчить впровадження енергоефективних рішень на рівні споживачів та груп споживачів.

Також, слід розробити стратегію залучення інвесторів до таких проєктів, не на рівні компенсації державою, спів фінансування проєктів за рахунок державних коштів чи створення стимулюючих тарифів, а на рівні використання фінансових інструментів, створення комфортного інвестиційного клімату, та прийнятних умов кредитування.

Вагомим фактором є приведення у відповідність до стратегії розвитку законодавства України, спрощення умов входження у галузь, прозорість ліцензування, та розробка законодавчої бази на тривалий період, без необхідності її постійної радикальної зміни, а лише доповнення в залежності від ситуації. Вагомим фактором для подальшого розвитку стало введення ринку електричної енергії, та його потенційна інтеграція у Європейські ринки електричної енергії.

Вагомим етапом зміни «правил гри» у енергетиці стане масове впровадження систем накопичення електричної енергії. Можливості, які відкриє широке розповсюдження подібних технологій, важко переоцінити. Вони матимуть вплив як на надійність у локальних мережах, так і підвищення надійності та стійкості загальної системи, підвищення якості, зміна конфігурації та стратегії роботи на ринках, розширення набору послуг та взаємодій між операторами мереж та споживачами та інше.

До розподіленої генерації відносяться об'єкти малої генерації та мікро-генерації. Так об'єктом малої генерації може бути когеративне джерело, яке забезпечує споживачів не лише електричною енергією, а й тепловою. Об'єкти потужність до 1МВт традиційно відносять до мікро генерації. [28] Цей поділ, звісно ж умовний. Наприклад розподілена генерація гідроелектростацій, згідно Закону України про альтернативні джерела енергії, ділить на три типи мікро-, міні- та малі ГЕС, відповідно потужність до 200 кВт, до 1МВт та до 10 МВт.

Головна ознака розподіленої генерації, це її функціональне використання, яке, в першу чергу, направлене на забезпечення потреб споживачів локалізованих поруч із генеруючою потужністю.

Стрімкий розвиток цих технологій позитивно відобразився на гнучкості їх впровадження, виробивши готові, комплексні рішення, прості у впровадженні та подальшій експлуатації. На Європейському ринку є достатня кількість компаній які надають сервісне обслуговування систем, та підлаштовують їх під конкретні потреби споживача.

В Україні подібні системи лише починають поширюватись, і ще немає достатньої інфраструктури для їх масового впровадження. Мається на увазі, обмежена кількість компаній що пропонують послуги із впровадження, можуть скласти конкурентні комерційні пропозиції та запропонувати весь існуючий перелік рішень для якнайкращого задоволення потреб потенційного інвестора, ще немає достатньої кількості кваліфікованих та досвідчених спеціалістів, які працювали із подібними системами на етапі впровадження та тривалої експлуатації.

До потенційного інвестора слід донести усі наявні переваги та можливі перепони у впровадження таких систем. Такими перепонами може бути:

- доступність централізованої системи. Існуючі рішення по приєднанню до централізованої системи прості та зрозумілі інвесторам, та знайомі інженерам. Вимоги законодавчих норм, актів та правил улаштування електрообладнання та інші, створювались для такої моделі, та писалися на її основі. При низькій вартості енергоносіїв, не робився акцент на впровадження енергоефективних технологій та рішень, та не закладали основу для можливої наступної модифікації. Деякі впровадженні системи ще не підійшли до наступного циклу реконструкції, на якому доцільно впровадити сучасні рішення. Питання збереження навколишнього середовища лише останніми роками набули публічного резонансу і можливих фінансових стимулів, до цього вони, частіше за все, ігнорувалися при проектуванні.
- зниження порогу впровадження енергозберігаючих технологій та розосередженої генерації. Створення чітких, зрозумілих для інвесторів та побутових споживачів методик оцінки ефективності впровадження цих технологій. Спрощення та роз'яснення законодавчих процедур для їх ліцензування. Спрощення та роз'яснення процедур звітування про їх роботу,

що значно спростить експлуатацію. Розробка методичних вказівок для електромонтажних компаній, що знизить високу вартість будівельно-монтажних робіт.

- Взаємодія із постачальниками електричної енергії. Розробка рекомендацій для заключення договорів на покупку надлишку електричної енергії та оцінки ризиків взаємодії із джерелами розосередженої генерації.

3. Аналіз ринку електричної енергії та законодавчої бази на можливість впровадження MicroGrid

1.3.1 Опис ринку електричної енергії України

У 1996 році було створено оптовий ринок електричної енергії України (ОРЕ), який функціонував за схемою «єдиного покупця». Визначення вартості електричної енергії від різних видів генерації встановлювалось регулятором, роль якого займає Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП). Почали виникати проблеми із розрахунками за спожиту електроенергію, що призводило до неефективної роботи генеруючих компаній. Так накопилась дебіторська заборгованість ДП «Енергоринок» на суму понад 30 млрд. гривень, а кредиторська на понад 28 млрд. гривень. Це прискорило впровадження реформи ринку електричної енергії з переходом на модель двосторонніх договорів (РДД), спотових ринків доба наперед (РДН), внутрішньодобового ринку (ВДР) та балансуєчого ринку (БР). Через подібну реформу ринку проходило багато країн, стикаючись з типовими та унікальними проблемами, але нарощуючи необхідні зміни та регулювання вони досягли стабільності та прозорості. У розвинених країнах існують різні моделі ринку, монопольний ринок з державним регулюванням, ринок «єдиного покупця» який раніше працював у нас, зберігається у деяких країнах, енергетичні біржі та різні модифікації. Вибір ринкового механізму базується на структурі енергетики та проблемах які у ній виникають. [29]

Перші явні проблеми з якими зіткнувся ринок виникли у 2020 році, вони виникли на фоні зменшення промислового споживання на фоні карантинних заходів, та різким ростом ВДЕ що призвело до значних профіцитів у денні години весняно-літнього періоду. Однак ціллю введеної моделі ринку залишається формування повномасштабного РДД та БР, створення конкуренції між виробниками, постачальними компаніями та споживачами. [30]

До переходу на нову модель, який відбувся 1 липня 2019 року, було напрацьовано необхідна законодавча база, впроваджено ринок двосторонніх договорів, механізми балансування обсягів торгівлі електричної енергії, розробка та впровадження графіків навантаження та створення біржі електричної енергії.

В рамках нової моделі деякі державні компанії отримали нову роль та покладені на них функції. НЕК «Укренерго» отримало ліцензію оператора системи передач України, з виконанням функцій оперативно-технологічного управління ОЕС Україн, контроль над магістральними мережами, а також роль адміністратора комерційного обліку (АКО) та адміністратора розрахунків на ринку електричної енергії України.

Було створено Державне підприємство «Гарантований покупець», на якого покладено спеціальні обов'язки із закупівлі електричної енергії на ринку, та її перепродаж постачальникам універсальних послуг (ПУП) в достатньому обсязі, із забезпечення населення доступною електричною енергією. ДП «Гарантований покупець» активний учасник ринку, який перепродає електроенергію з максимізацією прибутку, який направляє на забезпечення ціни побутових користувачів, також він викупає увесь обсяг ВДЕ що генерують за «зеленим» тарифом, та забезпечує покриття тарифу.

ТБ «Українська енергетична біржа», на основі конкурсного відбору, отримала першочергове право на проведення двосторонніх торгів на РДД. На РДД приймають участь усі великі генеруючі компанії, що об'єднують 12 ТЕС, 4 АЕС, 7 ГЕС, 3 ГАЕС, понад 100 ТЕЦ та майже усі об'єкти ВДЕ, представлені

через ДП «Гарантований покупець», постачальники електричної енергії, постачальники «останньої надії», великі споживачі, оператор системи розподілу (для покриття технологічних втрат), трейдери і т.д.

У 2019 році, НАЕК «Енергоатом» був змушений продавати основний обсяг 95 % електроенергії в рамках покладених спеціальних обов'язків (ПСО), і лише залишки продавати на РДН. Через що доступ до дешевої атомної електроенергії був обмежений для учасників ринку. З часом цей обсяг було скориговано, та від 5 серпня 2020 року він становить 50-55%, а постачальники отримали можливість закуповувати дешеву електроенергію згідно базового навантаження, яке створює НАЕК «Енергоатом». Це дозволило Енергоатому забезпечити ДП «Гарантований покупець» необхідним обсягом електричної енергії для потреб населення, та вести активну участь у ринку електричної енергії.

Раніше виробники електричної енергії напряму без посередників продавали прогнозований обсяг споживачам на РДД за ціною рику, виставляючи 15% на РДН та ВДР. При заключенні двосторонніх договорів, сторони фіксують свої обов'язки, обсяги та ціни. Зараз на РДН здійснюється торгівля необхідними обсягами електричної енергії, формуючи аукціонну ціну, що і зробило цей сегмент ринку індикативним для проведення розрахунків між постачальниками електричної енергії та споживачами. Кількість учасників на РДН та ВДР постійно збільшується, рисунок 1.13, формуючи конкуренцію між виробниками та створюючи додаткові фінансові гарантії для забезпечення розрахунків.[30]

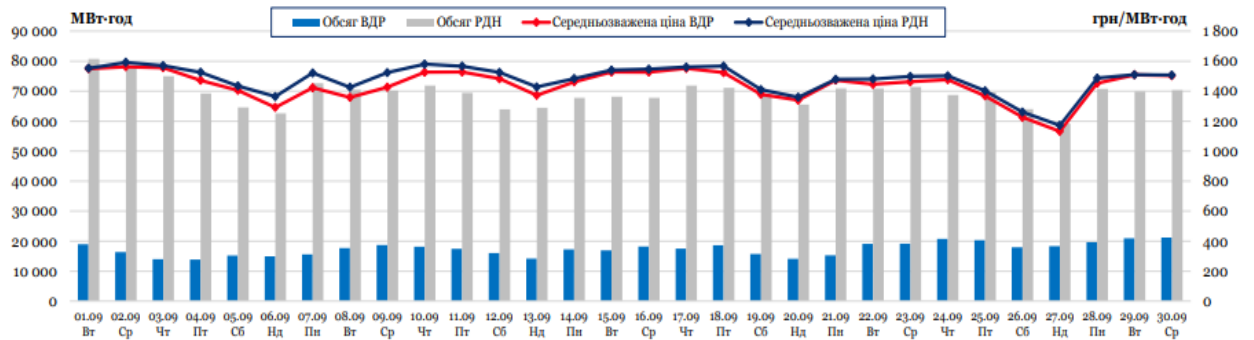


Рисунок 1.13 – Обсяг та середньозважена ціна ВДР та РДН за вересень 2020 року [30]

З метою стабілізації ринку, стимулювання до вищої якості прогнозування обсягів споживання, з березня 2020 року розпочав працювати балансуючий ринок, результати роботи якого наведено на рисунку 1.14, та ринок небалансів електричної енергії, що поклало додаткову відповідальність за фізичне та фінансове врегулювання відхилень графіків споживання. Так при відхиленні фактичних графіків споживання та генерації від прогнозованих формувалася плата за небаланси, та проводились необхідні взаєморозрахунки.

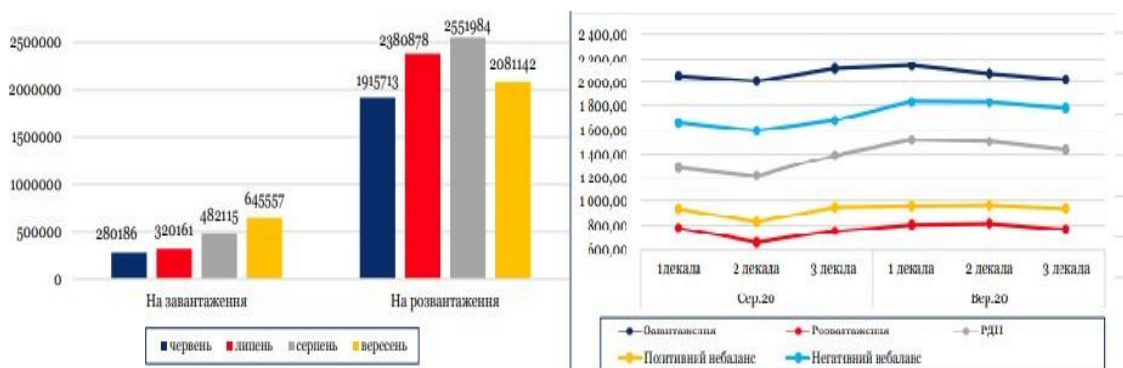


Рисунок 1.14 - Обсяги балансуючої енергії в ОЕС України в 2020 р., МВт·год (а); Ціни на балансуючу енергію та небаланси в ОЕС України грн/МВт·год (б) [30]

В режимі реального часу, на балансуючому ринку відбувається коригування обсягів генерації, споживання, імпорту та експорту, мінімізуючи витрати на компенсацію небалансів.

Було створено ринок допоміжних послуг (РДП), де приймаються участь сертифіковані постачальники допоміжних послуг (ПДП), надаючи послуги із

резерву підтримки частоти (РПЧ), резерву відновлення частоти (РВЧ), резерв заміщення (РЗ), підтримання параметрів надійності та якості електричної енергії ОЕС України.

Для дотримання енергетичного балансу та підтримання частоти мережі оператор ринку Укренерго віддає команди на розвантаження та завантаження в першу чергу найбільш маневрених генерацій, ТЕС та ГЕС. Так, при спаді споживання, ціни на БР відносно цін на РДН знижуються, відбувається розвантаження по контракту РВС станцій із найдорожчою генерацією. Для теплової генерації, через технологічний процес, необхідно від 2 до 12 годин на введення потужності в роботу, що призводить до неефективної роботи як самих станцій, так і ринкових механізмів загалом, тому важливим та актуальним завданням залишається підвищення точності прогнозування графіків споживання.

Аукціони з торгівле електроенергією діляться на одно та двосторонні. Покупець прагне забезпечити покриття свого прогнозованого графіку споживання за мінімальну можливу вартість. Продавець же розподіляє доступний йому обсяг генерації, між покупцями що виставили найвищу ціну, порівняно із іншими покупцями. У випадку двосторонніх договорів, визначається рівноважна ціна, на основі отриманих заявок, та формування кривих попиту і пропозиції. Так покупці із заявками по цінах нижче рівноважної, не акцептують свої обсяги, а пропозиції із вищими цінами будуть незатребувані. Механізм формування ціни схематично зображено на рисунку 1.15. Ціновий ризик, що беруть на себе учасники ринку, залежить від розміру небалансів, який можна мінімізувати активною участю на балансуєчому ринку, що дозволяє скоригувати свої договірні позиції протягом доби поставки.

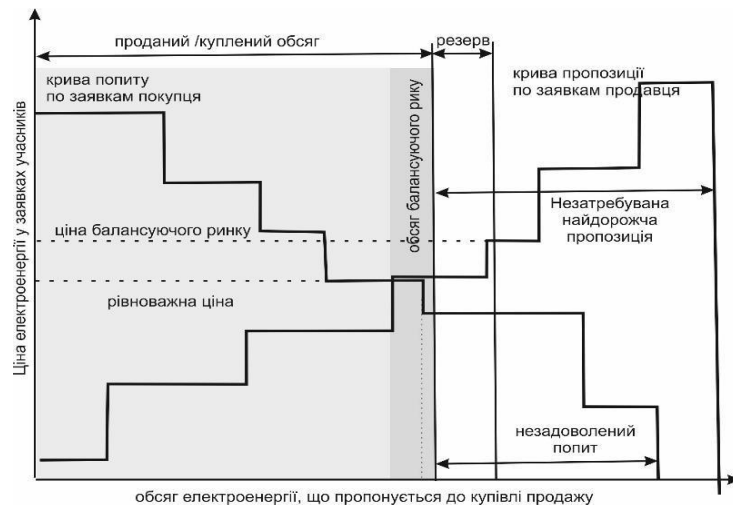


Рисунок 1.15 - Ціноутворення на двосторонньому аукціоні [30]

Враховуючи такий механізм формування аукціонних цін, для отримання конкурентної переваги над іншими учасниками ринку, створюються відділи комерційної диспетчеризації, в яких працівники опрацьовують інформацію від системи АСКОЕ, інформацію про власне споживання генеруючих одиниць та інші втрати, з метою отримання найбільш точних моделей прогнозування графіків споживання. Також використовується моделювання проведення торгів, для формування оптимальної торгової стратегії на ринку.

На розрахунок кінцевої вартості електричної енергії для підприємства, окрім обсягів закуплених на сегментах ринку електричної енергії, впливають технологічні втрати, тариф на передачу електричної енергії, який встановлюється НКРЕКП єдиний, на рік і забезпечує покриття витрати Укренерго, тариф на розподіл, який також затверджується НКРЕКП для кожного обленерго окремо, та йде на покриття витрат пов'язаних із функціонуванням розподільних мереж та маржинальна націнка обраного постачальника електричної енергії.

Важливими факторами, для забезпечення ефективної роботи моделі ринку, та роботи учасників ринку є підтримка надійної роботи обладнання, чітке планування виведення своїх об'єктів у ремонт, достатність маневрених потужностей, поінформованість диспетчера про режим роботи мережі для виконання розрахунків режимів роботи мережі в реальному часі, згідно вимог описаних у документації ENTSO-E, використання сучасних систем

автоматизації диспетчерських центрів, систем моніторингу, управлінням електричними мережами та збором даних фактичного споживання і втрат.

В галузі ВДЕ реальна ринкова конкуренція відсутня, так як ДП «Гарантований покупець» зобов'язаний викуповувати весь обсяг згенерованої електроенергії за встановленим та статичним «зеленим» тарифом. Тривалий час ідуть напрацювання до переходу на аукціони для будівництва об'єктів ВДЕ, націлених на отримання стимулюючих тарифів. Це принесе, на певному рівні, конкуренцію між об'єктами ВДЕ, але до закінчення дії «зелених» тарифів, яка триває до 2030 року, більшість існуючих об'єктів не прийматимуть безпосередню участь у ринку.

Зараз на Українській енергетичній біржі, ДП «Гарантований покупець» проводить регулярні аукціони з продажу «зеленої енергії», пропонуючи кращий продукт (у сенсі забезпечення пропонованих графіків), ніж це змогли б робити окремі об'єкти ВДЕ самостійно. Також, для зменшення дефіциту балансу Гарантованого покупця, у серпні 2020 року, було змінено розмір уже встановлених «зелених» тарифів для об'єктів що знаходяться в експлуатації з 2015 року. [31]

Загалом, попри виникнення проблем всередині самого ринку, так і проблем обумовлених впливом зовнішніх факторів, нова модель ринку продовжує встановлюватись. Спостерігається постійний ріст учасників на РДН, збільшення обсягів торгових позицій, стабілізація середньозваженої ціни. [30] Зростає доля торгівлі на РДД, тенденція відображена на рисунку 1.16, зменшується рівень волатильності, завдяки новому механізму ПСО зростають комерційні продажі з АЕС, розвивається та удосконалюється функціонування БР, розвивається ринок надання допоміжних послуг.

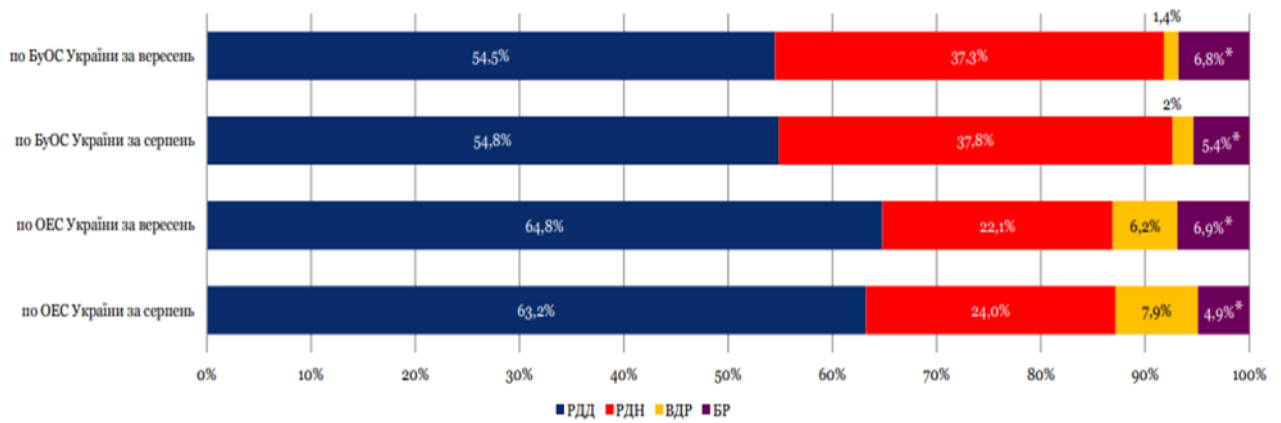


Рисунок 1.16 - Частка ринку за кінцевими продажами у серпні-вересні [30]

Пройшовши, на самому початку становлення, ряд складних випробувань, спричинених зовнішніми факторами, нова модель ринку продовжує розвиватись та удосконалюватись, розвиваючи усі свої сегменти. Так збільшення обсягів торгівлі на РДД, дозволяє зменшити вартість електричної енергії для промисловості, роблячи її більш конкурентною, та забезпечити впевнене планування роботи генеруючих компаній, запасаючи необхідну кількість палива наперед, планувати модернізації технологічних процесів.

Головними ж перевагами нової моделі ринку електричної енергії, залишаються організаційні фактори, так як прозорість галузі, підвищення конкуренції, дотримання антимонопольного законодавства, впровадження інноваційних технологій, формування відчуття відповідальності учасників ринку за обов'язки покладені на них, забезпечення шляху інтеграції із Європейськими ринками, що відкриє нові можливості для всіх учасників.

1.3.2 Вплив ВДЕ на ринку на формування MicroGrid систем в Україні

Окрім очевидних тенденцій, що ріст галузі ВДЕ неминуче запустить процес формування галузі систем накопичення електричної енергії, за період його дії відбулося кілька змін, які не завжди позитивно відобразились на можливості її швидкого розвитку. В свою ж чергу, негативні тенденції пов'язані з системами накопичення електричної енергії, в перспективі, знають своє відображення на сповільненні росту систем MicroGrid та SmartGrid.

В Україні до 2030 року існуватиме «зелений тариф» головною метою якого є стимулювання розвитку відновлювальної енергетики в країні. Така тривала дія пільгового тарифу пояснюється необхідністю створення, фактично з «нуля», інфраструктури для будівництва та експлуатації об'єктів ВДЕ. За час дії тарифу було відкрито десятки компаній готових надавати послуги з поставки обладнання, виконання проєктних, будівельних, пусконаладжувальних робіт; надавати послуги з експлуатації та оптимізації роботи ВДЕ; власного виробництва матеріалів для будівництва; деяким з них навіть дозволила вийти на міжнародний ринок та конкурувати там. Конкуренція між подібними компаніями скоротила не лише CAPEX та OPEX будівництва встановленого мегавата потужності, а й зменшила ризики пов'язаних з експлуатацією об'єктів, завдяки розвитку сервісних компаній, розвитку банківського кредитування та залученням різноманітних інвесторів. Зросла не лише кількість обслуговуючого персоналу, але і його якість. Університети технічної направленості відкривають спеціальності пов'язані з галуззю та випускають спеціалістів яких, ще десяток років тому, можна було найняти лише закордоном, із країн де ця галузь зароджувалась.

Однак, такий тривалий термін дії пільгового тарифу мав на меті і інші цілі. Не менш важливою, за переліченні вище, була ціль інтеграції ВДЕ в ОЕС України. Гостро постає проблема покриття нерівномірностей добових графіків електричної енергії. Головною особливістю відновлювальної енергетики є погана прогнозованість кількості генерації, навіть в короткостроковий період, що призводить до зростання вимог до маневрених потужностей ОЕС для компенсації змін потужностей протягом доби СЕС.

За період дії «зеленого» тарифу, до 2030 року, бачилося два шляхи зменшення негативного впливу ВДЕ на енергосистему:

- покращення якості прогнозування;
- залучення інвестицій для формування галузі систем накопичення.

Для плавного переходу законодавством було передбачено поступове введення відповідальності за відхилення від прогнозованого обсягу генерації:

10% у 2021 році та подальший ріст на 10% щороку, допоки не закінчиться дія «зеленого» тарифу та ВДЕ не стануть повноцінними учасниками ринку.

За цей покращилася б підходи до прогнозування, та розвивалися б системи накопичення електричної енергії.

У 2020 році було прийнято зміни у цій частині Закону і повна відповідальність настала уже на початку 2022 року. Враховуючи решту негативних тенденцій 2020 та 2022 років, інвестори не можуть залучити додаткових коштів, щоб у форсованому темпі розбудовувати нову галузь. А кошти які могли б піти на це з їх діяльності, зараз йдуть на покриття інших витрат, в тому числі на «небаланси» зі 100% відповідальністю.

Звісно, ця ситуація більш складна та багатофакторна, однак звернемо увагу саме на цей її аспект також, щоб зрозуміти деякі втрачені можливості для поступового розвитку нової галузі, а саме поступовий розвиток дозволяв би запроваджувати нові технології, не несучи великих ризиків і перейти від систем накопичення для покриття небалансів ВДЕ до SmartGrid.

Формування нової енергетичної галузі, у свій час, було серйозним викликом для країни та енергетики. Хоча дискусія щодо правильності обраних інструментів триває досі, ми можемо констатувати наступні позитивні тенденції, що утворилися за цей час, та можуть стати основою для розвитку та перебудови структури енергетики в подальшому:

- зниження «порогу входу» для інвесторів у енергетичну галузь. Відтак, раніше щоб зайнятись енергетикою як бізнесом потрібні були мінімальні інвестиції на рівні сотень мільйонів доларів, то тепер можна почати розбудову бізнесу із сотень, а то і десятків тисяч доларів;

- створення бази розподіленої генерації, на основі якої у подальшому можна розпочати систему розбудови MicroGrid швидкими темпами;

- створення широкої інфраструктури компаній та досвідчених спеціалістів для розбудови та експлуатації розподіленої генерації;

- підготовка законодавчої та організаційної основи державних компаній та регулятора, для інтеграції мікро мереж.

1.4. Системи накопичення електричної енергії як основа побудови MicroGrid систем.

1.4.1 Типи накопичувачів електричної енергії.

З точки зору фізики та техніки розроблено багато концепцій зберігання електричної енергії. Широта можливих методів демонструється варіативністю доступних для зберігання форм енергії, це теплова, хімічна та механічна.

Технології накопичення ще не до кінця сформовані і постійно удосконалюються, ті що здавались найменш перспективними, за рахунок розвитку науки та техніки викликають новий інтерес, та відкривають нові можливості.

Технології які станом на сьогодні набули поширення, можна виділити: гідро зберігання, зберігання у вигляді теплової енергії з використанням різних елементів, технології на основі стисненого повітря, потокові батареї, паливні елементи, різні способи хімічного зберігання, зберігання енергії маховика, магнітні надпровідні накопичувальні елементи, суперконденсатори.

Основним видом накопичувачів які використовуються сьогодні є гідроакумулюючі електростанції, які сягають 95% установленної потужності, від усього обсягу систем накопичення, однак роль інших видів збереження енергії зростає. Цей тип відноситься до механічного збереження енергії. В таких системах електроенергія споживається для накопичення води з нижнього резервуару у верхній і, за необхідності, повертається у нижній резервуар, розкручуючи турбіну для генерації електричної енергії. [32]

Враховуючи великі капітальні затрати на будівництво таких систем, та специфічні географічні вимоги, в майбутньому цей вид накопичувачів не отримає значного приросту, відносно уже існуючих станцій.

У системах накопичення з використанням стисненого повітря, також використовується механічне збереження енергії, електродвигуни споживають електричну енергію, для закачування повітря у закриті об'єми, при цьому

виділяється значна кількість теплової енергії. В залежності від використання теплової енергії, накопичувачі із стисненим повітрям поділяються на адіабатичні, ізотермічні, квазі-ізотермічні та діабатичні. Їх встановлена потужність знаходиться в діапазоні від 50 МВт до 300 МВт. Під час стиснення повітря, вони накопичують теплову енергію і повертають її, нагріваючи повітря, при його протіканні через турбіну. Інший метод, при сталій температурі повітря, стискувати та розширювати повітря. Будівництво таких систем також потребує значних фінансових вкладень та специфічних вимог до географічного розміщення.[33]

Системи накопичення з використанням маховиків зберігають електроенергію у вигляді кінетичної енергії. Маховик розкручується електродвигуном-генератором, перетворюючи електричну енергію у кінетичну та навпаки. Для мінімізації втрат маховики розміщують у вакуумному середовищі. Основним компонентом маховика є ротор, його характеристики, інерція та швидкість обертання, визначають енергетичну ємність накопичувача. Електричний двигун-генератор визначають потужність маховика, відокремлюючи електричні характеристики від енергетичних.

Вони отримали широке поширення в роботі з вітровими турбінами та фото електричними станціями, компенсуючи їх коливання потужності. Також вони використовуються для згладжування коливань, викликаних зміною вітрових потоків.

Основні переваги цих систем: тривалий термін служби (понад 20 років), висока маневреність на зміну потужності у системі, висока ефективність, мінімальний вплив на навколишнє середовище, висока щільність потоку енергії. Однак, для їх впровадження необхідні значні капіталовкладення.

Електрохімічні акумуляторні батареї (Battery Energy Storage Systems (BESS)), відносяться до електрохімічних систем накопичення електричної енергії, вони перетворюють споживану електричну енергію у енергію хімічних сполук, та навпаки.

Можна виділити три типи електрохімічних накопичувачів:

- звичайні акумулятори, які складаються із осердників та містять два електроди (свинцеву кислоту, іон літію та інші);
- високотемпературні, які зберігають електричну енергію, наприклад, у розплавленій солі;
- ті що використовують електролітні рідини у ємностях (Zn / Br Redox, FE / Cr Redox).

Вони характеризуються широким діапазоном потужностей, високою маневреністю (1 мс), однак мають низький коефіцієнт корисної дії, мають низький саморозряд. [34-35]

Паливні комірки також відносяться до хімічного способу зберігання енергії. Вони затрачають електричну енергію для синтезу палива, яке у подальшому спалюється на традиційних електростанціях, наприклад синтезуючи водень та метан. Електроенергія використовується для електролізу, розчіплюючи воду на кисень та водень, а водень вступає у хімічну реакцію з діоксидом вуглецю синтезуючи метан. Перевагою синтезу метану є можливість використання існуючої інфраструктури природнього газу, так як метан є основним його елементом.[36-37]

Порівняння ключових характеристик систем накопичення наведено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Характеристики накопичувачів електроенергії

Системи	Потужність та час розряду		Тривалість зберігання		Капітальна вартість	
	Номінальна потужність	Час розряду	Самостійна розрядка в день	Відповідна тривалість зберігання	\$/кВт	\$/кВтгод
ГАЕС	100–5000 МВт	1–24 г+	Дуже мала	Години – місяці	600–2000	5–100
CAES	5–300 МВт	1–24 г+	Мало	Години – місяці	400–800	2–50
Свинцево-кислотні акумулятори	0–20 МВт	Секунди-години	0.1–0.3 %	Хвилини – дні	300–600	200–400
NiCd	0–40 МВт	Секунди-години	0.2–0.6 %	Хвилини – дні	500–1500	800–1500
NaS	50 кВт–8 МВт	Секунди-години	~20 %	Секунди-години	1000–3000	300–500
Літій-іонні акумулятори	0–100 кВт	Хвилини години	0.1–0.3 %	Хвилини – дні	1200	600–2500
Паливні елементи	0–50 МВт	Секунди – 24 год+	Майже нуль	Години – місяці	10,000+	
Аморфні метали	0–10 кВт	Секунди – 24 год+	Дуже мала	Години – місяці	100–250	10–60
SMES	100 кВт–10 МВт	Мілісекунди – 8с	10–15 %	Хвилини – години	200–300	1000–10,000
Маховики	0 – 250 кВт	Мілісекунди	100 %	Секунди – хвилини	250–350	1000–5000

4.2 Взаємодія накопичувачів електричної енергії з об'єднаною енергосистемою та розосередженою генерацією.

На сьогодні в Україні СНЕ на основі BESS починають використовуватися для надання допоміжних послуг ОСП. НЕК «Укренерго» 26-31 серпня провела випробування першої в Україні промислової літій-іонної системи накопичення енергії ДТЕК потужністю 1 МВт і ємністю 2.25 МВт·год. За результатами випробувань батарея отримала сертифікацію для надання допоміжних послуг — резерву підтримки частоти (РПЧ) оператору системи передачі. [19]

Іншим «плацдармом» для широкого впровадження СНЕ в Україні являється галузь ВДЕ, виходячи із її технологічних особливостей.

Головною перевагою взаємодії із цією галуззю є наявність інвесторів, які уже частково окупили вкладенні кошти, та розуміють особливості роботи їх систем. Більшість із них готові розвивати свій бізнес, не лише будівництвом нових генеруючих потужностей ВДЕ, а й модернізацією існуючих, для отримання більш конкурентного продукту на ринку.

З огляду на інтенсивний розвиток сонячної енергетики гостро постає проблема покриття нерівномірностей добових графіків електричної енергії. Головною особливістю відновлювальної енергетики є погана прогнозованість кількості генерації, навіть в короткостроковий період, що відображено на рисунку 1.17 та 1.18., що призводить до зростання вимог до маневрених потужностей ОЕС для компенсації змін потужностей протягом доби СЕС. В свою чергу розвиток СЕС не знижує потреби в традиційній генерації, оскільки під час максимуму ОЕС України в СЕС проглядається високий спад генерації, що пов'язаний з погодними умовами. [38]

Також існуючі об'єкти ВДЕ розміщені нерівномірно територіально, згідно рисунку 1.19 більшість об'єктів локалізовано на півдні України.

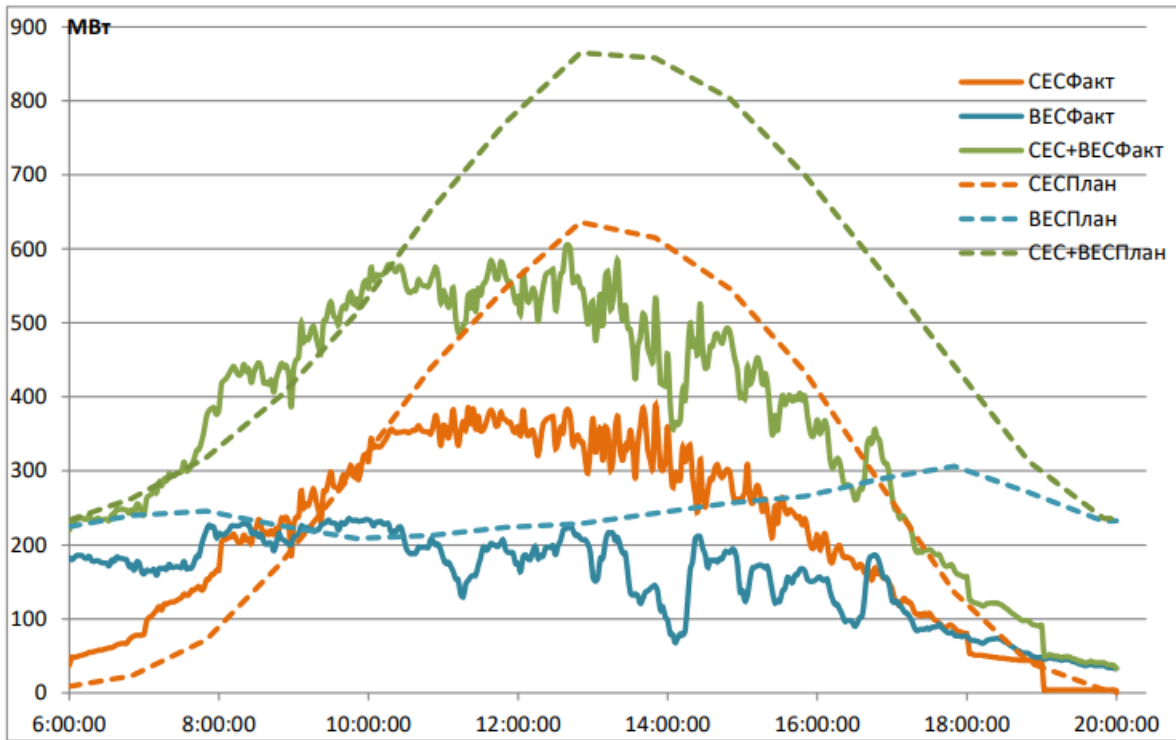


Рисунок 1.17 - Планова та фактична генерація ВЕС та СЕС України 20 квітня 2018 р. [38]

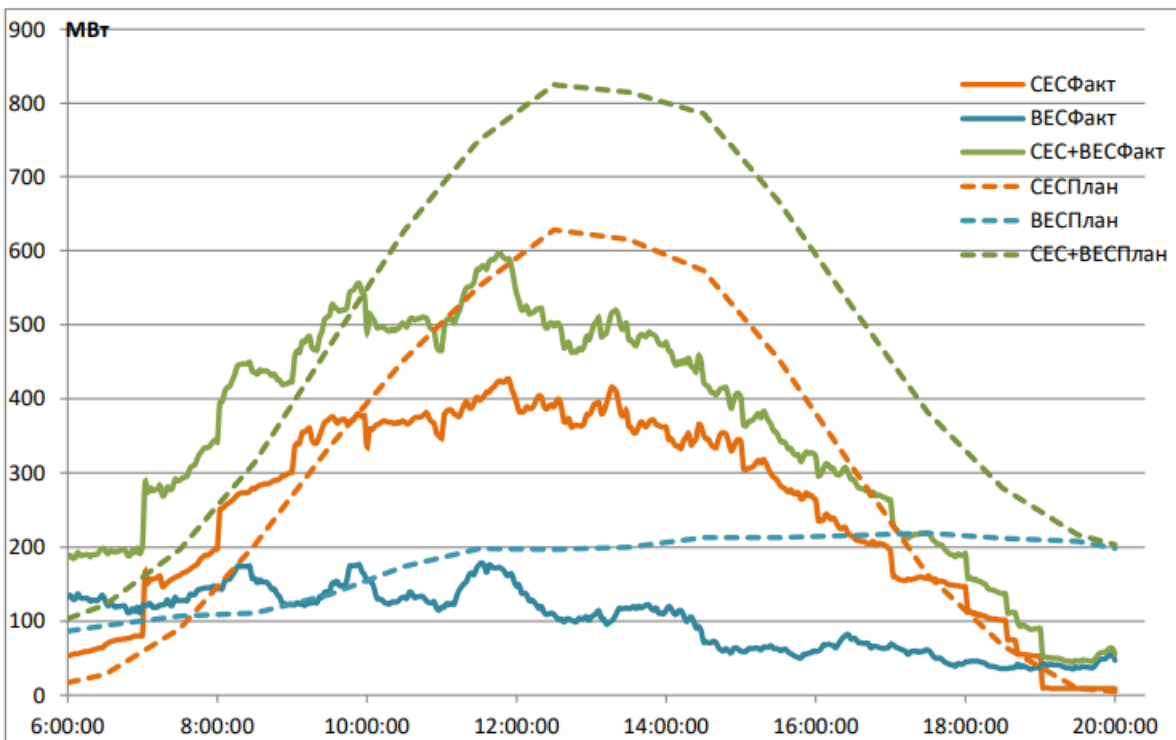


Рисунок 1.18 - Планова та фактична генерація ВЕС та СЕС України 6 травня 2018 р. [38]

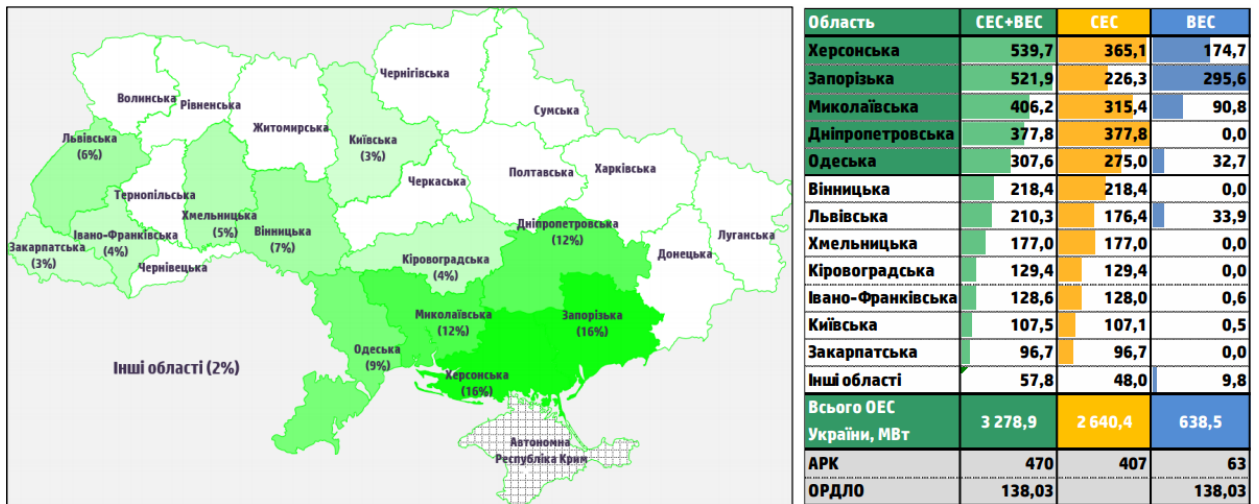


Рисунок 1.19 – Територіальний розподіл встановленої потужності СЕС та ВЕС по території України [38]

За даними ДП НЕК «Укренерго» одним із найбільш ефективних шляхів забезпечення стабільної роботи ОЕС України та збереження темпів зростання потужності СЕС та ВЕС у подальшій перспективі, завдання щодо яких встановлені Енергетичною стратегією України на період до 2035 року, є впровадження систем акумулювання електроенергії для компенсації флуктуацій сонячної та вітрової генерації в обсягах 0,1 ГВт до 2021 року, та 0,5 ГВт до 2025 року, а також збільшення потужностей високоманеврових ТЕС зі швидким стартом в період з 2020 року по 2025 рік з 0,5 ГВт до 2- 2,5 ГВт з підтримкою на цьому рівні у подальшій перспективі. Реалізація такого шляху забезпечує можливість інтеграції до складу ОЕС України до 2025 року до 4,2 ГВт потужностей ВЕС та 3,3 ГВт потужностей СЕС. При збереженні існуючої ситуації з розвитку генеруючих потужностей та відсутності реалізації спеціалізованих заходів щодо інтеграції ВЕС та СЕС (підвищення маневрових можливостей енергосистеми), можливості розвитку ВЕС та СЕС будуть обмежені на рівні 3 ГВт. [39]

Існує значний досвід практичного використання ВЕС, зокрема щодо зміни потужності ВЕС при різких перепадах швидкості вітру. Так, за даними ІЕА для ВЕС в екстремальних погодних умовах зафіксовано стрибки

потужності, рисунок 1.20, зі швидкістю 10-35% номінальної потужності за годину (окремі значення – майже до 40%).[40]

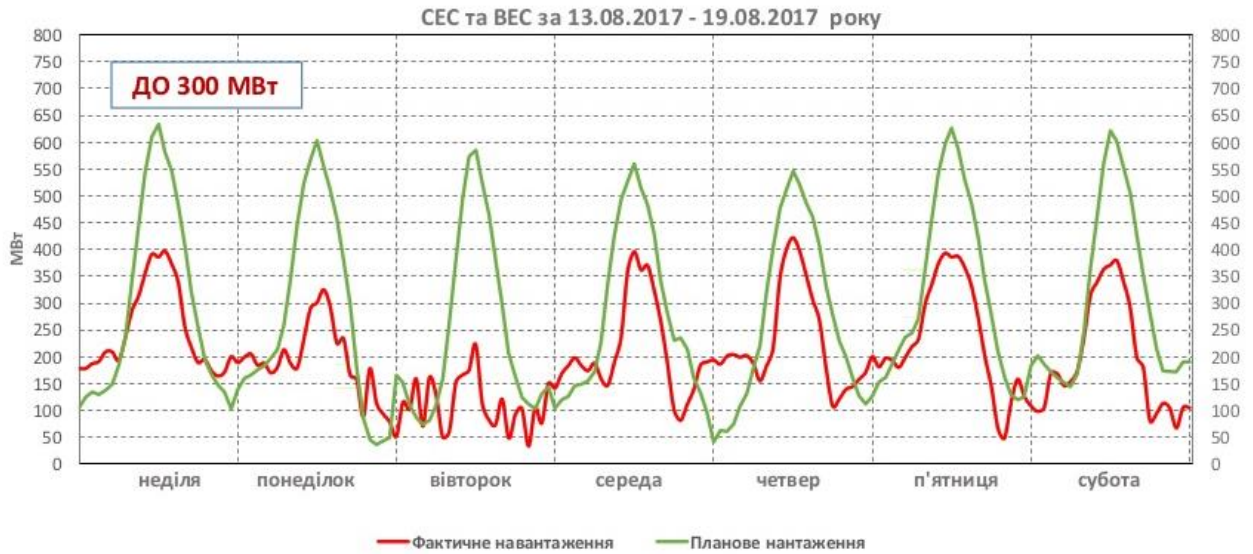


Рисунок 1.20 - Коливання фактичної потужності ВЕС та СЕС від запланованої [40]

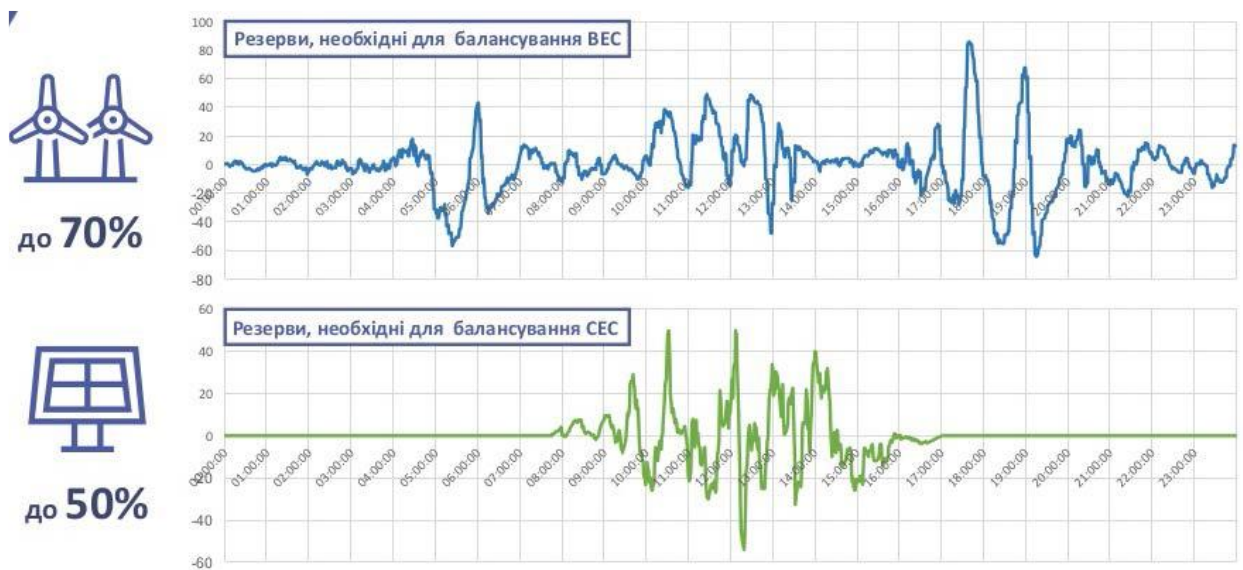


Рисунок 1.21 - Внутрішньогодинні коливання генерації з ВДЕ [41]

Проте середній темп змін – 5% на годину. Щодо змін за одну хвилину – зафіксовано максимальні значення 0,5-0,8% номінальної потужності. Розмах коливань потужності для одиничних агрегатів у цілому більший, ніж для ВЕС, що відображено на проілюстровано на рисунку 1.21, що займають значну територію. Так, для 1-годинного осереднення стандартне відхилення зростає

десь на третину при переході від великої кількості ВЕУ (понад 250) до малої (до 14 одиниць). На більш тривалих інтервалах часу можливі суттєвіші коливання потужності; в екстремальних ситуаціях вітротурбіни зупиняють повністю. Грозивий фронт звичайно потребує 4-6 годин, щоб перетнути територію в сотні кілометрів. Для такого часового масштабу актуальним є застосування різних методів прогнозування роботи ВЕС. [41]

Слід зауважити, що невизначеність генерації ВДЕ може привести до неоптимального складу генеруючих одиниць на розрахунковий період для балансування ЕЕС. При раптовій зміні робочої потужності ВДЕ, наприклад, швидке зростання або заспокоєння вітру, електростанції, що знаходяться в роботі, повинні мати достатній резерв потужності для завчасного реагування на такі зміни.[42]

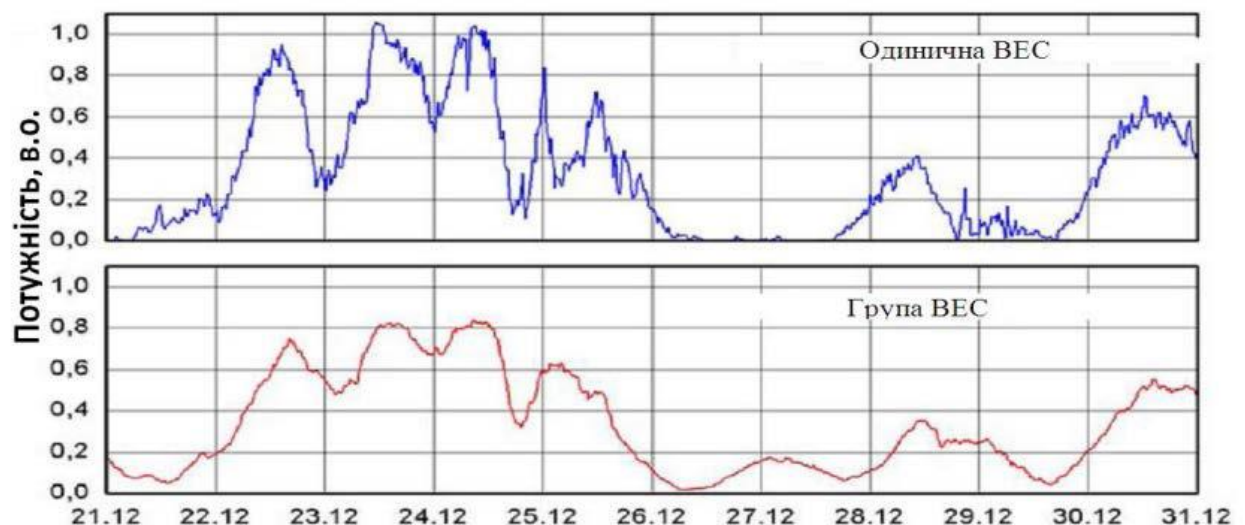


Рисунок 1.22 - Прогнозовані коливання потужності одиночної та групи ВЕС [43]

Навіть за умови високої точності прогнозу потужності ВЕС та СЕС вплив може бути істотним, на рисунку наведено 1.22 коливання одиночних та групових ВЕС. Для забезпечення надійного електропостачання споживачів за таких умов роботи ЕЕС повинна бути достатньо гнучкою. ЕЕС вважається гнучкою, якщо вона може впоратись з невизначеністю та мінливістю попиту і

генерації електричної енергії за умови збереження надійності роботи енергосистеми при помірних додаткових витратах.[43]

4.3 Аналіз законодавства України щодо систем накопичення електричної енергії.

Україна відкрила ринок електроенергії в липні 2019 року, запровадивши конкурентні принципи ринку відповідно до 3-го енергетичного пакету, викладеного в директивах ЄС. Загальна модель та структура ринку разом з основоположними принципами, яким має керуватись ринок електричної енергії, описана Законом України «Про ринок електричної енергії», та численні підзаконні акти деталізують його правила. Добре функціонуючий та ефективний ринок повинен:

- сприяти конкуренції,
- фокусуватись на продуктах і послугах, а не учасниках і технологіях,
- гарантувати без бар'єрний і рівноправний доступ до ринку для будь-якого учасника,
- не надавати переваги будь-якій технології, а бути технологічно-нейтральним,
- бути достатньо гнучкими, щоб дозволити новим технологіям розвиватись,
- бути розробленим таким чином, аби мінімізувати необхідність державного втручання. [44]

Теоретично, вільний ринок без регулювання цін завжди з часом досягає ринкової рівноваги та балансу попиту та пропозиції. Інколи ринки можуть неналежно виконувати свою роль, що призводить до недостатності попиту та/або пропозиції на товари або послуги. Це може бути результатом кількох причин:

- Регуляторні бар'єри, що означає, що правила ринку були розроблені у формі, що не сприяє розвитку конкуренції або створює бар'єри для певних учасників ринку;

- Економічні бар'єри, такі як цінові обмеження на різних сегментах ринку: з одного боку, цінові обмеження можуть перешкоджати вхід на ринок виробникам з більшими витратами на виробництво (що призводить до потенційного дефіциту пропозиції у періоді пікового попиту), та з іншого боку цінові обмеження можуть спотворювати стимули та призвести до надприбутків виробників з нижчими витратами.

Ринок електроенергії є сукупністю пов'язаних сегментів, які взаємодіють між собою. Це не лише ринок електроенергії як продукту в кіловат-годинах, а цілий комплекс з сегментів, які пропонують різні послуги. Будь-який гравець чи будь-яка технологія, які відповідають встановленим параметрам та здатні дотримуватись правил, можуть брати участь в ринку. Основна ідея лібералізованого ринку полягає в тому, що взаємодія між попитом та пропозицією формує ринкову ціну, і ця ціна дає сигнали потенційним учасникам ринку про наявні економічні можливості. Жодна технологія не повинна мати привілейований підхід регулювання на основі фізичних чи інших показників. Ринок має формувати вартість конкретних послуг, які найкраще відповідають вимогам системи за найменшою ціною.

Ринки електроенергії не є само організованими та вимагають чітких правил взаємодії різних гравців на різних сегментах ринку. Будь-яке втручання в один сегмент ринку легко впливає на інші, тому будь-які зміни в одному сегменті завжди повинні бути ретельно оцінені з точки зору впливу на інші сегменти.

Виробництво та споживання електроенергії мають дорівнювати один одному в будь-який момент часу. Незважаючи на те, що учасники ринку планують своє виробництво та споживання у певному балансі, відхилення все ж трапляються. Оператори системи передачі, як Укренерго, справляються із відхиленнями шляхом закупівлі різних резервів на відповідних сегментах

ринку для забезпечення безпеки постачання. Такі послуги надаються на балансуєчому ринку та ринку допоміжних послуг.

Резерви як частина допоміжних послуг грають роль свого роду страхового полісу для енергосистем. Резерв – це певна кількість невикористаної потужності, яка необхідна ОСП для компенсації дефіциту енергії чи коливання частоти та для уникнення аварійних відключень. Резерв має бути готовим до активації в будь-який момент у період часу, передбачений при закупівлі послуги. ОСП платить надавачам послуги за зарезервовану потужність, тобто за МВт резерву, готового до активації. Зазвичай закупівля резервів проводиться регулярно та наперед.

Задача балансуєчого ринку полягає у врівноваженні попиту та пропозиції на балансуєчу енергію в умовах наявної різниці між споживанням та виробництвом у певний момент часу. На цьому ринку ОСП купує енергію в МВт·год та близько до реального часу протягом дня.

Будь-який учасник ринку може брати участь в цих сегментах за умови наявності відповідного обладнання та здійснення діяльності відповідно до вимог правил ринку та кодексів систем. Допоміжні послуги розрізняють за швидкістю реагування та тривалістю надання послуги. Український ринок допоміжних послуг включає наступні:

- Резерв підтримки частоти (РПЧ, первинний резерв);
- Резерв відновлення частоти (РВЧ, вторинний резерв);
- Автоматичний РВЧ (аРВЧ, із швидшим реагуванням та автоматичною активацією);
- Ручний РВЧ (рРВЧ, з більш повільним реагуванням, активується в ручному режимі);
- Резерв заміщення (РЗ, третинний резерв).

Ці послуги можуть надаватись різними технологіями чи їх комбінаціями, наприклад:

- гарячий резерв «на валу» теплових станцій,
- гідроакumuлюючі станції,

- споживачі, які можуть регулювати своє навантаження через управління попитом,
- поршневі газові двигуни швидкого старту,
- поміж інших – системи накопичення енергії з використанням акумуляторів,
- та агрегатори, які можуть поєднувати різні технології в одному портфелі.

В сучасних енергосистемах з високою часткою перемінних ВДЕ, таких як сонце та вітер, найбільш цінується короткий час реагування резервів. Вартість резервів повинна бути представлена ціною на відповідні послуги, і ціна має давати сигнал яку якість, які параметри очікуються від послуги. Системи накопичення енергії самі по собі здатні надавати всі види резервів. Акумулятори є особливо цінними у забезпеченні первинного резерву РПЧ завдяки дуже швидкому реагуванню. Однак застосування системи накопичення енергії не обмежується наданням допоміжних послуг. Ця технологія також може застосовуватися для надання допоміжних послуг, не пов'язаних із регулюванням частоти, а пов'язаних з роботою мережі чи для іншого застосування

В Україні, ринок допоміжних послуг наразі не в змозі пропонувати послуги, необхідні оператору системи передачі (ОСП). Причини цього наступні:

- Недосконалі ринкові правила, які встановлюють високий вхідний бар'єр для нових гравців, наприклад у вигляді технічних вимог для надання послуг, які навряд чи можуть бути виконані в реальності;
- Неготовність учасників ринку, що привело до відсутності сертифікованих постачальників послуг у липні 2019 і в основному лише гідроелектричних станцій сертифікованих на сьогодні;
- Регульовані цінові обмеження на балансуєчому ринку та ринку допоміжних послуг, які можуть створюють бар'єри входу на ринок для нових інвесторів та знижують інвестиційну привабливість;

- Регуляторна невизначеність, у вигляді постійних змін до правил ринку та нормативних актів, що знижує впевненість щодо нових інвестицій.

Вищеперераховані фактори є регуляторними бар'єрами, які виключно породжені недосконалим підзаконними актами. Для виправлення ситуації потрібно лише оновити вторинне законодавство, а первинне законодавство не вимагає обов'язкових змін.

Українська енергосистема зіткнулась із швидким зростанням кількості нових станцій ВДЕ в останні роки. Встановлена потужність ВДЕ збільшилась в три рази у 2019, з приблизно 2 ГВт до 6.4 ГВт. Український Оператор системи передачі «Укренерго» стверджує, що в Україні необхідно якнайшвидше встановити системи накопичення енергії. Проте останній проєкт Звіту з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей від 2019 року не дає чіткої оцінки поточного попиту на допоміжні послуги та яка частина цього попиту може бути покрита існуючими постачальниками, без встановлення нових систем накопичення енергії. Звіт акцентує увагу саме на СНЕ, проте не надає достатньої оцінки спроможності інших технологій та учасників ринку, здатних надавати послуги первинного резерву.

За необхідності, закон може надати чітке визначення процесу накопичення енергії, без прив'язки до технології. Це дозволить відрізнити процес від вже існуючих видів діяльності (наприклад від виробництва, споживання) для забезпечення його подальшого чіткого правового регулювання та можливості участі будь-якій технології накопичення. Однак, технології накопичення енергії можуть брати участь на ринку навіть без спеціального визначення в законі, як показує досвід країн ЄС – хоча й з певними обмеженнями.

Закон може також передбачати принципи та механізми проведення закупівлі послуг, які не може надати ринок в реальних умовах. Така процедура може надати можливість ОСП закуповувати послуги від гравців ринку на спеціальних умовах, але в рамках ринкових механізмів,

Існують й інші способи стимулювання на рівні закону розвитку сучасних технологій, які могли б вільно брати участь на ринку. Акцент не повинен бути на створенні механізму державної підтримки конкретних технологій, а на стимулів всіх учасників брати участь в ринку, а також на різноманіття послуг. Оператори ВДЕ можуть по-різному використовувати системи накопичення, які дозволять їм уникати потенційних витрат та оптимізувати діяльність. Проте для того, щоб інвестиції в системи накопичення були прибутковими для виробників з ВДЕ та сприяли стабільності системи, слід сприяти повній інтеграції ВДЕ у ринкові механізми, наприклад через самостійну безпосередню участь у ринку та повну відповідальність за небаланси.

Висновки до розділу 1

Українська енергосистема морально застаріла та у неї закінчується ресурс фізичної експлуатації. Враховуючи світові тенденції до росту споживання електричної енергії, вартості енергоносіїв, та впливу розвитку ВДЕ в Україні на структуру ринку та енергосистеми, просте оновлення основних фондів передавальних мереж не вирішить проблем які виникають сьогодні, та не забезпечить можливості подальшого розвитку енергетики. Впровадження MicroGrid систем, наряду із поширенням розподіленої генерації, дозволить у подальшому впроваджувати SmartGrid системи.

Переломним моментом стане масове впровадження систем накопичення. Одним із актуальних для інвесторів напрямків використання систем накопичення, є реалізація стратегії цінового арбітражу.

Для реалізації стратегії цінового арбітражу електричної енергії на основі систем накопичення необхідно провести аналіз ринку електричної енергії на економічну доцільність.

Для подальшого розвитку розподіленої генерації, необхідно дослідити існуючі умови на сегментах ринку електричної енергії.

РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ВПРОВАДЖЕННЯ MICROGRID СИСТЕМ НА ОСНОВІ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В УМОВАХ ФУНКЦІОНУВАННЯ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

2.1 Аналіз ринку електричної енергії для впровадження MicroGrid на основі систем накопичення електричної енергії.

Волатильність ринку електричної енергії України обумовлена його структурою, що зображена на рисунку 2.1. Головною генерацією в Україні являється атомна, яка покриває базове навантаження. Відповідно, будучи найменш маневреною та найбільш потужною генерацією, свої обсяги Енергоатом продає на ринку двосторонніх договорів (РДД), через форвардні контракти з періодом постачання від місяця до пів року.

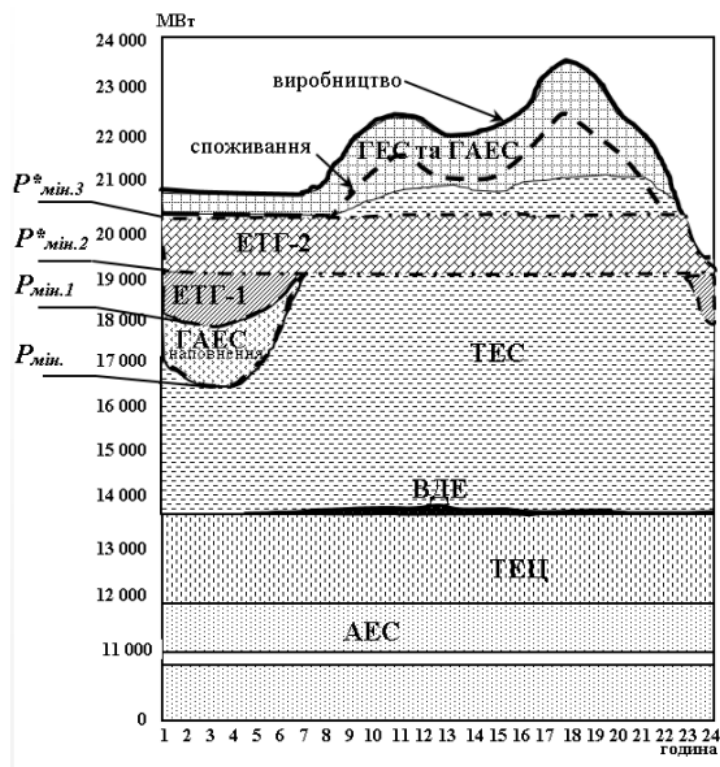


Рисунок 2.1 - Добовий графік виробництва/споживання електричної енергії [17]

Враховуючи профіль споживання у країні, з двома явно вираженими піками та відсутність достатньої кількості маневрених потужностей для їх покриття виникає волатильність ринку.

Також, на денне просідання ціни на спотових ринках вагомий вплив має генерація ВДЕ, особливо у літні періоди, коли ринок профіцитний.

Для прикладу розглянемо, наведені на рисунку 2.2, дані РДН за період 14-15 вересня 2021 року. Коли споживання уже починає рости, а генерація ВДЕ ще досить висока. [45]

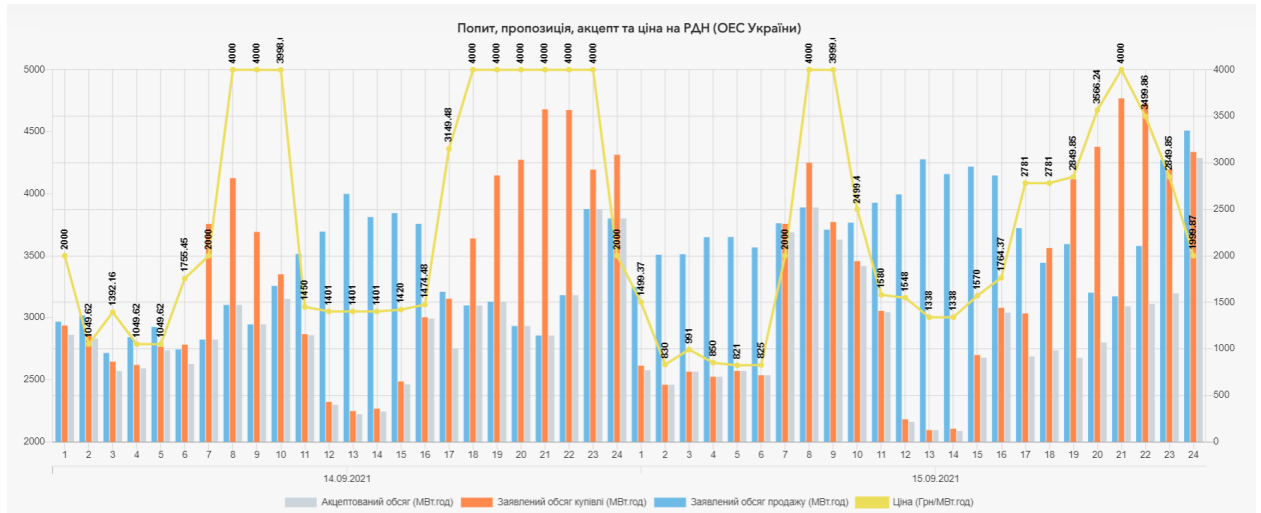


Рисунок 2.2 - Дані РДН за період 14-15 вересня 2021 року [45]

Відповідно, використовуючи MicroGrid на базі накопичувача електричної енергії ми можемо скористуватись такою волатильністю ринку провівши два цикли зарядки та розрядки за добу.

Однак, взявши дані наступних кількох днів, для прикладу за 18-19 вересня 2021, волатильність уже не настільки явно виражена і доцільність використання систем накопичення для арбітражу на РДН потребує додаткового аналізу.

Не лише структура енергетики впливає на формування такої волатильності. В історичному масштабі, ринок електричної енергії України працює короткий час, а враховуючи кілька кризових років, до сих пір не встиг стати стійким.

Про це свідчить проведений аналіз волатильності цін на електроенергію в сегменті РДН, який підтверджує, що починаючи із листопада 2019 р. до середини 2020 року ринок працював у форсованому режимі. Така низька прогнозованість ринку електричної енергії призводить до ризиків у фінансово-

господарській діяльності промислових підприємств і створює умови для врегулювання проблемних питань за рахунок підняття тарифів.

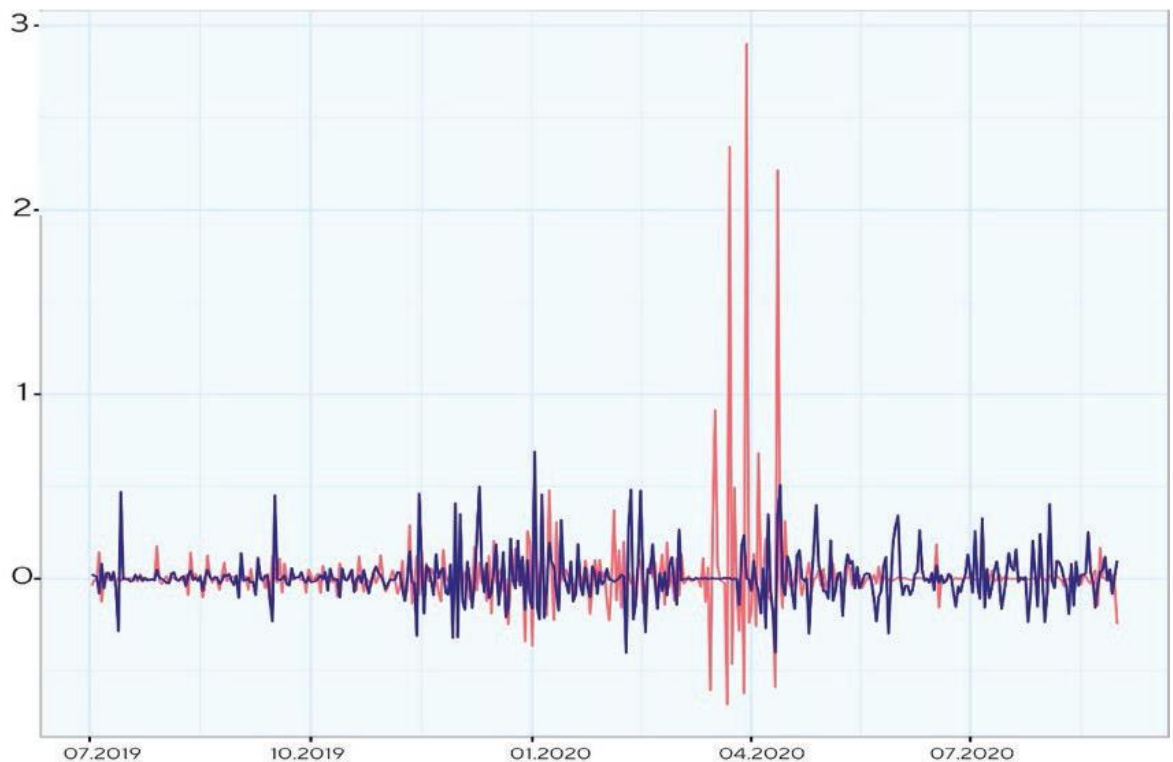


Рисунок 2.3 - Волатильність середньозважених цін на електроенергію в сегменті РДН

Було встановлено, що період з високим ступенем волатильності (листопад 2019 р. — березень 2020 р.) співпадає із перманентними змінами у нормативно-правові акти та адміністративним втручанням, що відображено на рисунку 2.3, що спотворювало торгові операції за рахунок продажу ресурсу, який не підкріплений фактичними обсягами генерації.

Такі маніпуляції спричиняли штучне падіння цін в сегменті РДН, збільшуючи різницю із «зеленим» тарифом, що призводило до ризиків банкрутства підприємств теплової генерації, НАЕК «Енергоатом» та ДП «Гарантований покупець».

Враховуючи таку непостійність як ринку в цілому, так і законодавчі маніпуляції використання систем накопичення на РДН та ВДР може зменшити ризики для кінцевих споживачів.

2.2 Методи Оцінки ефективності впровадження системи MicroGrid для інвестицій

Враховуючи специфіку розвитку мікро мереж, з першочерговою орієнтацією на споживачів та об'єднання споживачів невеликою потужності, для зручності взаємодії з ними доцільно використовувати загальні, не специфічні інструменти оцінки ефективності інвестицій.

Оцінка ефективності та окупності проектів виконується за допомогою ряду методів, які враховують як специфіку самого проекту, так і доступні варіанти залучення фінансування. Вони розділяються на дві групи: в яких використовується дисконтування та у яких не використовується дисконтування.

- Методи з використанням дисконтування:
 - метод розрахунку чистого приведенного доходу (NPV);
 - метод визначення індексу рентабельності інвестицій (PI);
 - метод визначення внутрішньої норми доходності інвестицій (IRR).
- Методи, які не враховують використання концепції дисконтування відносять:
 - метод визначення строку окупності інвестицій (PP);
 - метод визначення середньої норми прибутку на інвестиції (ARR).

Розглянемо метод розрахунку чистого приведенного доходу.

Розрахунок чистого приведенного доходу (NPV) визначається за такою формулою:

$$NPV = \sum \frac{Pk}{(1+i)^n} - IC \quad (2.1)$$

де Pk – річні грошові надходження протягом n- років; IC – початкові інвестиції; i – ставка дисконту.

При $NPV > 0$ проєкт варто приймати до реалізації; якщо $NPV < 0$, проєкт збитковий, та його варто відхилити; $NPV = 0$ – проєкт не збитковий, для його реалізації слід розглянути інші фактори.

Метод визначення індексу рентабельності інвестицій (PI). Індекс рентабельності інвестицій визначається за такою формулою:

$$PI = \sum \frac{P_k}{(1+i)^n} : IC \quad (2.2)$$

Якщо $PI = 1$, то це означає, що доходність інвестицій точно відповідає нормативу рентабельності. Якщо $PI > 1$, то проєкт прибутковий, і, навпаки $PI < 1$ – проєкт збитковий.

Метод визначення внутрішньої норми доходності (IRR). Показник внутрішньої норми доходності (IRR) характеризує максимально допустимий відносний рівень витрат, які мають місце при реалізації інвестиційного проєкту.

Внутрішню норму доходності визначають за формулою:

$$IRR = A + \frac{a(B-A)}{a-b} \quad (2.3)$$

де A – величина ставки дисконту, при якій NPV позитивна; B – величина ставки дисконту, при якій NPV негативна; a – величина позитивної NPV при величині ставки дисконту A ; b – величина негативної NPV при величині ставки дисконту B .

Якщо IRR проєкту більша за вартість капіталу інвестора, то проєкт можна рекомендувати для фінансування.

До методів, в яких процес дисконтування може не використовуватися відносять:

Метод визначення строку окупності інвестицій (PP).

Якщо не враховувати фактор часу, то показник строку окупності інвестицій можна визначити за такою формулою:

$$PP = IC/P_c \quad (2.4)$$

де IC – розмір інвестицій; P_c — щорічний середній чистий прибуток. [46]

2.3 Методики визначення ефективної ємності системи накопичення електричної енергії.

Для подальшого розрахунку, слід визначити ефективну ємність накопичення електричної енергії. Ємність буде інтегрована в існуючу систему промислового навантаження із розподіленою генерацією, реалізованою у вигляді сонячної електростанції. Так, як ця система експлуатувалася уже якийсь час, є накопиченні погодинні данні із системи АСКОЕ за період серпень-грудень 2021 року.

На основі даних погодинного навантаження, визначимо найбільшу різницю, між розподіленою генерацією, та споживанням, що графічно зображено на рисунку 2.4.

$$\begin{aligned} f1 &= \min_1^{31} P_{\text{нав}} \\ f2 &= \min_1^{31} P_{\text{ген}} \end{aligned} \quad (2.5)$$

де $P_{\text{нав}}$ – погодинне значення навантаження у кожен розрахунковий період, за 01.08.2021-31.12.2021 (31 днів).

де $P_{\text{ген}}$ – погодинне значення генерації у кожен розрахунковий період, за 01.08.2021-31.12.2021 (31 днів).

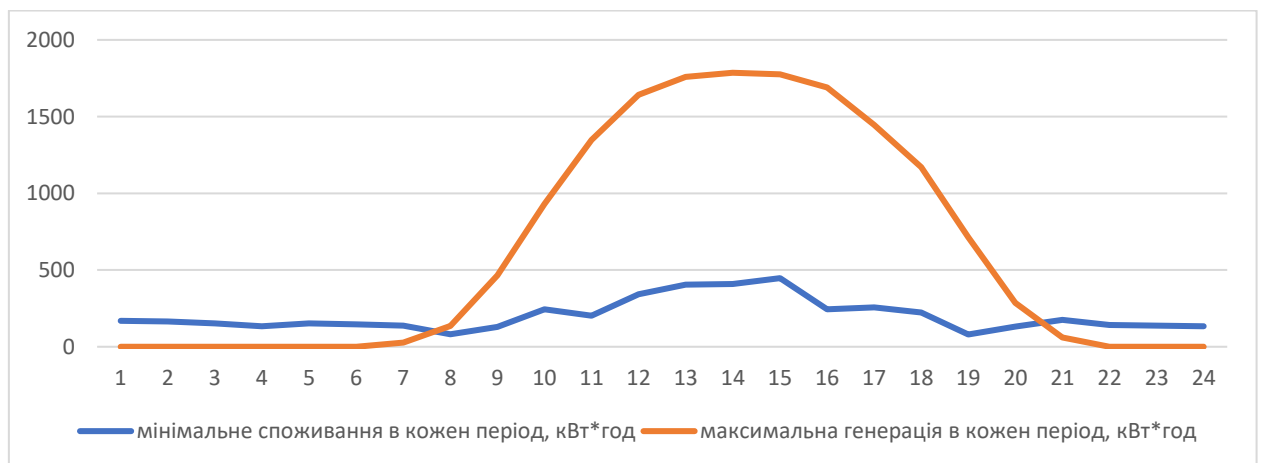


Рисунок 2.4 – Мінімальне значення споживання та максимальне значення генерації, у розрахункові періоди, за час серпня-грудня 2021 року

Знайдемо максимальну потужність P_1 та максимальну ємність W_1 накопичувача для цієї системи.

$$P_1 = \max (f1 - f2) \quad (2.6)$$

$$W_1 = \sum_1^{24} f1_i - f2_i, \text{ при } f1_i > f2_i \quad (2.7)$$

Таким чином, ми отримуємо значення максимальної потужності, яку може прийняти накопичувач протягом години, та максимальної ємності, яку він може вмістити протягом доби.

Тепер, для визначення ефективної ємності, по чергово підставлятимемо значення P_1 та W_1 у наведений нижче алгоритм, зменшуючи їх на 10% на кожній наступній ітерації. Значення P_1 поки приймаємо максимальним.

Далі, згідно нижче наведеного алгоритму на рисунку 2.5, моделюємо роботи системи накопичення різної ємності, інтегрованої з навантаженням та роботою сонячної станції.

де d – кількість повних днів у періоді, на основі якого ми розраховуємо модель, $P_{nav}(j)$ – погодинне значення споживання електричної енергії, $P_{gen}(j)$ – погодинне значення генерації СЕС, $W(i)$ – об'єм обраного накопичувача, на даній ітерації, $W_{temp}(i,j)$ – погодинний стан накопичувача, $P_{temp}(i,j)$ – погодинний обсяг накопичення/розрядження накопичувача, $P_{sum}(i)$ – сумарний накопичений обсяг електричної енергії системою.

Для подальшого аналізу, використаємо погодинні данні ринку, визначаючи найбільш економічний обсяг накопичувача.

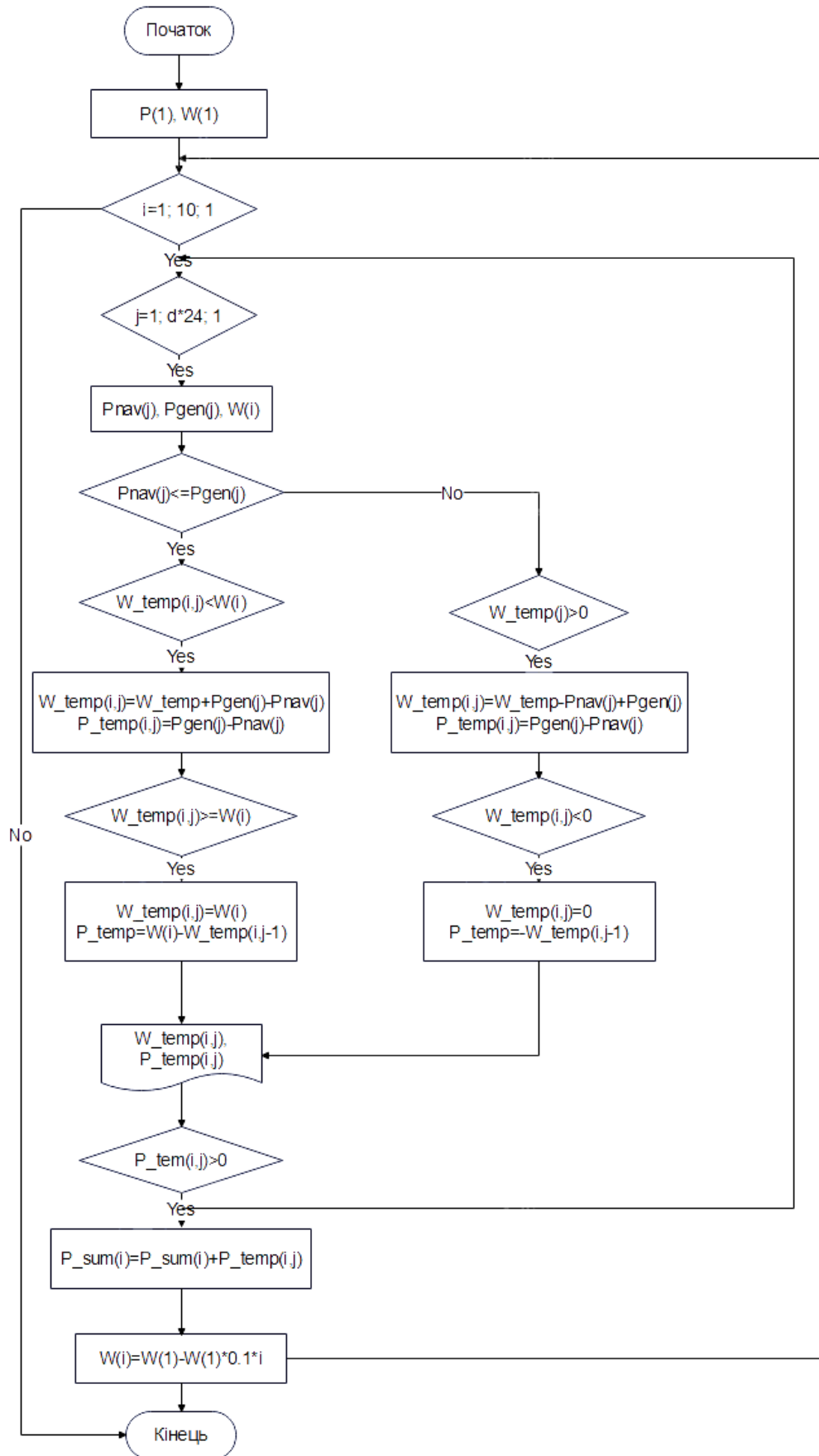


Рисунок 2.5 – Алгоритм розрахунку накопичувачів різної ємності (із ітерацією 10%) в системі з використанням навантаження та СЕС.

Висновки до розділу 2

Попри тривалу нестабільність на ринку електричної енергії, викликану різними факторами, все ж помітні тенденції до його лібералізації у майбутньому, та проглядаються тенденції яким він буде. В середньостроковій перспективі ринок електричної енергії зберігатиме значну волатильність. Це пов'язано із структурою енергетики на якій він базується, та тенденціями до яких він рухається, яскравим прикладом є розвиток ВДЕ.

Враховуючи інтерес малого та середнього бізнесу до впровадження систем накопичення, необхідно створити зручні та зрозумілі методи оцінки ефективності інвестицій та моделі роботи системи накопичення в умовах ринку.

РОЗДІЛ 3 ОПТИМІЗАЦІЯ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ MICROGRID НА ОСНОВІ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В УМОВАХ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

3.1 Розрахунок ефективної ємності накопичувача

Для даного розрахунку, було прийнято ряд допущень: ефективність перетворення енергії у накопичувачі, оптимальний режим розряду накопичувача, вартість небалансів (основна частина яких, виникає при неточності прогнозування роботи СЕС) при взаємодії із ринком, вартість встановлення накопичувача в існуючу систему, у випадку необхідності, їх можна додати у модель та розрахунок.

Для визначення ефективної, та комерційно доцільної, інтеграції накопичувача електричної енергії в існуючу систему навантаження із сонячною електростанцією, використаємо накопиченні погодинні дані АСКОЕ цієї системи за доступний період. В залежності від завдання що стоїть перед нами, обираємо період, на якому будемо проводити розрахунки.

У нашому випадку, обираємо обмежений період серпня 2021 року, так як у ньому ринок зазнавав найменшого регулювання, та система із навантаження та розподіленої генерації (СЕС) найбільш активно взаємодіяли.

На основі даних погодинного навантаження, визначимо найбільшу різницю, між розподіленою генерацією, та споживанням за обраний період, та для наочності, зобразимо їх на рисунку 3.1.

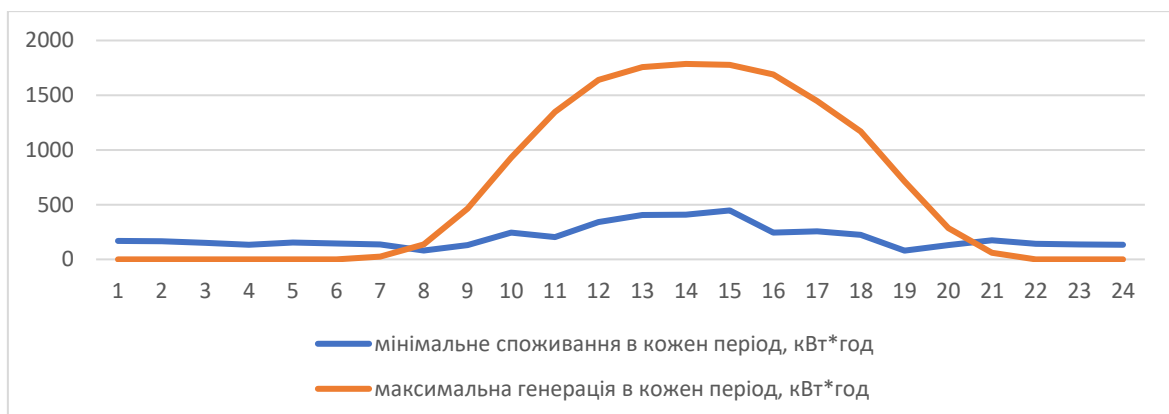


Рисунок 3.1 – Мінімальне значення споживання та максимальне значення генерації, у розрахункові періоди, за час серпня 2021 року.

Знайдемо максимальну різницю, між функцією мінімального споживання та максимальної генерації, які наведені у таблиці 3.1, за обраний період:

$$P_1 = \max (f2 - f1) = 1\ 334 \text{ кВт}$$

Таблиця 3.1 - Різниця, між максимальною генерацією та мінімальним споживанням системи, за період серпня 2021 року

Розрахунковий період, год	Мінімальне споживання в кожен період, за серпень 2021р., кВт*год	Максимальна генерація в кожен період, за серпень 2021р., кВт*год	Різниця, між генерацією та споживанням, кВт*год
1	184	0	-184
2	256	0	-256
3	212	0	-212
4	189	0	-189
5	162	0	-162
6	188	0	-188
7	164	26	-138
8	151	136	-15
9	212	465	253
10	264	930	666
11	307	1347	1040
12	471	1641	1170
13	585	1758	1173
14	610	1781	1171
15	536	1776	1240
16	356	1691	1335
17	306	1446	1140
18	226	1170	944
19	134	713	579
20	181	286	105
21	175	61	-114
22	168	0	-168
23	180	0	-180
24	179	0	-179

Знайшовши суму позитивних значень різниці, між максимальною генерацією та мінімальним споживанням системи визначимо максимальний обсяг електроенергії, яку система може накопити за добу:

$$W_1 = \sum_1^{24} P_{gen_i} - P_{nav_i}, \text{ при } (P_{gen_i} - P_{nav_i}) > 0 \quad (3.1)$$

$$W_1 = 10\,814 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Приймаємо ці значення за параметри накопичувача для першої ітерації. На кожній наступній ітерації зменшуємо об'єм накопичувача на 10%, об'єми модельованих накопичувачів наведені у таблиці 3.2 та на рисунку 3.2, в залежності від завдання крок можна обрати інший, збільшивши або зменшивши кількість ітерацій.

Таблиця 3.2 - Використання накопичувача, відносно встановленої ємності

Об'єм накопичувача, кВт*год	Всього накопичено за розрахунковий період, кВт*год	Використання накопичувача, відносно встановленої ємності, %
10814	346311	32
9733	344149	35
8651	340742	39
7570	336416	44
6488	330367	51
5407	318996	59
4326	298337	69
3244	252983	78
2163	184039	85
1081	101613	94

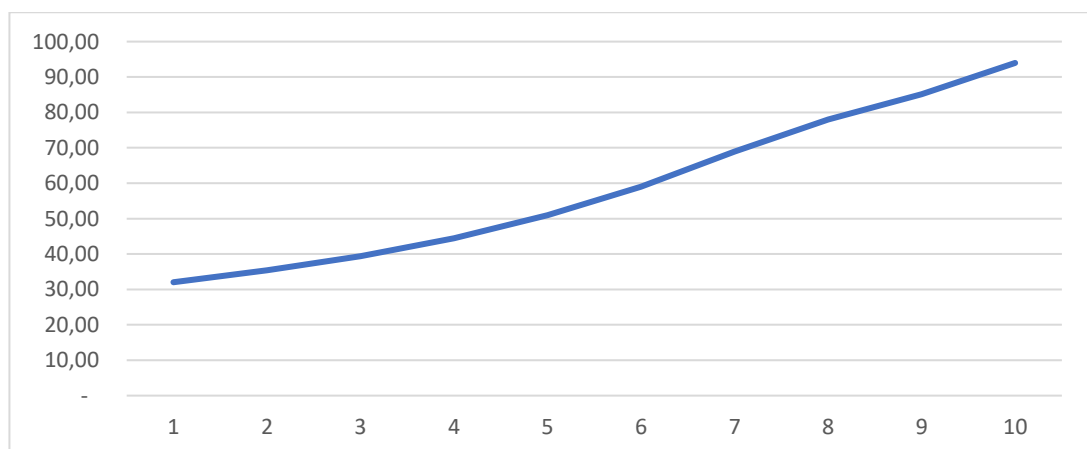


Рисунок 3.2 - Використання накопичувача, відносно встановленої ємності

Провівши моделювання згідно алгоритму описаного у розділі 2, отримаємо результати взаємодії системи навантаження, СЕС та накопичувачів різної ємності. Для зручності ілюстрації, наведемо приклад взаємодії системи із зовнішньою мережею за три доби:

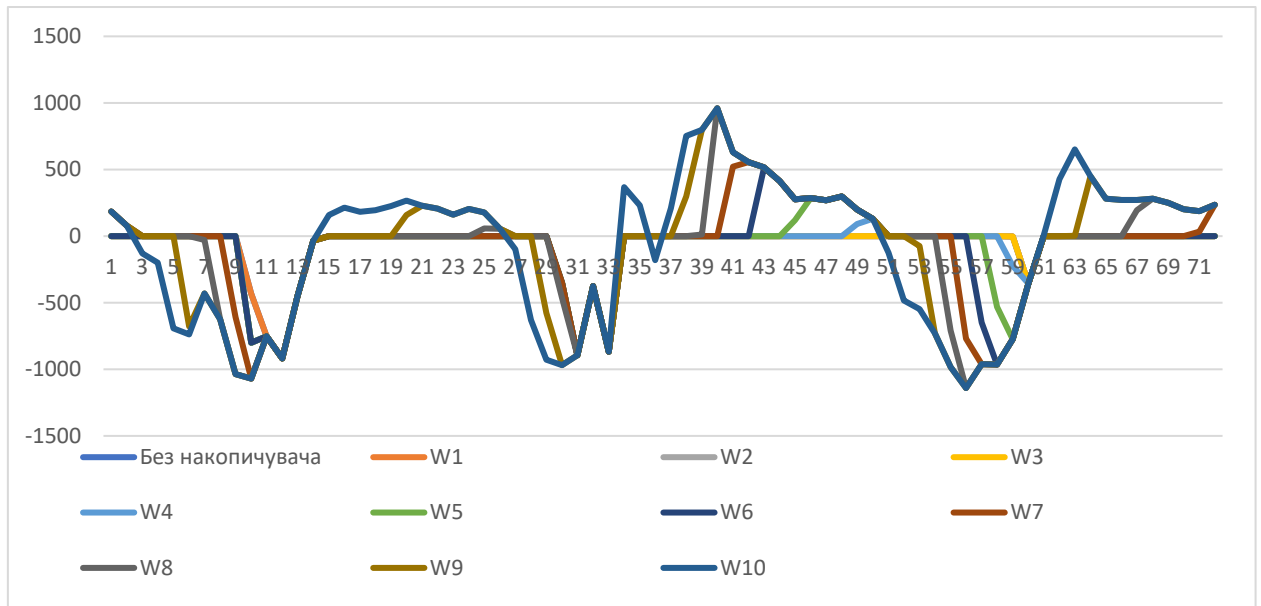


Рисунок 3.3 – Взаємодія системи навантаження, СЕС та накопичувачів різної ємності із зовнішньою мережею

На рисунок 3.3, від'ємні значення означають обсяг споживання системи із зовнішньої мережі, додатні значення – відпуск у зовнішню систему надлишку електричної енергії.

Використаємо значення вартості електричної енергії сегменту ринку РДН, як ідентифікативного, та порахуємо сальдовану вартість електричної енергії спожитої та відпущеної системою із навантаження, СЕС та накопичувачів різної ємності:

Таблиця 3.3 – Сальдована вартість електричної енергії спожитої та відпущеної системою із навантаження, СЕС та накопичувачів різної ємності

Об'єм накопичувача,	Сальдована вартість ел. ен. системи, грн
0 кВт*год	122 130
W1 – 10814 кВт*год	28 279
W2 – 9732.6 кВт*год	26 007
W3 – 8651.2 кВт*год	27 437
W4 – 7569.8 кВт*год	26 164

Продовження таблиці 3.3

W5 – 6488.4 кВт*год	24 348
W6 – 5407 кВт*год	22 352
W7 – 4325.6 кВт*год	15 258
W8 – 3244.2 кВт*год	11 078
W9 – 2162.8 кВт*год	20 456
W10 – 1081.4 кВт*год	65 166

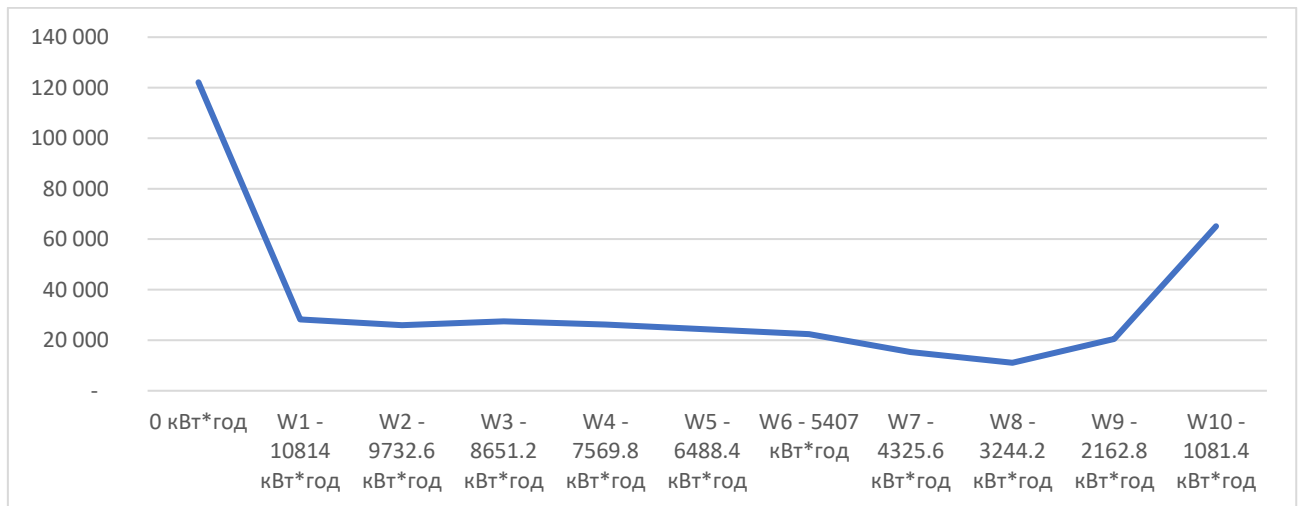


Рисунок 3.4 – Сальдована вартість електричної енергії спожитої та відпущеної системою із навантаження, СЕС та накопичувачів різної ємності

Сальдована вартість електричної енергії без накопичувача за серпень 2021 року становила 122 130 грн, з використанням накопичувача оптимального обсягу 3244,2 кВт*год, вона становитиме 11 078 грн, мінімальне значення із результатів розрахунку, наведених у таблиці 3.3 та на рисунку 3.4. Різниця складе 111 052 грн.

3.2 Визначення та збір необхідних даних спотового ринку електричної енергії

Для оцінки комерційної ефективності використання систем накопиченням, необхідно враховувати дані ринку. Однак ринок електричної енергії в Україні почав працювати з 1 липня 2019 року та на етапі його впровадження працювало ряд обмежень. Лише з березня 2020 року почав функціонувати сегмент балансуєчого ринку електричної енергії.

За час роботи ринку виникало ряд зовнішніх факторів, які призводили до ручного регулювання ринку, серед них – обмеження в зв'язку із впровадженням усіх сегментів ринку, карантинні обмеження, повномасштабне вторгнення РФ-її, спекуляції трейдерів та інше. Вплив такого регулювання наочно наведений на рисунках 3.5-3.8.

Це знайшло своє відображення на роботі ринку:

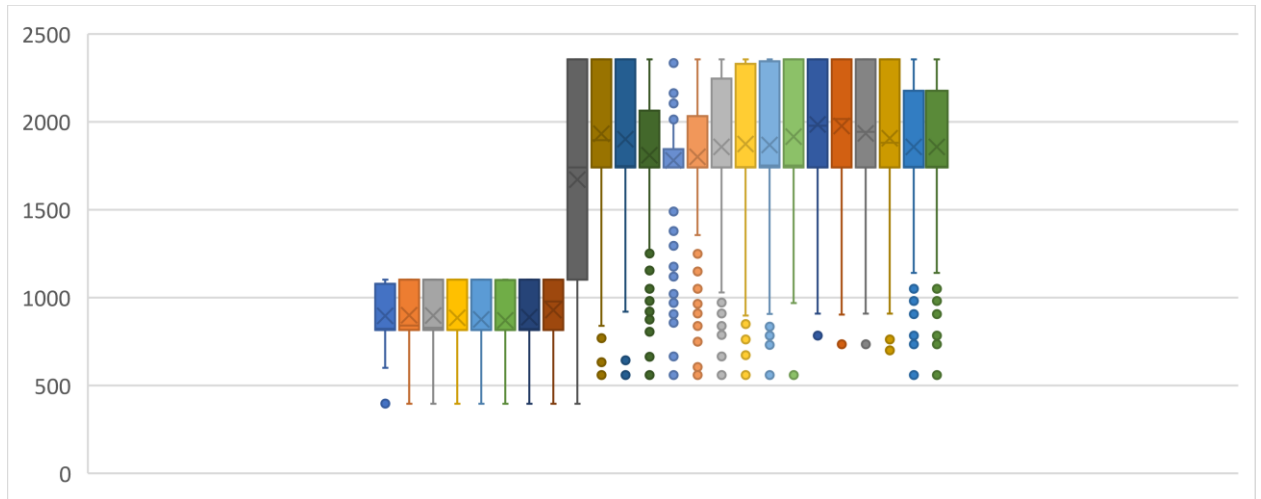


Рисунок 3.5 – Діапазон цін РДН по періодах доби за липень-грудень 2019 року

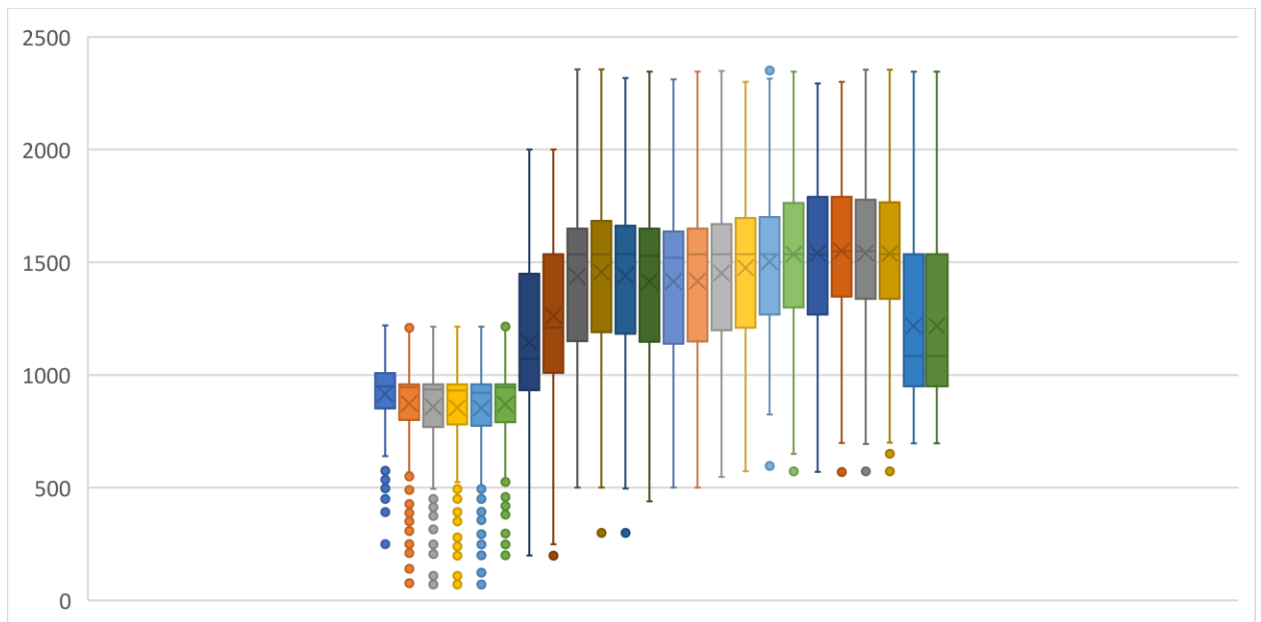


Рисунок 3.6 – Діапазон цін РДН по періодах доби за січень-грудень 2020 року

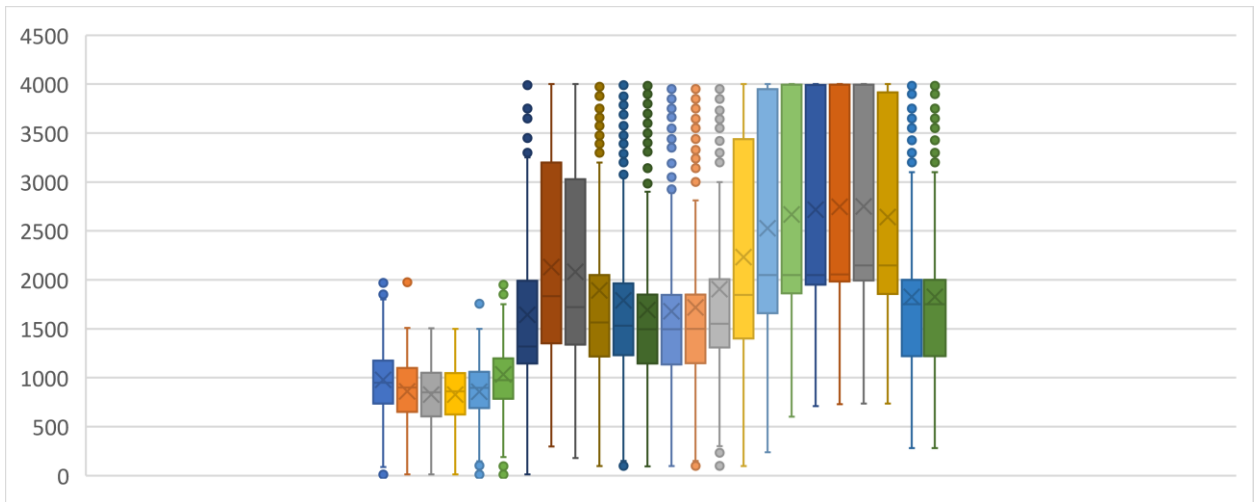


Рисунок 3.7 – Діапазон цін РДН по періодах доби за січень-грудень 2021 року

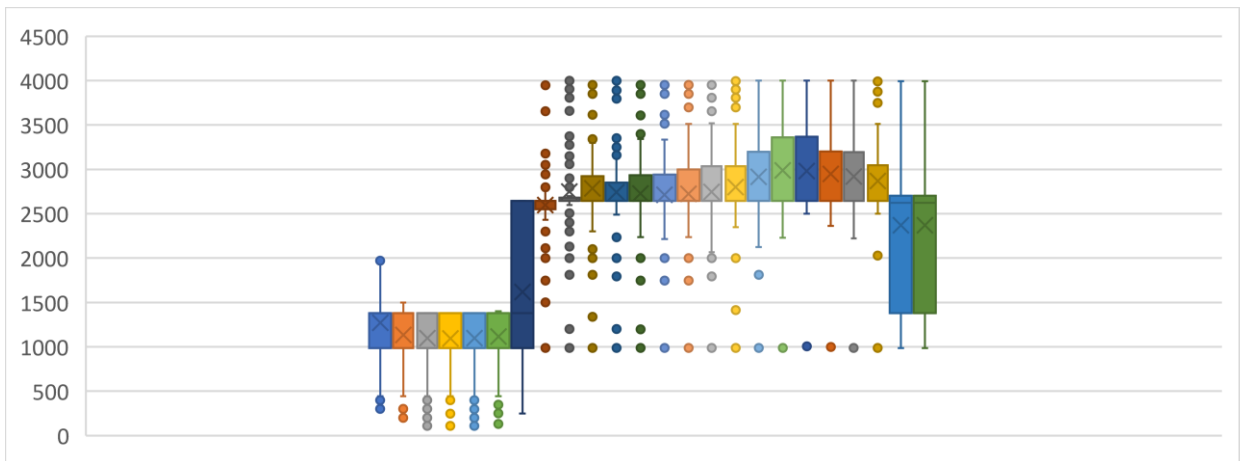


Рисунок 3.8 – Діапазон цін РДН по періодах доби за січень-серпень 2022 року

Враховуючи ці обставини, для розрахунків було обрано найбільш лібералізований період роботи ринку, з найвищою взаємодією навантаження та сонячної електростанції. У випадку практичного застосування, необхідно збільшити обраний період, роблячи поправку на обмеження які діяли у той час.

У подальшому очікується ріст лібералізації ринку електричної енергії та підняття межі верхнього «grise-sar».

Зовнішні фактори, які вплинули на роботу ринку, закладаються конкретним інвестором, при оцінці ризиковості інвестування у проєкт.

3.3 Розрахунок коефіцієнту по волатильності спотового ринку для оптимізації використання MicroGrid на основі систем накопичення електричної енергії

Враховуючи великий діапазон добових цін, який зображений на рисунку 3.9, за обраний для розрахунку час – серпень 2021 року, оцінимо використання обраного нами накопичувача, для реалізації стратегії цінового арбітражу, а не використання його у системі із навантаженням та розподіленою генерацією.

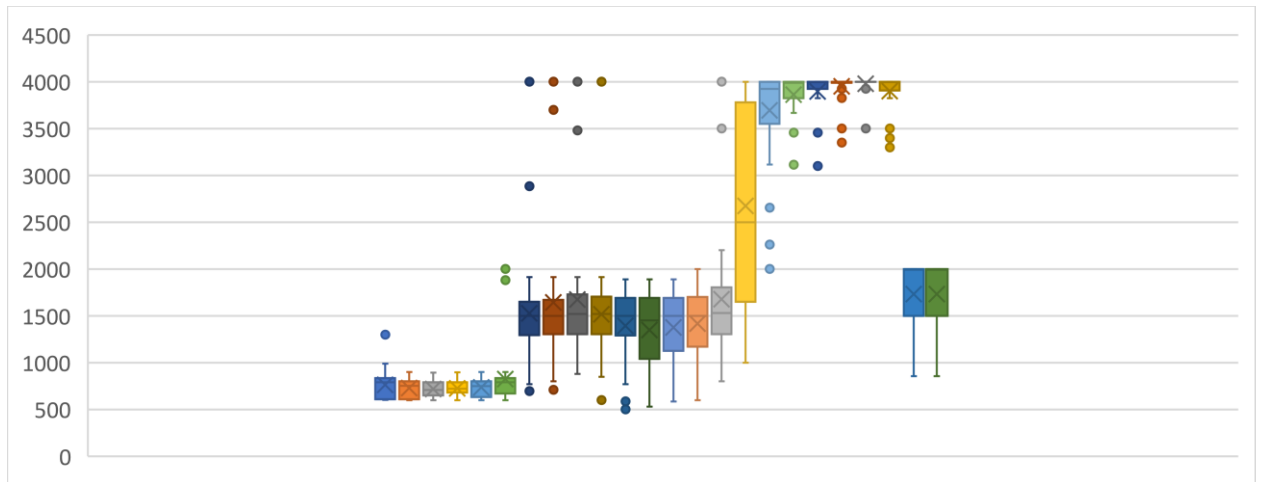


Рисунок 3.9 – Діапазон цін РДН по періодах доби за серпень 2021 року

Для цього порахуємо його роботу, при накопиченні електричної енергії в нічні години доби, та відпуску у період вечірнього максимуму.

Таблиця 3.4 – Результати стратегії цінового арбітражу, за серпень 2021 року

	При реалізації стратегії цінового арбітражу
Кількість циклів заряду/розряду за період серпня 2021	31
Загальна вартість усіх циклів заряджання, грн	-145 596
Загальна вартість усіх циклів розряджання, грн	797 387
Потенційний прибуток, грн	651 790
Прибуток із одного циклу	21 025

У обраному періоді, для заданої системи навантаження та СЕС, у таблиці 3.4 наведено результати розрахунку моделювання стратегії цінового

арбітражу, більш економічно доцільно використовувати систему накопичення для реалізації стратегії цінового арбітражу.

В залежності від системи, в яку інтегрується система накопичення, характеру споживання, та кон'юнктури ринку в період використання системи, ефективність стратегій змінюється. Для цього, розрахуємо коефіцієнт волатильності ринку, достатній для застосування стратегії цінового арбітражу.

Враховуючи обмежений ресурс циклів роботи системи накопичення на основі Lithium-ion battery, доцільно застосовувати стратегію цінового арбітражу, коли різниця протягом доби перевищує вартість капіталовкладень на один цикл, з урахуванням втрат на перетворення енергії та амортизацію основних фондів.

Розрахуємо мінімальну різницю цін, при якій для доцільно здійснювати стратегію цінового арбітражу:

$$P_{Amin} = \frac{CAPEX}{n_{warranty} \cdot E_{BA} \cdot (1 - DoD_A) \cdot (1 - k_d)} \cdot \eta_{BESS} \quad (3.2)$$

де CAPEX – капіталовкладення необхідні для системи накопичення

$n_{warranty}$ – гарантована виробником кількість циклів зарядки/розрядки

E_{BA} – встановлений обсяг накопичувача

k_d – коефіцієнт деградації накопичувача

η_{BESS} – ефективність накопичувача

$$P_{Amin} = \frac{29\,795\,566.5}{5000 \cdot 3024 \cdot (1 - 0.2) \cdot (1 - 0.125)} \cdot 0.96 = 2702.54 \text{ грн/МВт} \cdot \text{год}$$

Відтак, враховуючи кон'юнктуру ринку, розрахований коефіцієнт волатильності, та завдання що стоять перед інвестором, обираємо найбільш ефективну стратегію використання системи накопичення.

Висновки до розділу 3

В залежності від цілей які потрібно досягнути та існуючої системи, в яку буде інтегруватися система накопичення, комерційна ефективність такої системи значно варіюється. Однак, розробивши оптимальні стратегії, які

враховуватимуть як внутрішні параметри роботи системи, так і враховуватимуть кон'юнктуру ринку, і зможуть змінювати свої функції, орієнтуючись на тенденції що складаються в окремому періоді, можна оптимізувати використання таких систем.

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ

4.1 Поняття стартапу

Стартапи – це компанія яка зосереджується на реалізації послуги чи продукту, з метою комерційної діяльності. Особливістю стартапів, порівняно із класичним бізнесом, є те що стартапи не мають відпрацьованої бізнес-моделі, зосереджуються на наданні нових послуг чи продуктів, яких немає на ринку, відсутність фінансування для подальшого розширення чи переходу на наступний етап бізнесу. Зазвичай, більшість стартапів реалізуються за рахунок власних коштів засновників, лише згодом залучаючи інвесторів для подальшого розвитку.

До роботи у стартапі залучається мінімальна кількість працівників, на яких покладається широкий спектр обов'язків. Це має ряд переваг, так як працівники мають можливість реалізовувати свій різносторонній потенціал, та розуміти увесь бізнес-процес загалом. Вони мають більшу свободу у розпорядженні своїм часом, часто працюючи за гнучкими графіками, або віддалено. У випадку росту стартапу, працівники які допомагали його реалізовувати, отримують хороші умови подальшої співпраці, часто з долею у компанії.

Недоліками стартапів, є їх висока ризиковість. Для залучення інвестицій, необхідних для переростання у повноцінний бізнес, їм потрібно довести спроможність бути прибутковими. Більшість стартапів не долає цей поріг, та на якомусь моменті закривається, навіть якщо їм вдалося отримати первинні інвестиції для розвитку. Основні недоліки та переваги стартап проєктів наведені у таблиці 4.1.

Також, вони характеризуються понаднормовою роботою, та не завжди виправданою компенсацією затрачених зусиль, так як усі працівники високо мотивовані та націлені на подальший розвиток та успіх стартапу. Зазвичай, з'являється одразу кілька стартапів із схожими концепціями, які починають конкурувати між собою, посилюючи тиск.

Таблиця 4.1 – Переваги та недоліки стартапів

Переваги	Недоліки
Більше можливостей для всебічного розвитку	Висока відповідальність
Гнучкість у роботі	Значна імовірність невдачі
Відсутність вертикальної ієрархії управління	Необхідність залучення інвестицій у подальшому
Широке залучення інновацій	Високий рівень стресу
Можливість подальшого росту	Значна конкуренція

4.2 Опис ідеї стартапу

В Україні швидко зростають темпи впровадження альтернативних джерел енергії. Якщо у попередні роки це було обумовлено вигодою зеленого тарифу, то зараз основний акцент, робиться на впровадження альтернативних джерел у якості розосередженої генерації, для покриття частки споживання, в умовах росту вартості електричної енергії.

Різносторонній бізнес активно шукає можливості для зменшення витрат на електроенергію, встановлюючи сонячні та вітрові станції. Наступним, логічним кроком розвитку цього, стане впровадження систем накопичення, для перенесення пікової генерації із денних періодів, пікової генерації, на вечірні періоди, з найвищими цінами.

Широке поширення систем накопичення стане «зміною правил гри» у енергетиці. Однак, висока вартість подібних систем, та нестабільність ринку електричної енергії стає на заваді для встановлення подібних систем малим та середнім бізнесом.

Тому, актуальним завданням постає створення енергетичного консорціуму, з розробкою найбільш ефективних комерційних стратегій, розділяючи ризики інвестування у системи накопичення, між його учасниками, у таблиці 4.2 сформовано змісті ідеї, напрямки застосування та

вигоди для користувача. Важливим аспектом є акцентування на подальшому розвитку такого консорціуму у повноцінного оператора MicroGrid систем, коли для цього буде створено необхідна фізична база, залучена достатня кількість зацікавлених та мотивованих інвесторів, та створена відповідна юридична база.

Таблиця 4.2 – Опис ідеї стартапу

Зміст ідеї	Напрями застосування	Вигоди для користувача
Створення та реалізація енергетичного консорціуму на базі систем накопичення електричної енергії, для найбільш ефективної взаємодії з ринком та учасниками	Компанії з уже впровадженими системами ВДЕ	Оптимізація використання впроваджених систем
	Виробництва з високим рівнем споживання	Зниження вартості електричної енергії
	Великі житлові комплекси, при умові перегляду тарифу для населення	Підвищення надійності електропостачання, екологічність
	Приватні та державні енергокомпанії	Надання додаткових послуг з аРВЧ та інших

4.3 Технологічний аудит проєкту

За його допомогою проведення технологічного аудиту визначають сильні та слабкі сторони проєкту, направляючи необхідні зусилля для найбільш ефективної його реалізації. Доступність та опис необхідних технологій наведено у таблиці 4.3.

Технологічний аудит:

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї стартапу

№	Ідея проєкту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Накопичення інформації потенційних учасників консорціуму та вироблення стратегій	Реалізується завдяки комунікації із потенційними замовниками та розробкою автоматизованих алгоритмів роботи зі збору даних, та управління обладнанням	Для реалізації доступні технології комп'ютерного моделювання	Доступні
2	Постачання обладнання	Реалізується завдяки вибору оптимальної компоновки обладнання та цінових пропозицій	Для реалізації доступні характеристики обладнання	Доступні
3	Доставка та монтаж обладнання	Реалізується завдяки логістичним платформам	Технології наявні	Доступні
4	Підключення системи	Реалізується завдяки приватним компаніям	Технології наявні	Доступні
5	Керування системою	Реалізується завдяки моделям взаємодії з обладнанням та стратегій торгівлі на ринку	За рахунок існуючих інтерфейсів обладнання, існуючих систем АСКОВЕ та розроблених алгоритмів	Доступні

4.4 Аналіз ринкових можливостей проєкту

Для його проведення складається перелік факторів, що сприяють реалізації, наведені у таблиці 4.5. Та тих що можуть стати на заваді, які наведені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренція	Стрімкий розвиток та високий інтерес до технології	Оптимізація використання
2	Складне економічне становище в країні	Нестача інвестицій для реалізації довгострокових проєктів	Зниження витрат

Таблиця 4.5 – Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Незалежність від централізованої мережі	Створення системи розосередженої генерації	Впровадження MicroGrid систем

Також використаємо SWOT-аналіз для оцінки можливості впровадження проєкту. SWOT-аналіз для стартапу наведений у таблиці 4.6. Він описує можливості, та загрози які можуть виникнути перед проєктом, розбирає сильні та слабкі сторони його реалізації.

Таблиця 4.6 – SWOT-аналіз проєкту

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ul style="list-style-type: none"> – Автономність – Можливість комбінування різних видів джерел енергії – Можливість розумного керування – Використання найкращих технологічних рішень – Підтримка відновлюваних джерел енергії 	<ul style="list-style-type: none"> – Конкуренція на ринку – Недостатність інформації про компанію – Значні затрати – Необхідність в території для встановлення ФЕС (або інших ВДЕ)
Можливості	Загрози
<ul style="list-style-type: none"> – Використання новітніх технологій – Вирівнювання графіків навантажень – Співпраця з компаніями з продажу обладнання – Швидкий розвиток 	<ul style="list-style-type: none"> – Відсутність інвесторів або недостатність фінансування – Недостатність попиту клієнтів – Поява більших конкурентів, які зможуть використовувати ширший спектр можливостей – Труднощі із відповідністю законодавству

4.5 Розроблення ринкової стратегії проєкту

Для оцінки потенціалу проєкту, необхідно визначити охоплення ринку, провести опис цільових груп потенційних клієнтів. Результати формування цільових груп наведено у таблиці 4.7.

Завдяки проведенню цієї оцінки, можна буде найбільш ефективно розподілити зусилля направлені на залучення клієнтів, орієнтуючих як на їх кількість, так і на їх якість, тобто обсяг можливої наданої послуги, або її вартість в залежності від потужності споживання.

Таблиця 4.7 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачі в прийняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Власники СЕС для власних потреб	Повна готовність	Високий	Середня інтенсивність	Дуже просто
2	Електро-постачальні компанії	Повна готовність	Високий	Середня інтенсивність	Дуже просто
3	ОСП	Повна готовність	Високий	Середня інтенсивність	Середня простота

4.6 Розроблення маркетингової програми стартап проєкту

Маркетингова програма, основні аспекти якої наведені у таблиці 4.8, передбачає аналіз ключових переваг концепту потенційної послуги.

Таблиця 4.8 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Залежність від централізованої мережі	Автономність	Оптимізація використання потенціалу
2	Зниження вартості електроенергії	Активна участь на всіх сегментах ринку	Можливе функціональне керування системою

Також, необхідно визначити концепцію маркетингових комунікацій, які необхідно прийняти до уваги, основи якої наведені у таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Концепція маркетингових комунікацій

Цільові групи	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Концепція рекламного звернення
Власники СЕС	Інтернет, спільні конференції	Автономність, оптимізація використання потенціалу СЕС	Оптимізація використання потенціалу СЕС
Електропостачальні компанії	Інтернет, спільні конференції	Оптимізація графіків споживання	Покриття фізичних небалансів

Висновки до розділу 4

При розробці стартап проекту, було враховано всі переваги та недоліки пов'язанні із використанням як MicroGrid систем на основі накопичувачів, так і накопичувачів для реалізації стратегії цінового арбітражу.

Реалізація цих концепцій, з орієнтацією на потреби конкретних груп замовників, має перспективи реалізації в Україні, уже сьогодні. А враховуючи тенденції які спостерігаються у світі та Україні, питання впровадження цих чи схожих концепцій стане гострою необхідністю.

Перепоною ж може стати нестабільна економічна, політична, законодавча ситуація. Наявна конкуренція серед компаній, які орієнтовані на співпрацю із малим та середнім бізнесом.

Однак, дана пропозиція уже сьогодні є затребуваною, а у майбутньому очікується гостра потреба, як зі сторони споживачів, так і зі сторони енергосистеми.

ВИСНОВКИ

Українська енергосистема морально застаріла та у неї закінчується ресурс фізичної експлуатації. Враховуючи світові тенденції до росту споживання електричної енергії, вартості енергоносіїв, та впливу розвитку ВДЕ в Україні на структуру ринку та енергосистеми, просте оновлення основних фондів передавальних мереж не вирішить проблем які виникають сьогодні, та не забезпечить можливості подальшого розвитку енергетики. Впровадження MicroGrid систем, наряду із поширенням розподіленої генерації, дозволить у подальшому впроваджувати SmartGrid системи.

Переломним моментом стане масове впровадження систем накопичення. Одним із актуальних для інвесторів напрямків використання систем накопичення, є реалізація стратегії цінового арбітражу.

Для реалізації стратегії цінового арбітражу електричної енергії на основі систем накопичення необхідно провести аналіз ринку електричної енергії на економічну доцільність.

Для подальшого розвитку розподіленої генерації, необхідно дослідити існуючі умови на сегментах ринку електричної енергії.

Попри тривалу нестабільність на ринку електричної енергії, викликану різними факторами, все ж помітні тенденції до його лібералізації у майбутньому, та проглядаються тенденції яким він буде. В середньостроковій перспективі ринок електричної енергії зберігатиме значну волатильність. Це пов'язано із структурою енергетики на якій він базується, та тенденціями до яких він рухається, яскравим прикладом є розвиток ВДЕ.

Враховуючи інтерес малого та середнього бізнесу до впровадження систем накопичення, необхідно створити зручні та зрозумілі методи оцінки ефективності інвестицій та моделі роботи системи накопичення в умовах ринку.

В залежності від цілей які потрібно досягнути та існуючої системи, в яку буде інтегруватися система накопичення, комерційна ефективність такої системи значно варіюється. Однак, розробивши оптимальні стратегії, які

враховуватимуть як внутрішні параметри роботи системи, так і враховуватимуть кон'юнктуру ринку, і зможуть змінювати свої функції, орієнтуючись на тенденції що складаються в окремому періоді, можна оптимізувати використання таких систем.

При розробці стартап проєкту, було враховано всі переваги та недоліки пов'язанні із використанням як MicroGrid систем на основі накопичувачів, так і накопичувачів для реалізації стратегії цінового арбітражу.

Реалізація цих концепцій, з орієнтацією на потреби конкретних груп замовників, має перспективи реалізації в Україні, уже сьогодні. А враховуючи тенденції які спостерігаються у світі та Україні, питання впровадження цих чи схожих концепцій стане гострою необхідністю.

Перепоною ж може стати нестабільна економічна, політична, законодавча ситуація. Наявна конкуренція серед компаній, які орієнтовані на співпрацю із малим та середнім бізнесом.

Однак, дана пропозиція уже сьогодні є затребуваною, а у майбутньому очікується гостра потреба, як зі сторони споживачів, так і зі сторони енергосистеми.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. M. Ross, C. Abbey, Y. Brissette, et al. Photovoltaic inverter characterization testing on a physical distribution system, in 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2012.
2. H. Farhangi, G. Joos. Microgrid Planning and Design: A Concise Guide - Режим доступу: <http://ieeexplore.ieee.org/book/8671408>, 2019.
3. Lasseter, R.H. and Paigi, P. (2004) Microgrid: A conceptual solution, in IEEE Power Electronics Specialists Conference, Aachen.
4. Katiraei, F., Iravani, R., Hatziargyriou, N., and Dimeas, A. (2008) Microgrid management control and operation aspects of microgrids. IEEE Power&Energy Magazine.
5. K. R. Padiyar ; Anil M. Kulkarni. Dynamics and Control of Electric Transmission and Microgrids. - Режим доступу: <http://ieeexplore.ieee.org/book/8671408>, 2019.
6. Lasseter, R.H. and Paigi, P. (2004) Microgrid: A conceptual solution, in IEEE Power Electronics Specialists Conference, Aachen.
7. Lasseter, R.H. (2011) Smart distribution: Coupled microgrids. Proceedings of the IEEE.
8. Lasseter R. and Eto J. US Department of Energy (2010) Value and technology assessment to enhance the business case for the CERTS microgrid.
9. Price trend of solar panels and solar systems. - Режим доступу: https://www.researchgate.net/figure/Price-trend-of-solar-panels-and-solar-systems-Source-69_fig3_351857177
10. План розвитку системи передачі на 2019-2028 роки. - Режим доступу: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/03/ПРОЕКТ-Planu-rozvytku-systemyperedachi-na-2019-2028-roky.pdf>
11. Hatziargyriou, N.D., Dimeas, A. and Tsikalakis, A. (2005) Centralised and decentralized control of microgrids. Int. J. Distr. Energ. Resours.
12. Об'єкти ВДЕ. - Режим доступу: <https://www.energo.ua/ua/assets>
13. Генерація електроенергії з ВДЕ за 2021р зросла на 15,3% - до 12,519 млрд кВт-год - Режим доступу: <https://expro.com.ua/novini/generacya-elektroenerg-z-vde-za-2021r-zrosla-na-153-do-12519-mlrd-kvt-god->

14. Tsikalakis, A.G. and Hatziaargyriou, N.D. (2008) Centralized control for optimizing microgrids operation. *IEEE T. Energy Conver.*, 23.
15. Garcia-Martos, C., Rodriguez, J. and Sanchez, M.J. (2011) Forecasting electricity prices and their volatilities using unobserved components. *Energ. Econ.*
16. Tsikalakis, A.G. and Hatziaargyriou, N.D. (2008) Centralized control for optimizing microgrids operation. *IEEE T. Energy Conver.*, 23.
17. Hatziaargyriou, N.D., Dimeas, A. and Tsikalakis, A. (2005) Centralised and decentralized control of microgrids. *Int. J. Distr. Energ. Resours.*
18. О. Кармазін (Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ). Проблеми вписування ВЕС у загальний баланс ОЕС України, Відновлювана енергетика. 2014. № 3
19. Kariniotakis, G.N., Stavrakakis, G.S. and Nogaret, E.F. (1996) Wind power forecasting using advanced neural networks models. *IEEE T. Energy Conver.*
20. Перша в Україні промислова система накопичення енергії ДТЕК пройшла сертифікацію НЕК «Укренерго» - Режим доступу: <https://dtek.com/media-center/news/ukraines-first-ever-dteks-industrial-energy-storage-system-certified-by-nec-ukrenergo/>
21. О. Карпенко, Виклики "зеленої" генерації: каліфорнійська "качечка" летить в Україну - Режим доступу: <https://ua-energy.org/uk/posts/znaiomtes-kaliforniiska-kachechka-i-vona-letyt-v-ukrainu>
22. Hansen C. J., Bower J. (2004) An economic evaluation of small-scale distributed electricity generation technologies. Oxford Institute for Energy Studies. Oxford, 2004.
23. В Україні збільшилася кількість сонячних електростанцій. – Режим доступу: <https://suspilne.media/199918-v-ukraini-zbilsilasa-kilkist-sonacnih-elektrostancij-ekspert-poasniv-naskilki-ce-vigidno/>
24. Франк Майсснер і Фалько Укердт Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні: потенціал, перешкоди і рекомендації щодо економічної політики. 2010 BE Berlin Economics GmbH.
25. Tanuj Deora; Smart electric power alliance; Lisa Frantzis, advanced energy economy; and jamie mandel. Rocky Mountain Institute
26. Veremiichuk Y., Prytyskach I., Yarmoliuk O., Opryshko V. Energy sources selection for industrial enterprise combined power supply system. *Proc. IEEE 6th International conference on Energy Smart Systems (ESS2019)*. Ukraine, Kyiv, 17–19 April 2019. No. 8764188. Pp. 283–288.
27. А. Рожко Міжнародне партнерство України в сфері відновлюваної енергетики. *Наука молода* №19, 2013.с.77-82.
28. Veremiichuk Y., Prytyskach I., Yarmoliuk O. The functioning model of integrated energy supply system with cogeneration units operation, taking into

account prospects of bioenergy development in Ukraine. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2019. № 1. С. 29–40.

29. Огляд діяльності реформованих ринків електроенергії та тенденції ціноутворення на ринках електроенергії країн ОЕСР та Європейського Союзу. Науково-технічний центр електроенергетики. Київ : 12/2015

30. Основні показники ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку <https://www.oree.com.ua/index.php/web/772>

31. Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо удосконалення умов підтримки виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії» від 21 липня 2020 р. № 810-IX.

32. Ming Ding; Yingyuan Zhang; Meiqin Mao, "Key technologies for microgrids-a review," International Conference on Sustainable Power Generation and Supply, 2009. SUPERGEN '09., pp.1,5, 6-7 April 2009 , Nanjing China

33. M. Nakhmkin, "Novel Compressed Air Energy Storage Concepts," in Electricity Storage Association Meeting 2006: Energy Storage in Action Knoxville, Tenn.: Energy Storage Association, 2006

34. W. Lachs, D. Sutanto, Uncertainty in electricity supply controlled by energy storage, Proceedings of International Conference on Energy Management and Power Delivery, EPDM'95, 1, November 21–23, 1995, pp. 302–307

35. S.A. Lone, Mufti. M.D., Integrating redox flow battery system with a wind- diesel power system, in: Proceedings of the International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems, PEDES'06, December 12–15, 2006, pp. 1–6

36. J. Zeng, B. Zhang, C. Mao, Y. Wang, Use of battery energy storage system to improve the power quality and stability of wind farms, in: International Conference on Power System Technology, PowerCon 2006, October 1–6, 2006.

37. D. Sutanto, Energy storage system to improve power quality and system reliability, in: Student Conference on Research and Development, SCOReD 2002, 2002, pp. 8–11.

38. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей. // НЕК "Укренерго". – 2018. – С. 13–16, 20–26, 69–71, 118–119.

39. Розвиток низьковуглецевої енергетики як ключовий елемент сталого розвитку країни [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://old2.niss.gov.ua/content/articles/files/Vobro-fbf25.pdf>.

40. Готовність «Укренерго» до реалізації схем підтримки ВДЕ в умовах нового ринку [Електронний ресурс] // НЕК "Укренерго". – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.slideshare.net/Ukrenergo/ss-80643103>.

41. «Коливання індивідуальної та сумарної потужності групи ВЕС» [Електронний ресурс] // Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:9NnX2toyEzgJ:www.irbi>

s-nbuv.gov.ua/cgi-

bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe%3FC21COM%3D2%26I21DBN%3DUJRN%26P21DBN%3DUJRN%26IMAGE_FILE_DOWNLOAD%3D1%26Image_file_name%3DPDF/vien_2013_4_9.pdf+&cd=1&hl=uk&ct=clnk&gl=ua.

42. Сидорчук В. «Интеграция ВИЭ в энергосистему: практика, мифы и легенды. Обзор документов Международного энергетического агентства» [Электронный ресурс] / В. Сидорчук // Режим доступа: <http://renew.ru/integration-of-renewable-energy-into-the-energy-system-practice-myths-and-legends/>

43. Huber M. Integration of wind and solar power in Europe: Assessment of flexibility requirements / M. Huber, D. Dimkova, T. Hamacher // Energy. № 69 (2014), p. 236-246.

44. Закон України про ринок електричної енергії – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text>

45. Оператор ринку електричної енергії – Режим доступу до ресурсу: <https://www.oree.com.ua>

46. Мартюшева Л. С., Конспект лекцій з навчальної дисципліни «ФІНАНСИ», Харків, ХНЕУ, 2008

ДОДАТОК А

Доба	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год	8 год	9 год	10 год	11 год	12 год	13 год	14 год	15 год	16 год	17 год	18 год	19 год	20 год	21 год	22 год	23 год	24 год
01.08.2021	237	283	212	208	168	200	174	163	294	281	362	536	791	937	1002	1312	1274	928	966	897	819	889	663	535
02.08.2021	554	413	290	283	294	276	211	207	288	452	747	769	641	702	714	682	698	678	562	673	683	472	310	254
03.08.2021	292	296	248	206	195	228	187	210	303	599	618	752	861	745	609	473	313	290	223	185	207	197	195	194
04.08.2021	533	448	276	283	288	246	217	221	236	592	720	680	689	813	656	619	698	731	588	614	583	411	286	265
05.08.2021	254	256	276	234	219	196	193	206	300	644	708	787	861	760	704	356	306	237	175	187	213	197	183	204
06.08.2021	223	278	245	243	185	215	198	152	249	329	333	592	894	1118	1147	1207	958	1093	745	734	755	907	663	575
07.08.2021	480	452	265	266	258	233	183	209	226	472	641	714	689	754	656	640	652	752	503	712	683	415	286	273
08.08.2021	244	297	256	208	183	221	180	194	239	293	330	542	838	1161	1178	1289	1037	959	839	839	787	943	793	529
09.08.2021	216	278	235	230	202	232	198	164	292	271	351	604	902	959	1054	1022	1104	979	932	766	771	844	663	523
10.08.2021	554	457	285	305	288	226	209	189	244	472	628	660	765	813	700	682	672	752	555	679	671	472	266	289
11.08.2021	490	439	262	299	296	236	199	197	257	576	621	632	682	709	620	703	665	772	751	712	589	433	322	295
12.08.2021	246	282	243	208	197	213	191	174	310	719	646	723	702	671	636	394	335	251	191	197	192	213	183	194
13.08.2021	225	266	229	208	162	204	186	153	329	264	362	541	680	1003	902	1469	1337	854	734	968	827	960	630	556
14.08.2021	516	413	276	285	270	298	205	234	299	406	717	816	718	611	786	661	621	684	623	632	677	448	282	272
15.08.2021	271	281	250	201	187	235	185	197	345	641	618	706	921	745	536	544	350	261	207	204	228	217	201	200
16.08.2021	549	412	249	305	271	263	219	235	253	663	814	646	648	780	636	631	649	673	605	602	525	435	306	241
17.08.2021	262	263	273	220	222	188	199	229	288	740	722	748	973	783	803	378	346	270	144	185	222	181	181	204
18.08.2021	203	275	235	229	179	230	181	172	272	319	363	616	939	1174	1043	1195	1082	1158	745	704	816	825	730	563
19.08.2021	475	407	268	245	255	257	179	238	235	496	705	629	627	829	715	685	665	646	458	769	731	378	260	270
20.08.2021	232	270	246	208	185	199	194	217	234	305	307	575	822	1196	1189	1160	985	911	763	764	732	887	738	492
21.08.2021	216	272	257	234	208	248	202	151	332	271	323	622	956	1045	1022	1011	1016	852	773	820	756	810	597	555
22.08.2021	610	484	310	283	279	237	199	176	239	477	615	712	727	902	707	716	725	691	605	727	604	514	268	307
23.08.2021	476	435	278	326	311	229	213	171	280	663	690	651	668	610	620	703	758	841	736	705	542	402	344	292
24.08.2021	246	271	228	197	201	200	199	186	294	791	685	745	765	610	732	414	362	226	176	181	175	224	180	179
25.08.2021	209	282	234	202	176	208	190	167	300	282	401	471	585	1083	1028	1543	1217	922	800	1036	786	979	573	567
26.08.2021	469	401	295	288	273	310	213	232	263	423	760	873	703	690	841	741	621	616	542	639	622	493	304	299
27.08.2021	266	290	243	189	194	223	191	177	349	558	594	629	930	745	574	463	347	245	166	202	232	221	221	182
28.08.2021	604	445	264	281	252	258	197	237	273	736	692	672	706	827	694	650	649	720	617	590	551	457	315	239
29.08.2021	288	274	257	200	237	207	209	199	253	659	780	680	895	720	811	434	322	246	134	198	200	168	198	216
30.08.2021	184	283	247	206	190	239	164	184	285	303	331	603	1051	1104	1002	1315	1223	1228	559	718	767	784	708	620
31.08.2021	427	403	294	259	242	231	197	241	212	565	741	547	596	945	651	767	565	679	453	830	673	382	263	273

Погодинний графік споживання, прийнятий для розрахунків

Доба	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год	8 год	9 год	10 год	11 год	12 год	13 год	14 год	15 год	16 год	17 год	18 год	19 год	20 год	21 год	22 год	23 год	24 год
01.08.2021	0	0	0	0	0	0	3	59	225	909	1155	1507	1421	1689	1649	1567	1162	1065	457	0	21	0	0	0
02.08.2021	0	0	0	0	0	0	10	123	445	685	501	1193	493	1423	1732	1613	1392	992	687	214	48	0	0	0
03.08.2021	0	0	0	0	0	0	16	112	458	907	1298	1579	1656	1515	1576	1323	1395	1001	542	223	51	0	0	0
04.08.2021	0	0	0	0	0	0	10	100	353	435	511	1027	1378	1600	1502	1364	1229	545	340	156	61	0	0	0
05.08.2021	0	0	0	0	0	0	10	104	376	828	1107	1392	1608	1733	1704	1470	1101	946	357	74	12	0	0	0
06.08.2021	0	0	0	0	0	0	26	136	317	536	1240	1306	621	430	777	1175	401	442	343	286	28	0	0	0
07.08.2021	0	0	0	0	0	0	7	97	465	915	1347	1641	1755	1551	1408	789	1140	996	713	242	38	0	0	0
08.08.2021	0	0	0	0	0	0	8	102	449	910	1293	1574	1608	1781	1753	1654	1423	1074	657	228	33	0	0	0
09.08.2021	0	0	0	0	0	0	8	104	419	863	761	1569	1651	1740	1571	1579	1176	994	559	215	36	0	0	0
10.08.2021	0	0	0	0	0	0	8	115	258	647	1231	1557	1758	1751	1776	1691	1446	1091	647	222	38	0	0	0
11.08.2021	0	0	0	0	0	0	10	95	435	890	1265	1541	1682	1580	1019	900	1071	958	347	238	46	0	0	0
12.08.2021	0	0	0	0	0	0	7	95	440	918	1337	1462	1134	1296	1672	1464	1088	1170	637	232	35	0	0	0
13.08.2021	0	0	0	0	0	0	8	97	429	894	1290	1510	1574	1377	1769	1102	1107	1033	526	215	30	0	0	0
14.08.2021	0	0	0	0	0	0	5	104	424	890	1265	1548	1702	1751	1746	1626	1395	1040	616	205	26	0	0	0
15.08.2021	0	0	0	0	0	0	5	92	409	854	1235	1528	1700	1743	1725	1590	1352	1005	588	148	21	0	0	0
16.08.2021	0	0	0	0	0	0	5	90	401	830	1212	1528	1549	1559	1615	1001	772	964	565	187	25	0	0	0
17.08.2021	0	0	0	0	0	0	5	90	398	771	1278	1173	1373	1083	1446	1250	963	698	214	13	0	0	0	0
18.08.2021	0	0	0	0	0	0	0	33	84	156	263	662	1166	675	490	319	209	439	258	30	3	0	0	0
19.08.2021	0	0	0	0	0	0	2	46	434	795	1304	1626	1528	1651	1081	1060	1168	1079	491	184	20	0	0	0
20.08.2021	0	0	0	0	0	0	2	84	455	930	1285	1576	1615	1490	1231	927	1196	715	619	174	18	0	0	0
21.08.2021	0	0	0	0	0	0	0	81	380	833	1160	1497	1296	1350	1185	1150	963	434	182	69	2	0	0	0
22.08.2021	0	0	0	0	0	0	2	82	388	844	1258	1502	1331	1377	1311	1490	1217	751	514	163	13	0	0	0
23.08.2021	0	0	0	0	0	0	0	38	222	449	927	1360	1495	1602	1375	1456	1111	899	447	120	12	0	0	0
24.08.2021	0	0	0	0	0	0	0	85	334	787	1186	1513	1367	866	1050	787	467	67	38	39	0	0	0	0
25.08.2021	0	0	0	0	0	0	0	71	260	577	1048	1079	1265	1319	1263	1214	1086	424	143	173	21	0	0	0
26.08.2021	0	0	0	0	0	0	0	3	76	122	189	248	596	545	726	876	1352	909	485	163	12	0	0	0
27																								