

**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
Д.Г. Дерев'янка
«____» _____ 2021р.

Магістерська дисертація

**зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
спеціалізації Системи забезпечення споживачів електричною енергією
на тему: «Оптимізація процесів розподілу енергії у комплексі відновлюваних
джерел енергії малої потужності з накопичувачами енергії»**

Виконав: студент II курсу, групи ОЕ-01мп

Ковердюк Віталій Валентинович
(прізвище, ім'я по батькові) (підпис)

Науковий керівник _ д.т.н., проф. Попов В.А.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультант нормоконтроль ас. Прокопенко І.Д.
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

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

Студент _____

Київ – 2021 року

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

Інститут/факультет Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту Кафедра електропостачання

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

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Спеціалізація «Системи забезпечення споживачів електричною енергією»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри
Д.Г. Дерев'янка

«_____» _____ 2021р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Ковердюк Віталій Валентинович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема дисертації:** «Оптимізація процесів розподілу енергії у комплексі відновлюваних джерел енергії малої потужності з накопичувачами енергії»
науковий керівник дисертації: д.т.н., проф. Попов В.А. затверджені наказом по університету від «29» жовтня 2021 р. №3602-е
2. **Термін подання студентом дисертації:** 20 грудня 2021 року
3. **Об'єкт дослідження:** процеси розподілу електричної енергії в системах електропостачання.
4. **Предмет дослідження:** питання щодо проблеми уточнення постановки оптимізації процесів розподілу електричної енергії в системах електропостачання з урахуванням групи чинників різного характеру та характеристик джерел/накопичувачів енергії
5. **Перелік завдань, які потрібно розробити:** Для досягнення зазначеної

мети були поставлені та вирішені такі задачі:

- виконано аналіз поточного стану енергетичного стану України.
- виконано аналіз джерел акумулювання для систем електропостачання;
- розглянуто доцільність встановлення енергетичних установок, які працюють з використанням відновлюваних джерел енергії;
- опрацьовано питання проблеми уточнення оптимального розподілу навантаження з урахуванням характеристик відновлюваних джерел енергії малої потужності/накопичувачів енергії.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація –наочні матеріали за результатами дослідження (алгоритми розрахунків та діаграми).

7. Орієнтовний перелік публікацій:.

Ковердюк В.В., Браславець А. О. Гілевич. К. М. "Влаштування окремого блискавкоприймача для захисту автозаправної станції" IV Науково-технічна конференція магістрів ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів) Київ, 18 листопада 2021 року

8. Консультанти розділів дисертації

Нормоконтроль:

ас. Прокопенко І.Д. .

9. Дата видачі завдання: «01» вересня 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Отримання завдання	01.09.21	Виконано
2	Аналіз предметної області та постановка задачі	01.9.21-09.09.21	Виконано
3	Літературний огляд з питання структури та стану генеруючи потужностей в ОЕС України	10.09.21-13.09.21	Виконано
4	Робота над першим розділом	14.09.21-05.10.21	Виконано
5	Робота над другим розділом	06.10.21-16.10.21	Виконано
6	Робота над третім розділом	17.10.21-25.10.21	Виконано
7	Розробка стартап проекту	15.11.21-06.12.21	Виконано
8	Оформлення дисертації	26.10.21-29.10.21	Виконано
9	Оформлення реферату та презентації	30.10.21-10.12.21	Виконано
10	Попередній захист МД	10.12.21-14.12.21	Виконано
11	Захист МД	20.12.21-22.12.21	Виконано

Студент

(підпис)

Ковердюк В.В.
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Попов В.А
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Структура і обсяг роботи. Магістерська дисертація на тему: "Оптимізація процесів розподілу енергії у комплексі відновлюваних джерел енергії малої потужності з накопичувачами енергії" складається із вступу, чотирьох розділів висновків та додатків, що викладені на сторінках та додатку, містить рисунків та таблиць. Список використаних літературних джерел містить найменувань та наведений на сторінках.

Актуальність теми. Всім відомий тренд на здешевлення технологій, устаткування, що використовується у відновлюваній енергетиці. Дзеркально відбувається і здешевлення технологій для energy storage. Це пришвидшить розвиток, розбудову цих проектів, а також їх поширення.

Тому так, Україна відстала від впровадження законодавчої бази та інвестування в energy storage, але не настільки критично, як можна припустити.

Важливо зазначити, що встановлення нових генеруючих потужностей (в основному, це стосується та актуально для «зеленої» енергетики) вимагає інвестування не лише в генерацію як таку, а й у складні технології та інфраструктуру, у тому числі, в системи зберігання енергії. Проте впровадження нормативно-правового регулювання стосовно здійснення діяльності по проектуванню / будівництву / експлуатації / виведенні з експлуатації систем зберігання енергії, не вирішить проблему зношеності мереж. Питання модернізації мереж є одним з найбільш критичних питань в енергетичному секторі України, яке потребує нагального вирішення, адже близько 17% обладнання підстанцій та майже 67% ліній електропередач експлуатуються понад 40 років (згідно даних НЕК «Укренерго», вказаних у Плані розвитку системи передачі на 2020-2029 роки, що має бути затверджений НКРЕКП 13 березня).

Мета та завдання дослідження.

Метою дисертаційної роботи є: опрацювання питань щодо оптимізації процесів розподілу електроенергії у комплексі відновлюваних джерел енергії малої потужності з накопичувачами енергії.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені та вирішені такі задачі:

- виконано аналіз поточного стану енергетичного сектора України;
- виконано аналіз джерел акумулювання для систем електропостачання;
- розглянуто доцільність встановлення енергетичних установок, які працюють з використанням відновлюваних джерел енергії;
- вирішено питання оптимального розподілу навантаження між окремими джерелами генерування енергії та системою накопичення енергії.

Об'єкт дослідження: процеси розподілу електричної енергії в системах електропостачання.

Предмет дослідження: питання щодо проблеми уточнення постановки оптимізації процесів розподілу електричної енергії в системах електропостачання з урахуванням групи чинників різного характеру та характеристик джерел/накопичувачів енергії

Методи дослідження. Основу виконаних досліджень було використано алгоритм розподілу ресурсів, який ґрунтується на методі нелокального пошуку запропонованого М.Л.Цетліним і І.М.Гельфандом та підходу Беллмана-Заде.

Практичне значення одержаних результатів.

У магістерській дисертації отримано наукові результати, що мають цінність для ринку електричної енергії, споживачів електричної енергії, споживачів – власників систем накопичення енергії.

Стартап-проекті пропонується розробка програмного забезпечення, яке дасть змогу споживачу отримати імітацію часового графіка задля оптимального використання джерел енергії, які використовуються в енергокомплексі.

Особистий внесок. Наукові положення, які є у магістерській дисертації,

отримано магістрантом самостійно.

Апробація результатів роботи

Результати досліджень, викладених у дисертаційній роботі, висвітлено на науково-технічній конференції «Сталий розвиток енергетики. Сучасні системи забезпечення електричною енергією», "Енергетика. Екологія. Людина" та IV науково-технічній конференції магістрантів ІЕЕ.

Публікації

Ковердюк В.В., Браславець А. О. Гілевич. К. М. "Влаштування окремого блискавкоприймача для захисту автозаправної станції" IV Науково-технічна конференція магістрів ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів) Київ, 18 листопада 2021 року

Ключові слова: СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, ВІТРОВА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, СИСТЕМА НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ БАЛАНС ПОТУЖНОСТІ, БАЗОВА ГЕНЕРАЦІЯ, ВСТАНОВЛЕНА ПОТУЖНІСТЬ, РЕЗЕРВ ПОТУЖНОСТІ, ДІАПАЗОН ПОТУЖНОСТІ

ABSTRACT

Structure and scope of work: Master's thesis on the topic: "Optimization of the processes in the energy supply in the complex of new energy supply, little effort from the energy accumulation" List of vicarious literary dzherel to avenge the name of the guidance on the sidelines..

Relevance of the work. There is a whole trend towards cheaper technologies, installation, how to win from new energy sources. Mirror view and cheaper technologies for energy storage. Tse sevvidshit development, rozbudovu tsikh projects, as well as ikh expansion.

So, Ukraine has become a part of the legislative basis and investment in energy storage, but it is not so critical, as it can be allowed.

It is important to note that the establishment of new generating pressures (in the main, it is important for the "green" energy), investment is not deprived of the generation of yak taku, but at the folding technology and infrastructure in the systems, including the energy supply. In the protest of the normative and legal regulation, one hundred percent of the efficiency of the design / maintenance / exploitation / operation of the energy saving systems, does not break the problem of aging. Nutrition of modernization one of the most critical power supply in the energy sector of Ukraine, as the demand for a major upgrade, is also close to 17% of the ownership of power stations, and even 67% of the power transmission lines are not in use 40 2020-2029 rocky, scho mac buti hardening NKREKP 13 birch).

Aim and objectives of the study:

Aim and objectives of the study: elaboration of issues related to the optimization of electricity distribution processes in the complex of low-power renewable energy sources with energy storage devices.

To achieve this goal, the following tasks were set and solved:

- analysis of the current state of the energy sector of Ukraine was performed;
- analysis of storage sources for power supply systems was performed;
- expediency of installation of power plants operating with the use of renewable energy sources is considered;
- the issue of optimal load distribution between separate energy generation sources and energy storage system is solved.

The object of the study processes of electricity distribution in power supply systems.

Subject of research: optimization of electric energy distribution processes in the complex of low-power renewable energy sources with energy storage devices, taking into account a group of factors of different nature.

Subject of research: optimization of electric energy distribution processes in the complex of low-power renewable energy sources with energy storage devices, taking into account a group of factors of different nature.

Research methods. The basis of the research was the algorithm of resource allocation, which is based on the method of non-local search proposed by ML Tsetlin and IM Gelfand and the Bellman-Zade approach.

Elements of scientific novelty of the obtained results.

In the master's dissertation the scientific results which have value for the market of electric energy, consumers of electric energy, consumers - owners of systems of energy storage are received.

Personal contribution. The scientific positions available in the master's dissertation were obtained by the master's student independently.

Approbation of work results

The results of research presented in the dissertation were presented at the scientific and technical conference "Sustainable Energy Development. Modern systems of electricity supply "," Energy. Ecology. Man "and IV scientific and technical conference of IEE masters.

Publications

Koverdyuk VV, Braslavets AA Gilevich. KM "Arrangement of a free-standing lightning rod for the protection of a gas station" IV Scientific and Technical Conference of IEE Masters (based on the results of dissertations of undergraduates) Kyiv, November 18, 2021

Keywords: SOLAR POWER PLANT, WIND POWER PLANT, ENERGY ACCUMULATION SYSTEM POWER BALANCE, BASIC GENERATION, INSTALLED POWER POWERFUL POWER

ЗМІСТ

ВСТУП	15
1.РОЗВИТОК ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ	17
1.1 Аналіз стану генеруючих потужностей об'єднаної енергетичної система України та режимів їх роботи	17
1.2 Стан і розвиток сонячної та вітрової енергетики в провідних країнах світу. Статистика розвитку сонячної та вітрової електричної енергетики України.	20
1.3 Перспектива побудови відновлюваних джерел енергії на території України.	25
1.4 Функціонування вітрових та сонячних електростанцій.....	28
1.4.1 Аналіз чинників та параметрів, які визначають ефективність використання сонячних та вітрових електростанцій.....	28
1.4.2 Аналіз фактичного рівня генерації енергії вітрової електростанції та сонячної електростанції в об'єднаній енергетичній системі України у період 2018-2019 рр.....	33
1.4.3 Побудова середньодобових профілів генерації вітрової електростанції та сонячної електростанції для кожної пори року протягом 2019-2020 рр.....	35
1.4.4 Визначення погодинного коефіцієнту використання встановленої потужності кожної пори року протягом 2019-2020 рр.....	36
1.4.5 Аналіз фактичного рівня споживання в об'єднаній енергетичній системі України протягом 2019-2020 рр.....	40
1.4.6 Порівняльний аналіз профілів середньодобового генерації енергії з профілями середньодобового споживання в об'єднаній енергетичній системі України	42
Висновки до розділу 1	43

2. СИСТЕМА НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ.....	44
2.1 Актуальність теми зберігання енергії для бізнесу у світі і в Україні ...	44
2.2 Загальна характеристика система накопичення енергії.....	47
2.3 Термін служби акумуляторів в системах зберігання електроенергії.....	49
2.4 Принцип роботи гібридної електростанції.....	50
2.5 Розвиток система накопичення енергії в Україні	51
Висновки до розділу 2	53
3 ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ РОЗПОДІЛУ ЕНЕРГІЇ У КОМПЛЕКСІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ З НАКОПИЧУВАЧАМИ ЕНЕРГІЇ.....	54
3.1 Формування цільових функцій, завдання обмежень задачі, методика її розв'язання.....	54
3.2 Урахування багатокритеріальності при постановці задачі оптимального розподілу навантажень між джерелами розосередженої генерації/накопичувачами	66
3.3 Реалізація процедури багатокритеріальності при постановці задачі оптимального розподілу навантажень між джерелами розосередженої генерації/накопичувачами	71
Висновки до розділу 3	76
4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ	78
4.1 Поняття стартапу.....	78
4.2 Опис ідеї проєкту	78
4.3 Технологічний аудит ідеї проєкту.....	83
4.4 Маркетингова програма створеної програми.....	85
4.5 Аналіз можливостей запуску стартап-проєкту	86
Висновки до розділу 4.....	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	91

ДОДАТОК А.....	97
ДОДАТОК В.....	101

ПЕРЕЛІК ТЕРМІНІВ ТА СКОРОЧЕНЬ

ВДЕ – відновлювальні джерела енергії;

АКБ – акумуляторна батарея;

СЕС – Сонячна електростанція

ВЕС – вітрова електростанцій;

СНЕ – Система накопичення Енергії

ОЕС – Об'єднана електроенергетична система;

ДЖ – джерело живлення;

ТЕО – техніко –економічне обґрунтування;

ОЕСР – Організація економічного співробітництва та розвитку

ОСП – оператор системи передачі;

КВВП – коефіцієнт використання встановленої потужності;

ВСТУП

Актуальність теми. Всім відомий тренд на здешевлення технологій, устаткування, що використовується у відновлюваній енергетиці. Дзеркально відбувається і здешевлення технологій для energy storage. Це пришвидшить розвиток, розбудову цих проєктів, а також їх поширення.

Тому так, Україна відстала від впровадження законодавчої бази та інвестування в energy storage, але не настільки критично, як можна припустити.

Важливо зазначити, що встановлення нових генеруючих потужностей (в основному, це стосується та актуально для «зеленої» енергетики) вимагає інвестування не лише в генерацію як таку, а й у складні технології та інфраструктуру, у тому числі, в системи зберігання енергії. Проте впровадження нормативно-правового регулювання стосовно здійснення діяльності по проєктуванню / будівництву / експлуатації / виведенні з експлуатації систем зберігання енергії, не вирішить проблему зношеності мереж. Питання модернізації мереж є одним з найбільш критичних питань в енергетичному секторі України, яке потребує нагального вирішення, адже близько 17% обладнання підстанцій та майже 67% ліній електропередач експлуатуються понад 40 років (згідно даних НЕК «Укренерго», вказаних у Плані розвитку системи передачі на 2020-2029 роки, що має бути затверджений НКРЕКП 13 березня).

Мета та завдання дослідження: Метою дисертаційної роботи є: опрацювання питань щодо проблеми уточнення постановки оптимізації процесів розподілу електроенергії з урахуванням характеристик відновлюваних джерел енергії малої потужності/накопичувачів енергії.

Об'єкт дослідження: процеси розподілу електричної енергії в системах електропостачання.

Предмет дослідження: питання щодо проблеми уточнення постановки оптимізації процесів розподілу електричної енергії в системах

електропостачання з урахуванням групи чинників різного характеру та характеристик джерел/накопичувачів енергії.

Методи дослідження. Метод техніко-економічного розрахунку, аналіз і узагальнення наукових публікацій, теоретичні висновки, системний та порівняльний аналіз, графічні методи.

Практичне значення одержаних результатів.

У магістерській дисертації отримано наукові результати, що мають цінність для ринку електричної енергії, споживачів електричної енергії, споживачів – власників електромобілів та пунктів заряджання.

Стартап-проект пропонується розглянути на прикладі оператора пункту заряджання, який, за підтримки концепції V2G державою, встановлює у власних пунктах двонаправлені пристрої заряджання / розряджання.

Особистий внесок. Наукові положення, які є у магістерській дисертації, отримано магістрантом самостійно.

Апробація результатів роботи

Результати досліджень, викладених у дисертаційній роботі, висвітлено на науково-технічній конференції «Сталий розвиток енергетики. Сучасні системи забезпечення електричною енергією», "Енергетика. Екологія. Людина" та IV науково-технічній конференції магістрантів ІЕЕ.

Публікації

Ковердюк В.В., Браславець А. О. Гілевич. К. М. "Влаштування окремого блискавкоприймача для захисту автозаправної станції" IV Науково-технічна конференція магістрів ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів) Київ, 18 листопада 2021 року

Ключові слова: СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, ВІТРОВА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, СИСТЕМА НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ БАЛАНС ПОТУЖНОСТІ, БАЗОВА ГЕНЕРАЦІЯ, ВСТАНОВЛЕНА ПОТУЖНІСТЬ, РЕЗЕРВ ПОТУЖНОСТІ, ДІАПАЗОН ПОТУЖНОСТІ.

1. РОЗВИТОК ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ

1.1 Аналіз стану генеруючих потужностей об'єднаної енергетичної система України та режимів їх роботи

Енергетика є основою національної економіки, системотворчою, базовою галуззю, провідним чинником її розвитку. Ефективне функціонування паливно-енергетичного комплексу є дуже вагомим для підвищення добробуту та забезпечення сталого економічного розвитку держави. Наразі світова енергетика характеризується високим рівнем ефективності, диверсифікацією виробничої структури та більш ефективним розташуванням енергетичних об'єктів. Зниження темпів росту енергоспоживання в промислово розвинених країнах пов'язане з ростом інвестиційних вкладень в енергозберігаючі технології, а не у виробництво самої енергії.

Основні генеруючі потужності ОЕС України зосереджені на:

- чотирьох атомних електростанціях (15 енергоблоків, з яких 13 – потужністю по 1 000 МВт і 2 – потужністю 415 та 420 МВт);;
- каскадах з 8 гідроелектростанцій на річках Дніпро й Дністер із загальним числом гідроагрегатів – 103 одиниці, а також 3 гідроакумуючих станціях (11 ГА з потужністю від 33 МВт до 324 МВт);
- 14 ТЕС із блоками одиничною потужністю 150, 200, 300 і 800 МВт (97 енергоблоків, у тому числі потужністю: 150 МВт – 6, 200 МВт – 42, 300 МВт – 42, 800 МВт – 7 одиниць та 4 турбогенератора), а також 3-х великих ТЕЦ з енергоблоками 100 (120) МВт та 250 (300) МВт;

Встановлена потужність електростанцій ОЕС України представлена в
Тпблиці 1.1

На більшості енергоблоків АЕС встановлені реактори серії ВВЕР-1000 (модель В-320), які за технічними характеристиками подібні до закордонних реакторів PWR. Три атомні енергоблоки вже відпрацювали свій проектний

30-річний ресурс, і термін їх експлуатації подовжено ще на 10 років (табл. 2.8). Найближчим часом закінчиться проектний термін експлуатації ще 3-х атомних енергоблоків. Одним із пріоритетних завдань діяльності експлуатуючої організації-оператора АЕС ДП «НАЕК «Енергоатом» є продовження термінів експлуатації діючих енергоблоків після вичерпання призначеного терміну служби . Обґрунтована тривалість додаткового строку експлуатації енергоблоків АЕС становить від 10 до 20 років і визначається в кожному конкретному випадку за результатами виконання переоцінкибезпеки

Таблиця 1.1 Встановлена потужність електростанцій ОЕС України, МВт

	2017	2018	2019
АЕС	13835	13835	13835
ТЕС ГК	27803	24565,8	24565
ТЕЦ та блокстанції	6463	5946,8	5972,3
ГЕС	4698,5	4711	4719,2
ГАЕС	1185,5	1509,5	1509,5
ВЕС	427,6	300,4	328,4
СЕС	359,1	458	758,4
Інші(біомаса, біогаз)	54,4	62,6	96,9
Всього	54826,1	51338,3	51784,7

Гідроенергетика відіграє винятково важливу роль у функціонуванні української енергосистеми, оскільки ГЕС і ГАЕС є фактично єдиним джерелом її пікових потужностей, крім того, гідроакумуючі електростанції роблять внесок у згладжування нічних «провалів» споживання електроенергії

Технологічну основу генеруючих потужностей у тепловій енергетиці складають пилувугільні енергоблоки високих параметрів пари (13 МПа, 545⁰С) потужністю 150-200 МВт та пилувугільні та газомазутні енергоблоки надкритичних параметрів (24 МПа, 545⁰С) потужністю 300 та 800 МВт на

конденсаційних електростанціях. Електростанції з енергоблоками 150 МВт збудовані і введені в експлуатацію в 1959-1964 роках, 200 МВт – в 1960-1975 роках, 300 МВт – у 1963-1988 роках і 800 МВт – у 1967-1977 роках.

В останні роки в Україні, після надання значних преференцій технологіям, що використовують ВДЕ для виробництва електроенергії, вони почали достатньо швидко розвиватись. Розподіл виробництва електроенергії ВДЕ у 2019 році (рисунок 1.1)

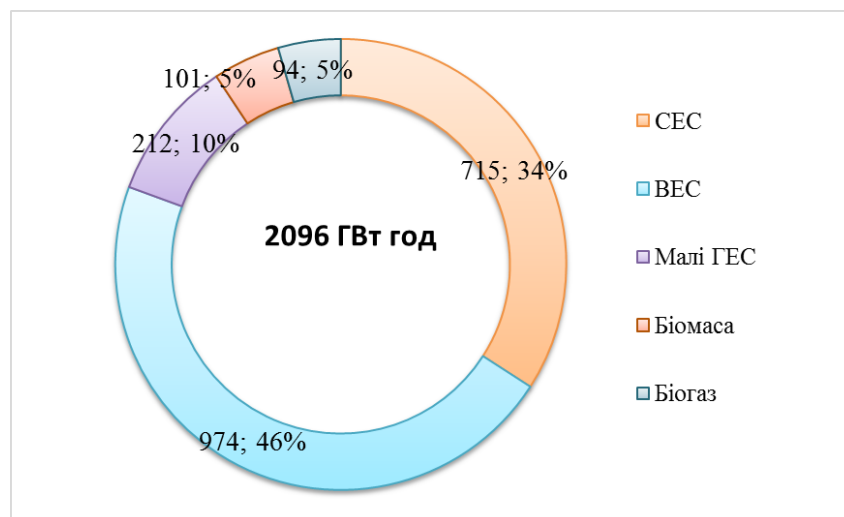


Рисунок 1.1 – Розподіл виробництва електроенергії ВДЕ у 2019 році

Крім того, функціонування великих електростанцій з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), особливо, що виробляють електроенергію з енергії сонця, вітру, характеризується різко змінними режимами роботи у складі Об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України, що призводить до додаткових витрат на диспетчеризацію електростанцій та підтримання резервних потужностей для регулювання режимів роботи електростанцій, які використовують енергію сонця, вітру. Слід зазначити, що витрати на диспетчеризацію і резервування зростають пропорційно встановленій потужності електростанції, які виробляють електроенергію з енергії сонця (СЕС), вітру (ВЕС), та на сьогоднішній день не компенсуються власниками цих електростанцій. А наявність достатніх обсягів резервних енергогенеруючих потужностей для підтримання балансу між попитом і пропозицією на ринку електричної енергії є важливим фактором надійної та безпечної роботи ОЕС України.

1.2 Стан і розвиток сонячної та вітрової енергетики в провідних країнах світу. Статистика розвитку сонячної та вітрової електричної енергетики України.

Сучасні тенденції та досвід використання відновлюваних джерел енергії в енергетичних цілях є важливим для України, де відновлювана енергетика перебуває на початковому етапі розвитку та потребує ефективних механізмів державної підтримки на зразок кращих світових практик. Відновлювана енергетика стрімко розвивається в постіндустріальних країнах світу, зростає її частка в світовому енергетичному балансі. Очевидно, що ці тенденції зберігатимуться, охоплюючи усе більше країн.

Аналітики Міжнародної енергетичної Асоціації (МЕА) прогнозують, що обсяги виробництва енергії з відновлюваних джерел в усьому світі перевищать обсяги генерації із використанням природного газу на найближчу перспективу. Адже країни ЄС, Латинської Америки, США і Японія активізують переведення своїх енергосистем із традиційних джерел на альтернативні.

Згідно з прогнозами Європейської Асоціації Біомаси (АЕВІОМ), у 2020 р. загальна частка відновлюваної енергетики у Європі досягне 20,7%, а

Згідно з довгостроковими прогнозами Європейської ради з відновлюваних джерел енергії у 2050 році вся тепла енергія в ЄС буде вироблятися з відновлюваних джерел. МЕА висуває досить оптимістичні прогнози щодо розвитку відновлюваної енергетики також в країнах, що не є членами Організації економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР). Очікується, що ці країни, в тому числі Китай, забезпечать 60% світового зростання в галузі ВДЕ до кінця 2018 року. Таке швидке розгортання відновлюваної енергетики в цих країнах у повній мірі компенсує уповільнення розвитку галузі в інших регіонах світу, зокрема, у Європі та

США, де ринки відновлюваної енергетики сформувалися раніше і є досить структурованими та насиченими .

Все більш конкурентоспроможними в порівнянні із традиційною стають сонячна та вітрова енергетика. Вітроенергетика успішно конкурує з новими електростанціями, що працюють на викопному паливі, у Бразилії, Туреччині, Великобританії та Новій Зеландії.

Сонячні електростанції економічно ефективні на регіональних ринках, де спостерігається висока пікова ціна на електроенергію, зумовлена роботою енергоблоків, що використовують дорогі нафтопродукти, та де наявна висока сонячна активність і, відповідно, велика продуктивність сонячних модулів. У деяких країнах світу (США, Бразилія, ЄС та ін.) вже досягнуто так званого мережевого паритету – вартість сонячної енергетики зрівнялась і ще продовжує знижуватися в порівнянні із традиційною. А собівартість електроенергії, виробленої локальними сонячними електростанціями у низці

країн, може бути навіть нижчою, ніж роздрібні ціни на електроенергію.

В той же час Світовий банк рекомендує, щоб в усьому світі частка відновлюваних джерел енергії збільшилася до 2030 року з нинішніх 18% до 36% .

Окрім цього, згідно з вимогами ООН відновлювану енергетику доцільно розвивати у всіх країнах світу як один з вагомих інструментів утримання глобального потепління на рівні не більше 20⁰С. Відповідно до Паризької угоди Рамкової конвенції ООН зі змін клімату 2016 року, розвинуті держави зобов'язуються надавати фінансову та технічну допомогу країнам, що розвиваються, на реалізацію проектів з використання ВДЕ. Більшість учасників Паризького саміту ООН зійшлися на думці, що до 2050 р. світ має повністю відмовитися від викопних енергоресурсів та стовідсотково перейти на відновлювані джерела енергії.

Такі прогнози є цілком реальними, якщо проаналізувати сучасні темпи розвитку відновлюваної енергетики в розвинутих країнах світу, які прагнуть до енергетичної незалежності та зменшення шкідливого впливу на довкілля.

З метою узагальнення світових тенденцій інвестування у відновлювану енергетику доцільно розглянути основні технології відновлюваної енергетики, які впроваджуються провідними державами світу .

Відповідно лідируючі позиції займають передові економіки світу – Китай, США та Німеччина.

У роботі MEA «*Market Report Series. Renewables 2018*» станом на кінець 2018 р. наведено сталу динаміку нарощування енергетичних потужностей на основі ПДЕ. Водночас відзначено тенденцію виведення з роботи вугільних енергоблоків (зменшення потужностей майже на 30 ГВт) та зниження потужностей енергоблоків на природному газі майже на 20 ГВт, що видно з наступної діаграми (Рисунок 1.2).

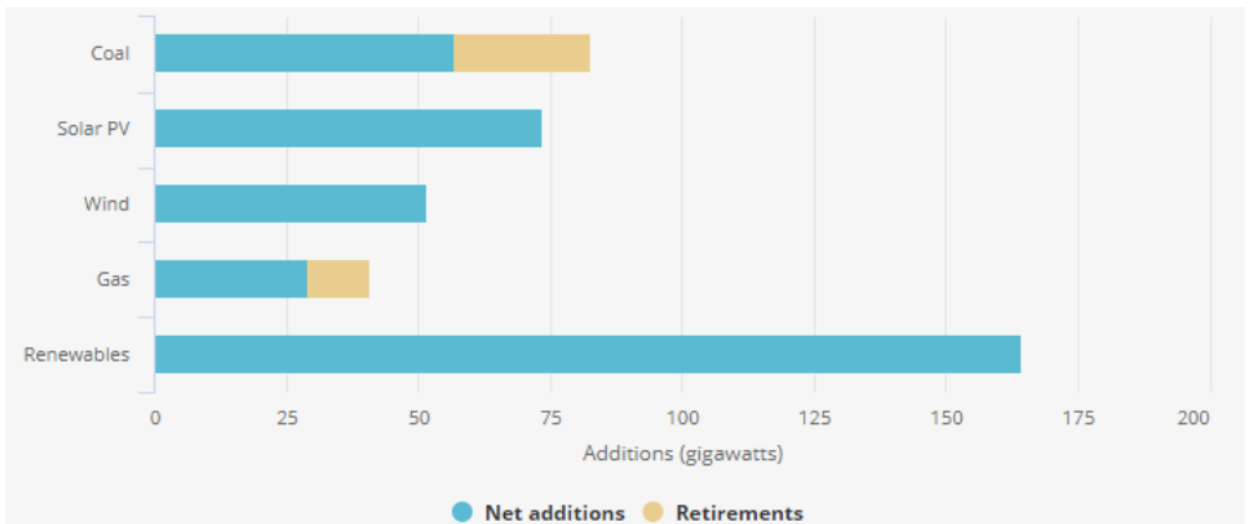


Рисунок 1.2 – Встановлена потужність за видами палива.

Обсяги виробництва вітрової та сонячної енергії разом складатимуть більше 80% загального потенціалу ВДЕ до 2022 р. За основним сценарієм МЕА сумарна встановлена потужність об'єктів сонячної енергетики у світі досягне 740 ГВт до 2022 р. – це більше, ніж загальна сумарна потужність Індії та Японії сьогодні

Відповідно до звіту МЕА розгортання введення нових потужностей ПДЕ зумовлене значним зниженням питомих витрат на їх розвиток з відповідною інвестиційною та державною підтримкою. Зокрема, у 2016 р. нарощування обсягів нових потужностей «чистої» електроенергії зросло майже на дві третини – в експлуатацію введено близько 165 ГВт.

Натомість в нашій державі з початку 2017 року по I півріччя 2020 року потужність об'єктів відновлюваної електроенергетики (без урахування тимчасово окупованої території АР Крим), яким встановлено «зелений» тариф, збільшилась на 766 МВт (з 967 МВт до 1 733 МВт), з них введено в експлуатацію:

- у 2017 р. – 32 МВт;
- у 2018 р. у 4 рази більше – 136 МВт;
- у 2019 р. у 2 рази більше – 291 МВт;

У будівництво 766 МВт потужностей об'єктів відновлюваної електроенергетики інвестовано понад 740 млн євро.

Станом на кінець I півріччя 2020 року в Україні працює 4919 об'єктів відновлюваної електроенергетики, яким встановлено «зелений» тариф, загальною потужністю 1733 МВт, з них:

- 260 СЕС загальною потужністю 948 МВт;
- 5 ВЕС загальною потужністю 515 МВт.

З 2017 по I півріччя 2019 року надбавку до «зеленого» тарифу за використання обладнання українського виробництва отримали 29 об'єктів відновлюваної електроенергетики загальною потужністю 157,7 МВт, з них:

- 17 СЕС загальною потужністю 134,1 МВт;
- 6 ВЕС загальною потужністю 17,6 МВт;
- 5 МГЕС загальною потужністю 0,9 МВт;
- 1 Біо загальною потужністю 5,12 МВт.

Станом на кінець II кварталу 2019 року загальна кількість сонячних станцій приватних домогосподарств, яким встановлено «зелений» тариф, складає 4660 станцій, з яких у I півріччі 2018 року було встановлено 1650 станції.

Загальносвітова тенденція свідчить, що левову частку інвестицій в альтернативну енергетику становлять інвестиції в проекти СЕС та ВЕС. Обсяг інвестицій у проекти СЕС та ВЕС за період 2012-2016 роки в світі становили 92% загальних інвестицій у відновлювану енергетику. Схожа тенденція щодо рівня інвестування у проекти СЕС та ВЕС спостерігається в Україні.

Також в Україні спостерігається аналогічна до світових тенденція до зменшення капітальних витрат (CAPEX) по проектах будівництва СЕС, ВЕС, що зумовлюється поступовим здешевленням обладнання внаслідок

активного розвитку технологій в цій сфері, наявністю реальної конкуренції між виробниками обладнання та матеріалів, отриманням знижок від виробників обладнання дивелоперами, які реалізують серійні проекти.

За останні роки значно знизилась вартість електричної енергії, виробленої з енергії сонця. Так, за даними звіту IRENA «Renewable Power Generation Costs in 2018» одним з основних чинників такого зниження є зниження вартості сонячних панелей на 81% порівняно з 2009 роком. Середньозважена приведена вартість електричної енергії, виробленої з енергії сонця, зменшилась протягом 2010-2018 років на 73% до 0,1 долару за 1 кВт/год.

1.3 Перспектива побудови відновлюваних джерел енергії на території України.

На виконання ухваленого в жовтні 2012 р. Рішення Ради Міністрів Енергетичного Співтовариства D/2012/04/МС-ЕпС Про впровадження Директиви 2009/28/ЕС про заохочення до використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел розпорядженням Кабінету Міністрів України від 01.10.2014 р №902-р затверджено Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року (НПД ВЕ) та План заходів з реалізації Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року.

Головною метою НПД ВЕ є доведення до 2020 р. частки енергії, отриманої з поновлюваних джерел енергії у кінцевому енергоспоживанні країни до 11%, що дозволить до 2020 р. зменшити використання традиційних первинних енергоресурсів в обсязі 8,6 млн т н.е. або 9,2 млрд м3 природного газу.

На виконання Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року Держенергоефективності разом з Інститутом відновлюваної енергетики НАН України та профільними асоціаціями розроблено проект Дорожньої карти розвитку відновлюваної енергетики України на період до 2020 року щодо сприяння залученню інвестицій у

розвиток сфери відновлюваної енергетики України.

Відповідно до Закону України від 04.06.2017 р. №514-VIII Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов

виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії «зелений» тариф розраховується відповідно до курсу євро. Цим Законом скасовано вимоги до «місцевої» складової; введено «зелений» тариф для СЕС і ВЕС приватних домогосподарств потужністю до 30 кВт та введено надбавку до «зеленого» тарифу за дотримання рівня використання обладнання українського виробництва.

Розвиток розподіленої генерації в енергосистемах країни в умовах нарощування потужностей ПДЕ сприятиме мінімізації втрат електроенергії в електромережах (мінімізуються втрати при передаванні електроенергії на великі відстані, розвантажуються електромережі, не потрібне додаткове мережеве будівництво).

Закон України від 05.12.2018 р. №2222-19 Про приєднання України до Статуту Міжнародного агентства з відновлювальних джерел енергії (IRENA) сприятиме виконанню міжнародних зобов'язань щодо досягнення у 2020 році 11% енергії з поновлюваних джерел в енергетичному балансі. Зокрема, участь дозволить: подавати заявки до Абудабійського фонду розвитку щодо отримання пільгових кредитів на «зелені» проекти; залучати світові інновації у поновлюваній енергетиці; 94 отримувати рекомендації IRENA щодо покращення законодавства у сфері поновлюваної енергетики тощо

У Звіті ДП «НЕК «УКРЕНЕРГО» сформовано Цільовий сценарій, реалізація якого при помірних темпах зростання потужності генерації електроенергії з використанням ВДЕ може забезпечити балансову надійність генерувальних потужностей при мінімальному зростанні цін на електроенергію в період найближчих 10 років. Також проведено Аналіз впливу введення ВЕС і СЕС на розвиток економіки, формування структури генеруючих потужностей та зміну цін на електроенергію.

Недостатня прогнозованість генерації ВЕС та СЕС навіть у короткостроковій перспективі обумовлює значне зростання вимог до

маневрених потужностей ОЕС України для компенсації їх нестабільності.

Для спрощення та уніфікації процедур з приєднання об'єктів ПДЕ до електромереж ОЕС України ДП «НЕК «УКРЕНЕРГО» розроблено та введено у тестовому режимі «єдине вікно» для потенційного інвестора. Нова інтерактивна мапа мережі Укренерго, на яку нанесено усі підстанції компанії, а також «зелений калькулятор» з визначення вартості підключення допоможуть отримати інформацію щодо наявності технічної можливості та рекомендацій з підключення об'єктів. Подати заяву в режимі он-лайн на виконання комплексу заходів з приєднання та підключення електроустановок можливо шляхом заповнення відповідних електронних форм. Термін видачі технічних умов на приєднання скоротився до 15 днів. Завдяки впровадженню

«єдиного вікна» кількість звернень щодо приєднання об'єктів ВДЕ зросла у 1,5 раза .

Крім того ДП «НЕК «УКРЕНЕРГО» розроблено проекти нормативних документів: «Вимоги до вітрових та сонячних електростанцій при їхній роботі паралельно з ОЕС України» II редакція; «Визначення необхідних умов і алгоритмів врахування ВЕС та СЕС при налаштуванні протиаварійних автоматичних пристроїв»; «Методичні рекомендації щодо визначення необхідних умов і алгоритмів врахування ВЕС та СЕС при налаштуванні пристроїв автоматичного запобігання порушення стійкості (АЗПС) у перетинах ОЕС України на режим роботи яких вони мають вплив»

ДП «НЕК «Укренерго» презентовано розроблене НПЦР ОЕС України техніко-економічне обґрунтування будівництва інфраструктури збору і видавання потужності СЕС встановленою потужністю до 1200 МВт (еквівалент Придніпровської ТЕС) у Чорнобильській зоні відчуження. Проект передбачає будівництво ПС напругою 330/110 кВ, 11 ПС напругою 110/10 кВ та близько 54 км ліній електропередавання напругою 110 кВ. Це перший проект в Україні, у якому передбачено встановлення систем накопичення енергії, що дозволяє мінімізувати вплив нестабільної генерації об'єктів ПДЕ на режим роботи ОЕС України. Застосування систем акумулювання енергії дозволяє зменшити витрати на підтримання балансу в

електромережі в період пікових навантажень; забезпечити безперервність та гнучкість постачання електроенергії; більш раціонально використовувати національні та регіональні електромережі; зменшити ризик перевантаження в електромережах та значно підвищити рівень безпеки системи розподілення як у поточному режимі, так і в аварійних умовах, або надзвичайних ситуаціях.

1.4 Функціонування вітрових та сонячних електростанцій

1.4.1 Аналіз чинників та параметрів, які визначають ефективність використання сонячних та вітрових електростанцій

На сьогодні позитивна динаміка розвитку сонячної енергетики в Україні пояснюється не лише сприятливими кліматичними чинниками, а й створенням належної нормативно-правової бази для регулювання цієї галузі.

Проте слід зазначити й деякі недоліки. По-перше, для відносно невеликої величини потужності сонячної енергетики потрібне використання великих земельних площ під електростанції. Для проекту СЕС дуже важливим є вирішення питання оренди землі, бажано вибрати землю не сільськогосподарського призначення і не розпайовану. На 1 МВт приходить орендувати біля 2,5 га землі.

По-друге, СЕС не працює вночі і недостатньо ефективно працює у ранкових і вечірніх сутінках. При цьому пік споживання електроенергії припадає саме на вечірні години.

Крім того, вироблення електроенергії може стрімко і несподівано коливатися внаслідок змін погоди. Для подолання цих недоліків потрібно або використовувати ефективні електричні акумулятори (на сьогодні це поки що невирішена проблема), або будувати гідроакумулюючі станції, які теж займають велику територію, або використовувати концепцію водневої енергетики, яка також поки далека від економічної ефективності. Проблема залежності потужності сонячної електростанції від часу доби і погодних умов може бути вирішена спорудженням сонячних аеростатних електростанцій. Ще один шлях вирішення проблеми - будівництво гібридних електростанцій,

тобто вдень електроенергія виробляється параболічними концентраторами, а вночі - з вітру.

По-третє, сонячні фотоелементи високовартісні. Ймовірно, з розвитком технології цей недолік буде подолано. Ще одним недоліком є недостатній ККД сонячних елементів. Крім того, поверхню фотоелектричних панелей періодично потрібно очищувати від пилу та інших забруднень.

Ефективність фотоелектричних елементів значно знижується при їх нагріванні, тому виникає необхідність в установці систем охолодження, зазвичай водяних. Знижується вона також і через 30 років експлуатації, що теж належить до проблемних питань. Незважаючи на екологічну чистоту отримуваної енергії, самі фотоелементи містять отруйні речовини, наприклад, свинець, кадмій, галій, миш'як тощо, у їх виробництві використовуються також інші небезпечні речовини.

Сучасні фотоелементи мають обмежений термін експлуатації (30-50 років), їх активне застосування передбачатиме виникнення проблеми їх утилізації. Тому останнім часом починає активно розвиватися виробництво тонкоплівкових фотоелементів, у складі яких міститься близько 1 % кремнію, завдяки чому вони дешевші у виробництві, але поки мають меншу ефективність.

Отже, сонячне випромінювання є загальнодоступним і невичерпним джерелом енергії. Теоретично сонячна енергетика вирізняється повною безпечністю для навколишнього середовища, якщо не брати до уваги наявність отруйних речовин у фотоелементах.

Фотоелектричні системи мають дві основні системи: перша – це яка складається з сонячних панелей, контролера, інвертора. Така схема використовується там, де є велике споживання електроенергії на великих сонячних станціях. Це виробництво, учбові заклади, багатоквартирні будинки. Друга схема складається з сонячних панелей, контролера, інвертора та акумуляторних батарей. Ця схема використовується для невеликих сонячних станцій потужність до 10 кВт, на великих приватних будинках,

садибах «зеленого туризму». Вартість таких систем від 500 до 25 тисяч доларів. Термін окупності фотоелектричних систем без продажу електроенергії по «зеленого тарифу» 5-20 років, а при продажі по «зеленому тарифу» 7-8 років.

Немаловажним фактором для використання фотоелектричних панелей (перетворювачів) є їх підвищення ККД. Підвищення ККД фотоелектричних перетворювачів розвивається у 3-х напрямках. Перший – це конструктивні вдосконалення .

До них належать: - збільшення поверхні сонячних панелей; - антивідбивні покриття, які допомагають наростити частку випромінювання, що проходить у кремнієвих напівпровідниках; - оптичні концентратори сонячних потоків; - плоскі, відбивні концентратори сонячних потоків; - примусове охолодження поверхонь фотоелектричних панелей. Другий напрямок становлять технологічні вдосконалення (використання нових матеріалів).

Тут перспективним слід уважати: - тонкі плівки Si, отриманні надвисоким частотним хімічним осадженням з парової фази (CVD) на підкладках металічних і склоподібних, це економить напівпровідниковий матеріал у понад 10 разів; - багат шарові структури напівпровідника з градієнтом ширини забороненої зони E_g від «оптичного вікна» до значень, характерних для вузькоцилінних матеріалів. Це дає можливість використовувати для генерування струму довгохвильові кванти ІЧ діапазона;

- органічні напівпровідники, у яких ефективність перетворення сягає 7-10 %. Третій напрям - це нові принципи роботи сонячних панелей, а саме: - панелі на основі квантових надграток, які практично використовують весь спектральний діапазон сонячного випромінювання; - квантові точки, збудовані в напівдіелектричній матриці.

Напрямок сонячної енергетики перспективний, тому що власники встановлюючи сонячні батареї на своїх будинках (на стінах і дахах), потужністю приблизно до 30 кВт, (саме стільки прописує законодавство для

приватних домогосподарств), продаючи надлишок енергії по «зеленому тарифу», можуть розраховувати на окупність у 5-10 років.

Крім цього вони можуть використовувати отриману електроенергію для опалення власних будинків, встановивши, наприклад, електрокотел. Варто примітити, що ефективність міні електростанції залежить від багатьох чинників:

- кліматична зона (південь України чи північ)
- пора року (влітку більше сонячного проміння, тому і ефективність більша, взимку – менша)
- кут нахилу панелей (оптимальний 30° - 45°)
- погода (хмарність і ясність)
- час доби
- якість виробника.

Однак їхня ефективність також дуже залежить від вказаних чинників для сонячних панелей. Переваги використання сонячних батарей на даху будинку:

- безкоштовне і практично невичерпне джерело енергії;
- робота не завдає шкоди навколишньому середовищу;
- обслуговування полягає в періодичному очищенню панелей від пилу;
- можливість отримання електроенергії в місцях, де відсутні централізовані мережі електрики;
- можливість комбінування різних джерел електроживлення, тобто в ясну погоду можна включати сонячні батареї, а в погану використовувати звичайний джерело електроенергії.

Недоліки:

- порівняно високі ціни на обладнання для отримання енергії;
- невисокий коефіцієнт корисної дії;
- залежність від активності сонячних променів при різних кліматичних умовах використання. Перспективи:

- виготовлення покрівельних елементів (черепиці) із вбудованими фотоелементами, що значно здешевлює сонячні установки на даху.

- постійні світові вдосконалення у галузі сонячної енергетики.

Вітрова енергетика. У вітроенергетичному секторі на даний час працюють біля 70 країн світу. Серед країн з найбільшими потужностями вітроенергетики – Німеччина, США, Іспанія, Індія, Китай, Данія. В США до 2020 року планується досягти 15 % виробництва електроенергії за рахунок вітру, вдосконалюються турбіни, розширюється діапазон швидкостей вітру, які можуть бути використані вітроустановками. Україна має власні розробки вітроенергетичних установок (ВЕУ) та власне промислове виробництво, є і ліцензійні ВЕУ. Працюють вісім вітрових електростанцій (ВЕС) в Криму, Приазов'ї та в Карпатському регіоні. Починаючи з 1997 року, коли була прийнята Комплексна програма будівництва ВЕС, вітроенергетика в Україні отримала державну підтримку у виді надбавки до тарифу за електроенергію та прямого фінансування .

Переваги:

- екологічно-чистий вид енергії. Виробництво електроенергії за допомогою "вітряків" не супроводжується викидами вуглекислого чи будь-якого іншого газу.

- ергономіка. Вітрові електростанції займають мало місця і легко вписуються в будь-який ландшафт, а також відмінно поєднуються з іншими видами господарського використання території.

- відновлювана енергія. Енергія вітру, на відміну від викопного палива, невичерпна.

- краще рішення для важкодоступних місць. Для віддалених місць встановлення вітрових електрогенераторів може бути найкращим і найдешевшим рішенням із можливих.

Недоліки:

Нестабільність. Нестабільність полягає в відсутності гарантій отримання необхідної кількості електроенергії. На деяких ділянках суші сили вітру може виявитися недостатньо для вироблення необхідної кількості електроенергії.

– відносно невисокий вихід електроенергії. Вітрові генератори значно поступаються у виробленні електроенергії дизельним генераторам, що призводить до необхідності встановлення відразу декількох турбін. Крім того, вітрові турбіни неефективні в період пікових навантажень .

– висока вартість. Вартість установки потужністю 1 МВт становить 1 мільйон доларів. Хоч зрозуміло, що установки меншої потужності мають меншу вартість.

– небезпека для дикої природи. Обертіві елементи турбіни становлять потенційну небезпеку для деяких видів живих організмів. Згідно зі статистикою, лопаті кожної встановленої турбіни є причиною загибелі не менш як чотирьох особин птахів на рік.

– шумове забруднення. Шум від "вітряків" може викликати занепокоєння, як диких тварин, так і людей, які проживають поблизу.

1.4.2 Аналіз фактичного рівня генерації енергії вітрової електростанції та сонячної електростанції в об'єднаній енергетичній системі України у період 2018-2019 рр.

Визначення середньодобового рівня виробітку ВЕС та СЕС окремо для кожної пори року протягом 2018-2019 рр.

Вплив різних типів ВДЕ на режими роботи енергосистем не однаковий. Так, для оцінки режимів роботи ВЕС, для яких характерним є флуктуаційний характер, можуть бути застосовані методи прогнозування, що дають достатньо точні результати, особливо короткострокове прогнозування. Для СЕС провести якісне прогнозування значно складніше, оскільки величина генерування їх значно залежить від детальної інформації про ступінь, структуру, рівні та рух існуючих хмар у безпосередній близькості від об'єкта,

На основі даних ДП "Енергоринок" щодо погодинного фактичного виробітку електроенергії ВЕС та СЕС за січень, квітень, липень та жовтень у період з 2018 до 2019 рр. було визначено середньодобовий виробіток для кожного з цих місяців, назвемо його виробітком ВЕС та СЕС для типових діб пори року. Дані середньодобового погодинного виробітку електроенергії ВЕС та СЕС представлено в таблиці 2.1.

[illegible]

	5	13	13	83	7	66	19	34	46	50	35	30	3	01	64	56
15:00	4	9	18	59	7	42	20	11	45	07	47	91	3	58	64	87
16:00	5	2	21	22	5	06	18	60	46	8	52	20	7	99	62	69
17:00	6		17	67	4	44	18	5	49		54	21	7	16	54	11
18:00	7		12	9	0	66	18	0	54		50	94	1	12	48	9
19:00	03		12	5	1	3	25		62		44	8	7	11	56	
20:00	13		13		0	9	29		65		46	0	2	8	70	
21:00	18		20		1		30		61		51		6		72	
22:00	17		19		6		35		62		47		6		68	
23:00	16		22		1		37		57		43		3		68	
24:00	3		14		5		35		57		44		7		71	
Сума	551	18	485	169	856	986	945	595	721	59	352	107	666	189	964	750

Зважаючи на значну залежність генерації ВЕС та СЕС від метрологічних умов, для якісної оцінки впливу генерації ВЕС та СЕС на формування балансів потужності в ОЕС України, в даній магістерській дисертації була проаналізована їх робота на протязі кожної пори року. Для проведення аналізу характерним для кожної пори року був вибраний кожен другий місяць, так для зими – січень, весни – квітень, літа – липень, осені – жовтень.

1.4.3 Побудова середньодобових профілів генерації вітрової електростанції та сонячної електростанції для кожної пори року протягом 2019-2020 рр.

На основі визначеного виробітку СЕС та ВЕС побудуємо усереднені добові профілі виробництва електричної енергії для кожної пори року 2018-2018 рр. Профілі середньодобового виробітку електроенергії ВЕС та СЕС для

кожної пори року за 2018-2018 рр.

Отже, наведені графіки потужності протягом характерних сезонів(січень, лютий, квітень, жовтень) доводять, що загальна потужність ВЕС в жодному періоді типової доби не досягає нульового значення. Це викликано, перш за все, значною висотою розташування ротора сучасних ВЕУ (понад 90 м), де швидкість вітру практично ніколи не дорівнює нулю. Так, добові графіки зміни потужності ВЕС мають більш-менш рівномірний графік, лише години доби

Зовсім іншу ситуацію бачимо на СЕС, основна потужність яких зосереджена в денний період доби (з 7 год до 20 год).

1.4.4 Визначення погодинного коефіцієнту використання встановленої потужності кожної пори року протягом 2019-2020 рр.

Коефіцієнт використання встановленої потужності (далі – КВВП) є безрозмірною величиною та дорівнює відношенню середньоарифметичної фактичної (дійсної) потужності до встановленої потужності електроустаткування за певний інтервал часу, це одна з найважливіших характеристик ефективності роботи підприємств електроенергетики. Визначення цього коефіцієнту для СЕС та ВЕС для кожного розрахункового періоду типової доби пори року дасть змогу в подальших розрахунках спрогнозувати їх роботу в 2020 р.

Користуючись динамічними даними НЕК "Укренерго" щодо встановленої потужності ВЕС та СЕС у період 2018-2018 рр, визначимо погодинний КВВП для середньодобового рівня виробітку ВЕС та СЕС окремо для кожної пори року протягом 2018-2018 рр. Результати наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 Коефіцієнт використання встановленої потужності ВЕС та СЕС типових діб кожної пори року за 2018-2018 рр.

[illegible]

9:00	,31		,33	,05	,21	,11	,36		,44		,38		,20	,11	,38	
0:00	,34		,34		,2	,02	,37		,45		,39		,19	,03	,41	
1:00	,36		,36		,23		,37		,44		,40		,17		,42	
2:00	,36		,36		,25		,38		,44		,39		,17		,41	
3:00	,35		,36		,26		,39		,43		,38		,19		,41	
4:00	,37		,34		,28		,38		,43		,38		,2		,41	

Маючи погодинний КВВП за 2018 та 2018 рр., визначимо середнє значення КВВП для кожної пори року (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 Середній КВВП для типових діб кожної пори року

Годин а доби	січень		квітень		липень		жовтень	
	В	С	В	С	В	С	В	С
01:00	0,3	0	0	0	0	0	0,	0
02:00	0,3	0	0	0	0	0	0,	0
03:00	0,3	0	0	0	0	0	0,	0
04:00	0,3	0	0	0	0	0	0,	0
05:00	0,3	0	0	0	0	0	0,	0
06:00	0,4	0	0	0	0	0	0,	0
07:00	0,3	0	0	0	0	0	0,	0
08:00	0,4	0	0	0,0	0	0	0,	0,02
09:00	0,3	0,0	0	0,1	0	0	0,	0,11
10:00	0,3	0,0	0	0,3	0	0	0,	0,24
11:00	0,3	0,1	0	0,4	0	0	0,	0,35
12:00	0,3	0,1	0	0,5	0	0	0,	0,41
13:00	0,3	0,1	0	0,5	0	0	0,	0,44
14:00	0,3	0,1	0	0,5	0	0	0,	0,42
15:00	0,3	0,1	0	0,4	0	0	0,	0,37
16:00	0,3	0,0	0	0,4	0	0	0,	0,28
17:00	0,3	0,0	0	0,3	0	0	0,	0,16
18:00	0,3	0	0	0,1	0	0	0,	0,05

19:00	0,3	0	0	0,0	0	0	0,	0
	8		,36	6	,20	,11	37	
20:00	0,4	0	0	0,0	0	0	0,	0
	0		,36	1	,20	,03	39	
21:00	0,4	0	0	0	0	0	0,	0
	0		,38		,20		40	
22:00	0,4	0	0	0	0	0	0,	0
	0		,37		,21		40	
23:00	0,3	0	0	0	0	0	0,	0
	9		,37		,23		40	
24:00	0,4	0	0	0	0	0	0,	0
	0		,36		,24		40	

1.4.5 Аналіз фактичного рівня споживання в об'єднаній енергетичній системі України протягом 2019-2020 рр.

У магістерській дисертації на основі використаних даних, проведено аналіз споживання та визначено усереднений добовий рівень споживання для кожного з вибраних місяців. Дані погодинного споживання представленні в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 Усереднений добовий рівень споживання електроенергії
ОЕС України для вибраних місяців

Година доби	2018 р.				2019 р.			
	січень	квітень	липень	жовтень	січень	квітень	липень	жовтень
	Середньомісячна добова температура, °С							
	-4,7	9,8	20,5	8,7	-2,3	13,0	21,2	10,8
	Рівень споживання							
01:00	17500	13900	13400	14700	17200	13800	13700	14500
02:00	17000	13500	12900	14300	16700	13400	13100	14000
03:00	16700	13300*	12700	14100	16400	13200	12900	13900
04:00	16600*	13300	12600	14000*	16300*	13100*	12800*	13800*
05:00	16900	13600	12600*	14200	16600	13400	12800*	14100
06:00	17600	14000	13100	15100	17300	13900	13400	14800
07:00	18900	15300	13900	16500	18400	15000	14400	16100
08:00	19800	16000	14600	17300	19200	15800	14800	16800
09:00	20700	16700	15500	17800	20300	16200	15800	17300
10:00	21100	16800	15700	18000	20700	16300	16300	17500
11:00	21300*	16900*	15800	18000*	21000*	16400*	16400	17500*
12:00	20900	16700	15900	17600	20600	16200	16600	17100
13:00	20700	16600	16000	17500	20500	16100	16600	17000
14:00	20600	16600	16200*	17600	20400	16100	16800*	17100
15:00	20600	16500	16100	17500	20400	16000	16600	17000
16:00	20900	16500	16100	17400	20600	15900	16600	17000
17:00	21400	16300	16000	17400	21100	15900	16400	16900
18:00	21800*	16200	15900	17600	21400*	15800	16300	17000
19:00	21400	16300	15800	18600	21000	15900	16100	18300
20:00	21000	17200	15400	19000*	20500	16400	15800	18600*
21:00	20500	18200*	15900	18600	20200	17500*	16100	18300
22:00	20000	17700	16400*	17600	19700	16700	16700*	17400
23:00	18900	16600	15200	16600	18700	15700	15600	16500
24:00	18100	15500	14100	15700	17900	14500	14700	15700
Сума	470900	380200	357800	402700	463100	369200	367300	394200

Примітка * –характерні точки доби типових діб місяців

При здійсненні аналізу, за даними Таблиці 2.4 будую профілі середньодобового споживання для кожної пори року (рисунок 2.4). Як видно з графіків споживання електричної енергії характеризується двома піками і значним провалом в нічний період доби.

1.4.6 Порівняльний аналіз профілів середньодобового генерації енергії з профілями середньодобового споживання в об'єднаній енергетичній системі України

Порівнюючи профіль середньодобового споживання електричної енергії для кожної пори року в ОЕС України з профілем середньодобового виробництва електричної енергії ВЕС та СЕС можна зробити попередній висновок щодо наслідків, які можуть виникнути при збільшенні частки ВДЕ в загальному балансі потужності. Так, навіть не беручи до уваги головну особливість роботи ВЕС та СЕС, а саме їх погану прогнозованість тастохастичний режим роботи з можливістю швидких змін потужності, очевидно є принципова несхожість їх профілів виробництва з профілем реального споживання в нашій країні. Так увесь виробіток СЕС припадає на світловий день та є максимальним у період з 13 до 14 години, при тому що абсолютний максимум в ОЕС України є побутовим та лежить за межами світлового дня в усі пори року окрім літа, де за рахунок масового використання кондиціонерів як в побуті так і на виробництві година максимуму припадає саме на 13-ту, 14-ту години доби. Проте, певний оптимізм вселяє те, що в зв'язку з всебічним впровадженням в життя енергозберігаючих технологій в області освітлення, нерівномірність графіків споживання з кожним роком мають все меншу нерівномірність “денний максимум”-“вечірній максимум”. безпрецедентним став період з 17.01.18 до 29.01.18 так як на протязі нього у всіх робочих днях абсолютним був “денний максимум”.

В той же час профіль виробництва ВЕС близький до рівномірного на протязі всієї доби, таким чином режим їхньої роботи схожий на АЕС, яким в майбутньому, в разі значного збільшення частки ВЕС в структурі генерації, можуть створювати “конкуренцію” за участь в балансі ОЕС, в разі ж одночасної роботи енергосистема може потребувати додаткових маневрених потужностей для забезпечення нерівномірності покриття.

Зважаючи на викладене, для підтвердження або спростування наведених гіпотез прийнято рішення розробити прогнозні добові баланси потужності що

будуть характерні для кожної пори року, та визначити структуру генерації яка буде приймати участь для покриття балансу ОЕС України в 2020 році. Порівняти її зі структурою генерації що покривала баланс в 2018 році. Визначивши при цьому граничні величини встановленої потужності ВДЕ що станом на 2020 рік дозволять працювати АЕС на повну потужність, можливий вплив “ нової моделі ринку ” на структуру генерації та рівень гарячих резервів, який дозволить використання в балансі повної потужності АЕС та ВДЕ.

Висновки до розділу 1

У сучасному світі домінує тенденція до стрімкого зростання відновлюваної енергетики, особливо у високорозвинутих країнах. Прогнозується, що тенденція до нарощування виробничих потужностей відновлюваної енергетики спостерігатиметься і в майбутньому. За умов зростання енергетичних потреб та необхідності зменшення шкідливого антропогенного впливу на довкілля, в багатьох країнах світу прийнято державні програми та стратегії, що закріплюють поступове нарощування обов’язкової частки ВДЕ в енергетичному балансі. Поряд з цим, розвиток галузі потребує великих капіталовкладень та стабільної політики на загальнодержавному й регіональному рівнях.

2. СИСТЕМА НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ

2.1 Актуальність теми зберігання енергії для бізнесу у світі і в Україні

Статистичні дані, які доступні на сайті Міжнародної енергетичної агенції, свідчать про те, що бізнес зацікавлений інвестувати в акумулюючі потужності: сукупні інвестиції в energy storagey світі сягнули \$4 мільярдів. Якщо порівнювати 2012 і 2018 роки, то відбулося зростання у 2-2,5 рази. Тому можна говорити про стрімкий ріст.

Саме в акумулюючі батареї найбільше інвестує Європейський Союз. Хоча, якщо брати загальну статистику за 2018 рік, видно, що найбільше інвестицій іде в розбудову іншої енергетичної інфраструктури (ліній електропередач тощо), не в energy storage. Активно розвивають енергетичну інфраструктуру Китай, США, Індія.

Всім відомий тренд на здешевлення технологій, устаткування, що використовується у відновлюваній енергетиці. Дзеркально відбувається і здешевлення технологій для energy storage. Це пришвидшить розвиток, розбудову цих проектів, а також їх поширення.

Тому так, Україна відстала від впровадження законодавчої бази та інвестування в energy storage, але не настільки критично, як можна припустити.

Важливо зазначити, що встановлення нових генеруючих потужностей (в основному, це стосується та актуально для «зеленої» енергетики) вимагає інвестування не лише в генерацію як таку, а й у складні технології та інфраструктуру, у тому числі, в системи зберігання енергії. Проте впровадження нормативно-правового регулювання стосовно здійснення

діяльності по проектуванню / будівництву / експлуатації / виведенні з експлуатації систем зберігання енергії, не вирішить проблему зношеності мереж. Питання модернізації мереж є одним з найбільш критичних питань в енергетичному секторі України, яке потребує нагального вирішення, адже близько 17% обладнання підстанцій та майже 67% ліній електропередач експлуатуються понад 40 років (згідно даних НЕК «Укренерго», вказаних у Плані розвитку системи передачі на 2020-2029 роки, що має бути затверджений НКРЕКП 13 березня).

Більше того, це питання є предметом обговорення вже доволі тривалий час і є надзвичайно важливим як для оператора системи передачі електроенергії НЕК «Укренерго», так і для операторів систем розподілу – обленерго.

Генеруючі потужності ОЕС є базовими й такими, що не призначені для частих та швидких змін режимів роботи, а та частина з них, що може змінювати свої режими роботи (ТЕС), відпрацювала свій ресурс. Відповідно, ОЕС має недостатню гнучкість, яка підтримується, здебільшого, за рахунок ГЕС, ГАЕС та незначної кількості вугільних блоків ТЕС потужністю 150-300 МВт. З урахуванням цього, а також беручи до уваги динаміку розвитку «зеленої» генерації, впровадження energy storage є більш ніж актуальним. Загальна динаміка росту «зеленої» генерації в Україні добре видна на ось цих графіках (за даними НЕК «Укренерго»).

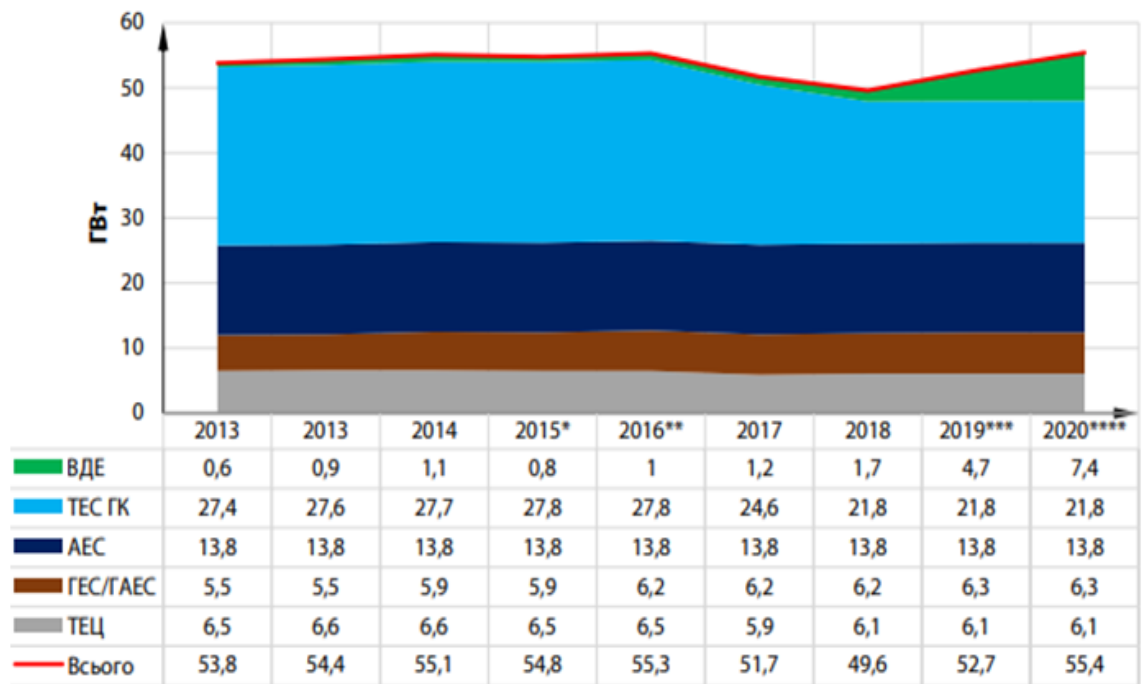


Рисунок 2.1- Структура встановленої потужності електростанцій ОЕС України

Приріст по відношенню до попереднього року, МВт								
Роки	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019*	2020**
ВЕС	108,9	137	-81,1	-123,6	20,4	60,6	704,3	900
СЕС	245,6	18,6	-222,9	98,9	300,4	466,4	2 666,92	2 100

Рисунок 2.2 - Динаміка введення в експлуатацію об'єктів «зеленої» генерації

На додачу до очевидної потреби збільшити технологічні потужності для балансування ОЕС, energy storages можуть потенційно вирішити проблему низької якості електричної енергії (з технологічної точки зору). З розвитком та поширенням високотехнологічного устаткування та техніки споживач об'єктивно потребує більш якісної електроенергії. Якщо говорити в масштабі країни, то навряд може йти мова про розміщення в Україні центрів високотехнологічного виробництва за відсутності безперебійного постачання електроенергії високої якості.

Таким чином, як бачите, стан мереж має вплив не лише на безпеку експлуатації ОЕС, а на економіку країни в цілому, а отже на кожного з нас. Системи energy storages цю проблему, звісно, не подолають, але зможуть локально вирішувати питання з балансуванням, та привернуть увагу більшого кола стейкхолдерів до проблематики.

2.2 Загальна характеристика система накопичення енергії

Система накопичення енергії (СНЕ) – електроустановка, приєднана до ОЕС України, що включає як мінімум один накопичувач електричної енергії з урахуванням інженерних споруд, обладнання перетворення енергії та пов'язане з ними допоміжне обладнання, яка отримує електричну енергію з ОЕС України або з власних електроустановок, призначених для виробництва електричної енергії, зберігає цю енергію в будь-якій формі та відпускає електричну енергію в ОЕС України.

система накопичення - енергетична технологія у вигляді комплексу взаємопов'язаного устаткування і споруд, що здатна акумулювати електричну енергію протягом певного періоду, перетворювати електроенергію в іншу форму енергії, утримувати та зберігати її, а потім знову перетворювати в форму електричної енергії та передавати її істотну частину навантаженню протягом періоду вивільнення.

За принципом дії системи накопичення поділяються:

- Електрохімічні
- Електромагнітні
- Механічні.

Система накопичення відноситься до електроустановок, зокрема, що призначаються для виробництва електричної енергії.

Електростанції альтернативної енергетики мають право на встановлення систем накопичення енергії. Встановлення таких систем накопичення енергії

не потребує спеціальних дозволів або погоджень та здійснюється за кошти власників таких об'єктів.

Виробники електричної енергії на об'єктах альтернативної енергетики, які встановили у себе системи накопичення енергії, мають право використовувати їх для власних потреб, для згладжування переривчатості виробництва електричної енергії, переміщення відпуску виробленої електроенергії на години високого попиту (у випадку "ВДЕ - генерації"), недопущення або зменшення небалансів електричної енергії.

Суб'єкти господарювання, що встановили на своїх об'єктах альтернативної енергетики системи накопичення можуть провадити діяльність у якості кваліфікованих накопичувачів на балансуєчому ринку відповідно до статті 8 цього Закону. Надані послуги з балансування мають бути оплачені оператором системи передачі. Відпущена під час надання послуг з балансування електрична енергія купується Гарантованим покупцем та оплачується за "зеленим" тарифом.

Системи накопичення також можуть бути використані у якості резервного джерела у випадках аварій, обмеження потужності і таке інше.

Однією з причин підвищення інтересу до СНЕ стало стрімке зростання частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), який викликав дві проблеми. Перша: пік вироблення у ВДЕ не збігається з піком споживання, відповідно, в певні періоди з'являється надлишок потужності, що генерується. СНЕ дозволяють усувати добовий дисбаланс між виробленням ВДЕ і попитом на електроенергію і, тим самим, продовжувати збільшувати частку ВДЕ в балансі енергосистеми. Друга: різкі зростання і падіння потужності (зокрема, вітрових електростанцій) призводять до погіршення якості електроенергії, миттєвим змінам частоти і напруги, а також формують потребу в «швидкому» резерві потужності. Електрохімічні СНЕ здатні набагато швидше реагувати на перепади потужності, ніж традиційна теплова генерація. І, що найголовніше, вони вуглецево-нейтральні.

2.3 Термін служби акумуляторів в системах зберігання електроенергії

Німецький виробник домашніх накопичувачів Sonnen, що належить нафтогазовому концерну Shell, давно заснував власну лабораторію акумуляторів у своїй штаб-квартирі в Вільдпольдсрід в Баварії. У ній тестуються акумулятори різних виробників і вимірюється їх термін служби.

Днями Sonnen опублікував результати випробувань, які свідчать про довговічність його продукції (повідомлення IWR).

У проведених лабораторних випробуваннях літій-залізо-фосфатні (LFP) акумуляторні елементи, які використовуються в його накопичувачах, що випускаються під маркою Sonnenbatterie, витримали 28000 циклів зарядки.

Більш того, після 28 тисяч циклів залізо-фосфатні акумуляторні елементи все ще мали 65% своєї початкової ємності. Тобто батареї не досягли кінця свого терміну служби, оскільки не було зафіксовано «раптового» падіння ємності, пояснив виробник.

Sonnen повідомляє, що він заряджав і розряджав акумуляторні елементи зі швидкістю (C-Rate), що дорівнює одиниці, і 100% глибиною розряду протягом восьми років. Це означає, що повна зарядка або розрядка проводилася протягом години. Таке випробування є більш серйозним навантаженням для батареї в порівнянні зі стандартним використанням в домашній системі накопичення енергії (СНЕ). У повсякденному житті потрібно менше однієї повної зарядки і розрядки в день - в Німеччині домашні накопичувачі виконують в середньому близько 250 циклів зарядки в рік. Іншими словами, 28 тисяч циклів - це 112 років роботи СНЕ в домашніх умовах.

«Досягнуті результати випробувань набагато перевищують очікуваний термін служби використовуваної нами акумуляторної технології», - повідомив керуючий директор Sonnen Олівер Кох. «Це важливий фактор якості для наших клієнтів. Ті, у кого є батарея з тривалим терміном служби,

отримує економічну вигоду протягом більш тривалого періоду часу ».

Компанія також протестувала свої модулі, що складаються з 200 акумуляторних осередків. Модулі зберегли 83% своєї ємності після 10 тис. циклів. Це перевершує гарантійні умови. Sonnen гарантує, що модулі збережуть 80% своєї початкової ємності після 10 тис. циклів.

2.4 Принцип роботи гібридної електростанції

Існує багато варіацій гібридних електростанцій. Вони є своєрідним енергетичним "конструктором", який можна складати в довільному порядку з різних видів ВДЕ залежно від особливостей їх розташування і наявності ресурсів. Головною метою має бути забезпечення прогнозованого і стабільного виробітку електроенергії.

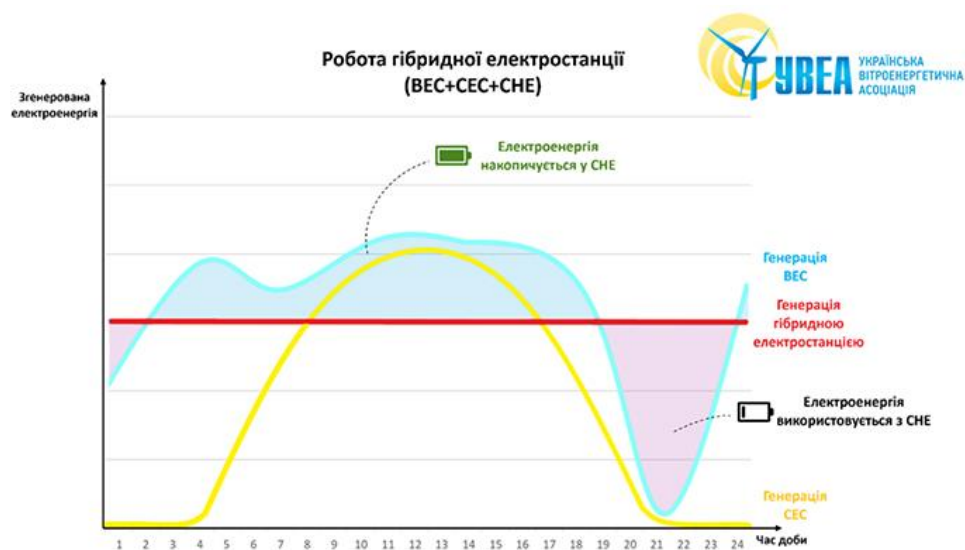


Рисунок 3.1 Робота гібридної електростанції

Один з варіантів гібридної електростанції. Станція складається із сонячних та вітрових потужностей і СНЕ

Зазвичай поєднують вітрову та сонячну генерації. Сонячна генерація активна вдень, проте вночі її виробництво падає до нуля. Вітрова генерація змінюється протягом доби, що дозволяє різним видам генерації

збалансовувати одна одну.

Такі станції можна будувати в будь-якому масштабі: і для потреб підприємства, і для постачання електроенергії до регіональної чи національної мереж. Належним чином налаштована гібридна електростанція гарантує високий рівень надійності та безпеки постачання електроенергії, що критично важливо в українських реаліях.

2.5 Розвиток система накопичення енергії в Україні

ДТЕК запустив першу в Україні промислову літій-іонну систему накопичення енергії (СНЕ) потужністю 1 МВт і ємністю 2.25 МВт·г.

Батарея встановлена в місті Енергодар, на майданчику Запорізької ТЕС і призначена для накопичення, зберігання та віддачі електроенергії в мережу, а також для надання послуг із забезпечення надійності енергосистеми України.

Як повідомляється, це пілотний проєкт ДТЕК для пошуку оптимальних моделей роботи СНЕ на різних сегментах енергетичного ринку країни.

«Цей проєкт став можливим завдяки міжнародному партнерству і співробітництву ДТЕК із провідними світовими компаніями, які займаються виробництвом систем накопичення енергії, – Honeywell і SunGrid. Перша промислова система накопичення енергії дасть старт для виведення енергетики України на новий технологічний рівень і наблизить синхронізацію нашої країни з європейською енергетичною системою ENTSO-E», – підкреслив генеральний директор ДТЕК Максим Тімченко.

Він також зазначив, що сьогодні ДТЕК виступає в ролі першовідкривача на ринку систем накопичення енергії в Україні. «З цим, безумовно, пов'язана велика відповідальність і великий обсяг роботи, але ми готові відкрито ділитися своєю експертизою і отриманим досвідом із державою, з іншими учасниками ринку для того, щоб прискорити енергетичну трансформацію України», – сказав генеральний директор ДТЕК.

«Сталий розвиток є ключовим напрямком для Honeywell. Зберігання енергії – дуже важлива його частина. Попит на системи накопичення енергії

продовжує рости. Це дозволяє досягти цілей по декарбонізації та використанню відновлюваних джерел енергії в усьому світі. За оцінками, до 2030 року до мережі буде підключено близько 350 ГВт акумуляторних батарей. Ми в Honeywell зараз знаходимося в унікальному становищі для вирішення сьогоденних викликів в області енергоменеджменту. Ми дуже пишаємося тим, що працюємо з ДТЕК, який фокусується на інноваціях і нових технологіях, щоб очолити трансформації енергетики України. ДТЕК – справжній першопроходець», – прокоментував Ерен Ергін (Eren Ergin), генеральний директор із відновлюваної енергетики та розподілених активів Honeywell Process Solutions.

Уже найближчим часом ДТЕК проведе сертифікацію системи для отримання статусу постачальника послуг із забезпечення резервів потужності для системного оператора.

Системи накопичення електроенергії є одним з найбільш швидкозростаючих секторів електроенергетики. За 10 років сектор виріс у 48 разів, середньорічні темпи зростання склали 47%. За прогнозами Bloomberg NEF, до 2040 року сумарна потужність накопичувачів перевищить 1 ТВт.

Однією з причин підвищення інтересу до СНЕ стало стрімке зростання частки поновлюваних джерел енергії (ВДЕ), який викликав дві проблеми. Перша: пік вироблення у ВДЕ не збігається з піком споживання, відповідно, в певні періоди з'являється надлишок потужності, що генерується. СНЕ дозволяють усувати добовий дисбаланс між виробленням ВДЕ і попитом на електроенергію і, тим самим, продовжувати збільшувати частку ВДЕ в балансі енергосистеми. Друга: різкі зростання і падіння потужності (зокрема, вітрових електростанцій) призводять до погіршення якості електроенергії, миттєвим змінам частоти і напруги, а також формують потребу в «швидкому» резерві потужності.

Висновки до розділу 2

Наведений в вище матеріал дозволяє зробити кілька важливих **висновків**:

По-перше, системи зберігання енергії вже мають економічний потенціал при виконанні деяких умов. Про це часто забувають, не враховуючи державні дотації для проектів зі зберігання енергії і економічні втрати від перебоїв в подачі електроенергії.

По-друге, при проектуванні системи зберігання енергії необхідно вирішити яка технологія (літій-іонна, свинцево-кислотна, лужна або інша) більше підійде для досягнення ваших цілей. Стратегія з використанням декількох технологій буде коштувати дорожче, але і дозволить вашій системі бути більш гнучкою.

Нарешті, найбільш важливий висновок полягає в наступному: розвиток ринку систем зберігання енергії може перевернути існуючу модель енергетичного забезпечення світу. Сьогодні нетрадиційна енергетика використовується в основному для задоволення миттєвої потреби в енергії. Системи ж зберігання енергії допомагають згладжувати різницю між періодами генерації енергії і навантаження на мережу. Згодом, відновлювані джерела енергії будуть все більше і більше замінювати звичні вугілля і газ.

3 ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ РОЗПОДІЛУ ЕНЕРГІЇ У КОМПЛЕКСІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ З НАКОПИЧУВАЧАМИ ЕНЕРГІЇ

3.1 Формування цільових функцій, завдання обмежень задачі, методика її розв'язання

Використання в системах електропостачання відновлюваних джерел енергії малої потужності у комплексі з накопичувачами енергії є одним із перспективних напрямів розвитку розподільних мереж [29–33]. При цьому необхідно, щоб потужності окремих типів відновлюваних джерел енергії малої потужності й ємності систем накопичення електричної енергії, які інтегровано у певну ділянку розподільної мережі було запроєктовано оптимальним чином, що дозволить із максимальною ефективністю задіяти місцеві та альтернативні енергетичні ресурси. Задача/питання полягає у визначенні граничного обсягу потужності відновлюваних джерел енергії малої потужності у комплексі з накопичувачами електроенергії, який не створить проблеми злагодженої роботи вже сформованої інтегрованої системи електропостачання. Постає задача визначення оптимального режиму роботи, а саме оптимізації процесів розподілу електричної енергії, такої системи відновлюваних джерел енергії малої потужності у комплексі з накопичувачами електроенергії, у якій мірі й яке джерело генерування чи систему накопичення енергії використовувати у довільний момент часу t доби.

Для вирішення задачі/питання оптимального розподілу навантаження між окремими джерелами генерування та системою накопичення електроенергії застосовується алгоритм розподілу ресурсів, інша назва метод яру, який ґрунтується на методі нелокального пошуку запропонованого М.Л. Цетліним та І.М. Гельфандом [34]. В описаній задачі/ситуації структура поверхні, яка відповідає функції багатьох змінних, які оптимізуються, викликає певну асоціацію з яром. Цільові функції у цій конкретній задачі є

багатоекстремальними. У загальному зрозуміло, що застосування таких локальних методів пошуку як градієнтна процедура та/або релаксаційна процедура та/або інших методів у цьому випадку призведе тільки до знаходження (визначення) локального екстремуму, в області якого була обрана стартова точка/позиція для оптимізації. На відміну від локальних методів, знаходження глобального екстремуму у принципі забезпечується при користуванні нелокальних методів [35, 36].

Екстремум – найменше та найбільше значення цільової функції на заданій множині. Virізняють: локальний – екстремум у деякому довільно малому околі даної точки (рис. 3.1) та глобальний – екстремум в усій розглядуваній області значень функцій (рис. 3.1).

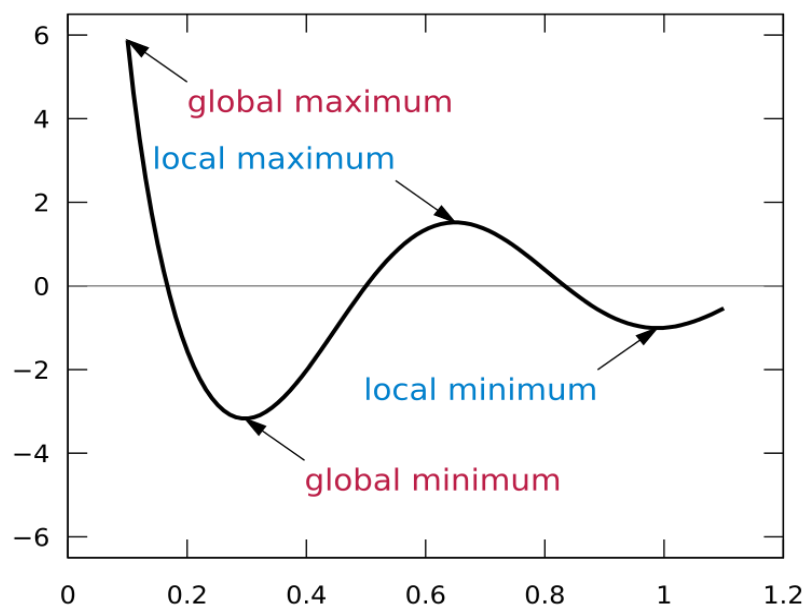


Рисунок 3.1 – Глобальний і локальний екстремуми [50]

Метод нелокального пошуку, який був запропонований М.Л. Цетліним та І.М. Гельфандом реалізується наступним чином [34]. З довільної точки A_1 , з використанням будь-якого методу/процедури локального пошуку (наприклад, одномірного або багатомірного пошуків) виконується декілька кроків, які пов'язані з рухом у сторону локального екстремуму (рис. 3.2) – на дно яру.

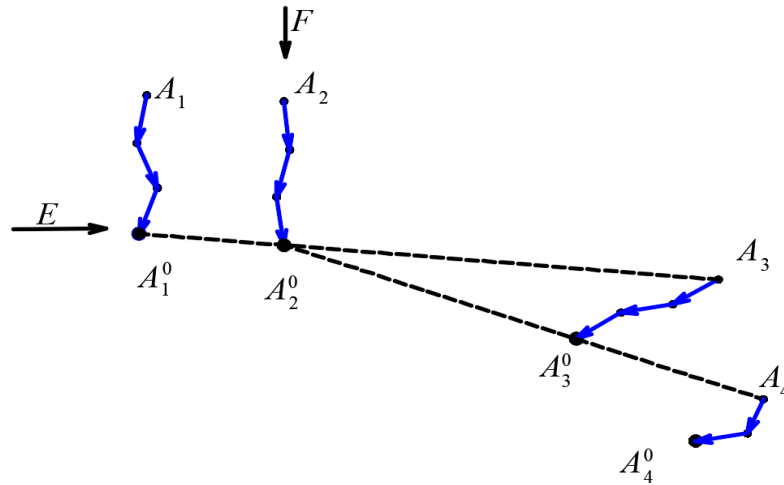


Рисунок 3.2 – Графічне представлення методу нелокального пошуку, який запропоновано М.Л. Цетліним та І.М. Гельфандом

Поки рух йде по спуску/схилу так званого яру, крутизна якого виявляється достатньо великою та кожна його наступна ітерація (крок) призводить до помітної зміни у плані «покращення» значення цільової функції. Однак у міру наближення до дна яру ступінь зміни («покращення») цільової функції зменшується. Локальний спуск продовжується до тих пір, поки відносне зменшення цільової функції не виявиться менше деякої наперед заданої величини, наприклад ε . Наступним чином, локальний пошук завершується у деякій точці A_1^0 , яка розташована на дні яру. Виконується наступний випадковий крок у напрямку відмінному від напрямку виконаного локального пошуку. При цьому величина цього кроку має суттєво перевищувати крок щойно проведеного локального пошуку. Отримуємо нову точку A_2 . З щойно заданої точки A_2 знову виконуємо локальний спуск, у процесі здійснення якого знаходиться точка A_2^0 , яка, аналогічно точці A_1^0 розташована на дні яру. Здійснюємо тепер великий крок/ітерацію вздовж прямої, яка з'єднує точку A_1^0 та точку A_2^0 , у сторону з меншим значенням цільової функції. Отримана при цьому нова точка A_3 обирається у якості початкової для реалізації чергової ітерації (процедури) локального спуску.

Поєднуючи між собою повільне локальне переміщення (рис. 3.3) зі швидким нелокальним переміщенням (рис. 3.4), метод добре досліджує

викривлення дна яру та дозволяє досить ефективно знайти точку глобального екстремуму, яка розташована саме на дні яру.

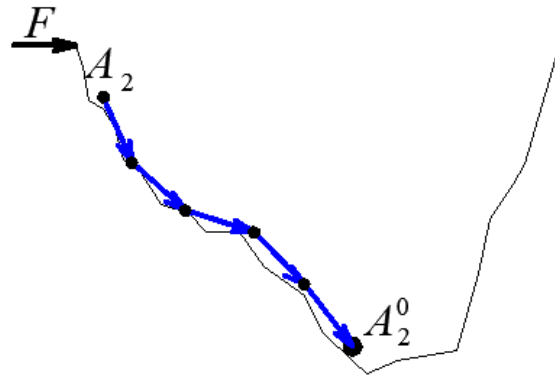


Рисунок 3.3 – Графічне представлення локального пошуку

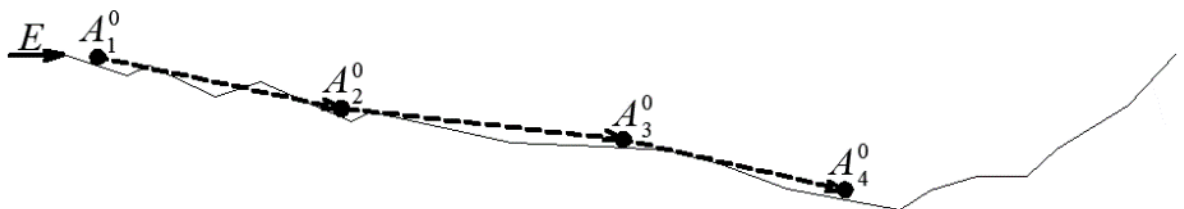


Рисунок 3.4 – Графічне представлення нелокального пошуку

У відповідності з описаним вище алгоритмом, процес оптимізації власне зводиться до послідовної реалізації процедур локального пошуку. При цьому можуть застосовуватися як ідеї (ідеології) багатомірного пошуку, так і одномірного пошуку. Окрім цього, при вибудові зазначених процедур необхідно врахувати також обмеження, у разі їх наявності.

Розглянемо ділянку розподільної мережі, що містить n відновлюваних джерел малої потужності у комплексі з накопичувачами електричної енергії, із початковими значеннями потужностей й накопичувач електричної енергії. Відновлювані джерела енергії мають змогу генерувати певне значення електричної потужності P_{it} , а система накопичення електричної енергії у разі потреби накопичувати та віддавати накопичену потужність групі споживачів, $i = 1, \dots, n$, t – період часу, та працюють на окрему виділену групу споживачів (наприклад, трансформаторні підстанції 10/0,4 кВ, житловий комплекс

багатоповерхових будинків, котеджне містечко), для яких необхідно повністю задовольнити сумарне електричне навантаження (рис. 3.5).

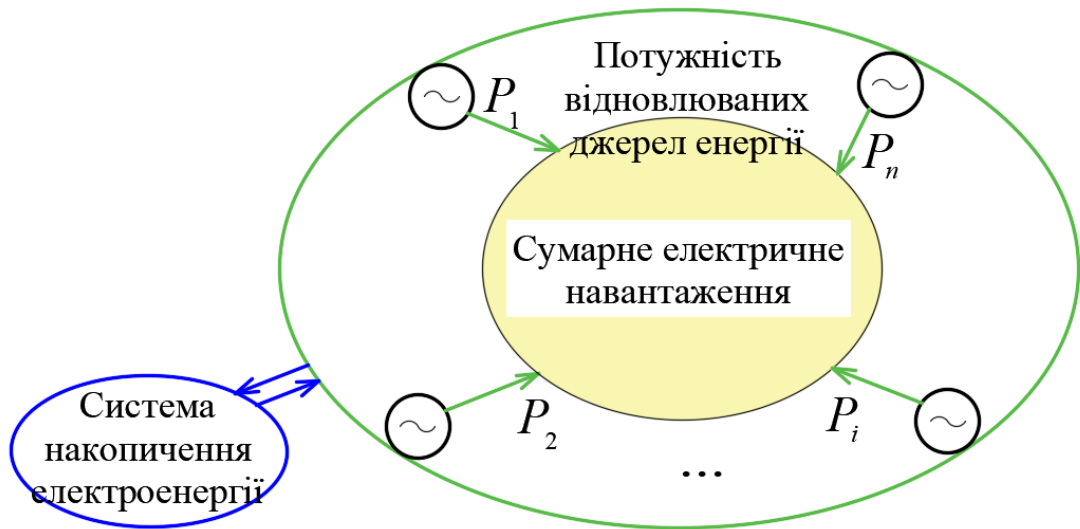


Рисунок 3.5 – Умовна схема оптимізаційної задачі

На початковому кроці/етапі вирішення задачі необхідно сформулювати та розумно обґрунтувати список цільових функцій, які на думку особи, що приймає рішення (ОПР), дозволяють забезпечити оптимальний розподіл навантаження між окремими відновлюваними джерелами малої потужності у комплексі з накопичувачами електричної енергії, та відповідно їх найбільш раціональне/оптимальне використання у конкретний момент часу t .

ОПР – це особа, яка незалежно від організаційної приналежності (сім'я, суспільство, організація тощо), володіє ексклюзивним правом остаточного свідомого вибору рішення з множини альтернатив, а також несе повну відповідальність за такий вибір. ОПР – це особа або група осіб, наділених правом остаточного вибору одного з можливих варіантів рішення конкретної задачі.

Передбачається, що оперативний розподіл навантажень між окремими відновлюваними джерелами малої потужності у комплексі з накопичувачами електричної енергії, здійснюється з урахуванням групи чинників різного характерів: соціального, економічного, технічного та екологічного, та інших.

Соціальні чинники, наприклад, появу нових додаткових робочих місць

при появі відновлюваних джерел малої потужності або накопичувача енергії, тощо.

При цьому, що економічна ефективність може оцінюватися за:

- експлуатаційними витратами;
- терміном/строком окупності;
- капітальними інтегральними витратами;
- коефіцієнтом використання встановленої потужності;
- тощо.

Технологічну особливість технологій генерації електроенергії відновлюваних джерел, що плануються до використання, пропонується оцінювати за наступними показниками:

- час пуску та виходу «на режим роботи»;
- діапазон регулювання потужності;
- можливість та/або ефективність роботи/експлуатації при частковому завантаженні;
- спроможність працювати як накопичувач енергії у разі такої потреби;
- сезонність використання: день-ніч, літо-зима тощо;
- необхідність у попередній підготовці задіяного енергоносія, наприклад, його обробка;
- потреба утилізації решток або залишків задіяного енергоносія;
- створення енергетичної інфраструктури для використання задіяного енергоносія;
- надійність, що враховує потенційно можливу кількість годин роботи протягом року;
- тощо.

Кожний із наведених показників технологічного характеру є нормованою/питомою величиною.

Екологічні чинники включають вплив на навколишнє середовище на всіх стадіях життєвого циклу проєкту: впровадження, експлуатація, згортування

(ландшафтні зміни, емісія шкідливих речовин під час експлуатації, утилізація решток або залишків задіяного енергоносія, вплив емісії CO_2 та інших шкідливих сполук, площа земельної ділянки й ін.).

Ризик впровадження конкретної технології відновлюваних джерел є важливим для коректного визначення її перспективності використання. Такий ризик характеризується вірогідністю появи небажаних ситуацій у технічному й економічному, соціальному й екологічному аспектах. Під ступенем ризику розуміється вірогідність появи небажаних наслідків ситуацій. Рівень ризику – це величина збитків при появі небажаних або непередбачених ситуацій.

У джерелі [37] було запропоновано двоетапний підхід до вирішення завдання пошуку перспективних шляхів розвитку електроенергетичної системи. Запропонований алгоритм дозволяє на першому етапі за всіма розглянутими місцями можливого розміщення електричних станцій обрати найбільш ефективні технології виробництва/генерації енергії, а на другому етапі визначити структуру генеруючих потужностей системи у цілому. Запропонований у [37] алгоритм дає можливість більш деталізовано розглянути всі види генеруючого обладнання, врахувати їх конструктивні особливості та структури, визначити тип і кількість. Це дозволяє враховувати географічні особливості території, гнучко та плавно змінювати умови моделювання завдання у залежності від цілей дослідження, значно спростити розмірність задачі на системному рівні.

Узагальнюючи вищезазначене, ціллю роботи є розробка методики розподілу навантаження між окремими генеруючими відновлюваними джерелами малої потужності у комплексі з накопичувачами електричної енергії на основі модифікованого багатокритеріального алгоритму розподілу ресурсів. У кінці буде задачі запропоновано механізм ефективного врахування її багатокритеріальності, неповноти та достовірності початкової інформації, можливості гнучкого завдання та зміни ступеня важливості/пріоритетності обмежень та цільових функцій, наприклад, шляхом використання лінгвістичних характеристик.

Потрібно обов'язково відмітити, що відсутні будь-які формальні підстави

для вибору лише одного якогось критерію при визначенні оптимального варіанту роботи комплексу відновлюваних джерел малої потужності з накопичувачами електричної енергії. Можливим кроком визначення оптимального режиму роботи такого комплексу відновлюваних джерел малої потужності з накопичувачами електричної енергії є трансформація цієї задачі на багатокритеріальний рівень. Процес прийняття найкращого рішення має обов'язково враховувати всі фактори, які були запропоновані ОПР, навіть те, що за своїм характером або природою та вимірністю/розмірністю вони є досить різношерстими.

У першу чергу у процесі прийняття найкращого рішення мають враховуватися економічні аспекти роботи комплексу відновлюваних джерел малої потужності з накопичувачами електричної енергії, технічні характеристики технологій обладнання, що використовується, екологічні та соціальні наслідки застосування відновлюваних джерел малої потужності з накопичувачами електричної енергії.

Наприклад цільові функції, що будуть характеризувати оптимальну роботу комплексу відновлюваних джерел малої потужності з накопичувачами електричної енергії, представлено нижче у лінгвістичній/словесній формі. Така форма представлення є зрозумілою навіть для недосвідчених користувачів або не спеціалістів у цій сфері.

Для прикладу, в якості переліку подібних цільових функцій можна вказати на такі:

1. Переважно використати відновлювані джерела малої потужності з мінімальним значенням числа годин використання максимуму $T_{\max}$. Це дасть змогу, у першу чергу, задіяти джерела енергії з обмеженими енергетичними ресурсами.

2. У першу чергу задіяти відновлювані джерела малої потужності з мінімальним питомим значенням експлуатаційних витрат, що характеризує економічність роботи комплексу відновлюваних джерел малої потужності з накопичувачами електричної енергії.

3. Переважно задіяти відновлювані джерела малої потужності з мінімальним рівнем шкідливих викидів (емісії) в атмосферу.

Очевидно, що у певних конкретних умовах список цільових функцій має бути обов'язково розширено та/або доповнено. Оскільки до складу комплексу відновлюваних джерел малої потужності з накопичувачами електричної енергії входять технологічні установки як із здатністю акумулювання енергії, так і без такої можливості, то було б доцільно сформулювати ще одну цільову функцію – перевагу відати використанню джерел енергії (у цьому конкретному випадку система накопичення енергії) з можливістю накопичення/віддачі електричної енергії групі споживачів.

При цьому форма подачі кожної функції цільової функції буде мати наступний вигляд

$$F_{jt}(\mathbf{P}) = \sum_{i=1}^n a_{ji} P_{it},$$

де $j = 1, \dots, m$ – загальна кількість запропонованих цільових функцій;

n – кількість факторів (у даному випадку відновлюваних джерел малої потужності з накопичувачами електричної енергії);

t – конкретний період часу (наприклад, 17:00).

Логічним є те, що в окремих цільових функціях параметр a_{ji} буде відповідно приймати питоме або значення експлуатаційних витрат, або значення числа годин використання максимуму $T_{\max i}$, або рівень шкідливих викидів в атмосферу тощо.

Зрозуміло, що у процесі вирішення цієї задачі окремі з наведених, наприклад, вище, цільових функцій будуть потребувати виконання процесу максимізації, а інші – мінімізації.

У цьому випадку задачу математично можна показати наступним чином. Необхідно для окремих періодів часу t визначити

$$F_{jt}(\mathbf{P}) \rightarrow \min_{\mathbf{P} \in L}, \quad j = 1, \dots, m, \text{ де } \mathbf{P} = \{P_1, \dots, P_i, \dots, P_n\}. \quad (3.1)$$

де m – кількість запропонованих цільових функцій;

за умови, що $L = \{\mathbf{P} \in R^n\}$, $L \subseteq \Omega$, де Ω – область рішень, які є оптимальними за Парето [38, 39].

Оптимум Парето – це економічний термін, який описує такий стан системи, при якому значення кожного окремого критерію, що описує стан системи, не може бути покращено без погіршення становища інших елементів. Тобто отримане рішення за (3.1) не можна покращити один критерій без погіршення іншого критерію. Або навпаки – не можна погіршити один критерій без покращення іншого критерію

Зазначені вище запропоновані цільові функції математично можна представити наступним чином, наприклад:

– у першу чергу задіяти відновлювані джерела малої потужності з накопичувачами електричної енергії (фактори) з мінімальним питомим значенням експлуатаційних витрат

$$F_1(\mathbf{P}) = a_{11}P_1 + a_{12}P_2 + \dots + a_{1i}P_i + \dots + a_{1n}P_n \rightarrow \min ,$$

де $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1i}, \dots, a_{1n}$ відповідають питомому значенню експлуатаційних витрат на 1 кВт·год згенерованої електричної енергії характерному для певної технологічної установки генерації енергії комплексу відновлюваних джерел малої потужності з накопичувачами електричної енергії.

– задіяти відновлювані джерела малої потужності з накопичувачами електричної енергії (фактори) з мінімальним значенням числа годин використання максимуму $T_{\max}$

$$F_2(\mathbf{P}) = a_{21}P_1 + a_{22}P_2 + \dots + a_{2i}P_i + \dots + a_{2n}P_n \rightarrow \min ,$$

де $a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2i}, \dots, a_{2n}$ відповідають значенню числа годин використання максимуму $T_{\max}$, характерному для певної технологічної установки генерації енергії комплексу відновлюваних джерел малої потужності з накопичувачами електричної енергії.

Оскільки у якості одного з можливих джерел генерування розглядається система централізованого електропостачання, то відповідний коефіцієнт для цього відновлювані джерела малої потужності з накопичувачами електричної енергії приймається рівний 8760 год.

– задіяти відновлювані джерела малої потужності з накопичувачами електричної енергії (фактори) з мінімальним рівнем шкідливих викидів у атмосферу

$$F_3(P) = a_{31}P_1 + a_{32}P_2 + \dots + a_{3i}P_i + \dots + a_{3n}P_n \rightarrow \min ,$$

де $a_{31}, a_{32}, \dots, a_{3i}, \dots, a_{3n}$ відповідають значенню шкідливих викидів в атмосферу характерному для певної технологічної установки генерації енергії комплексу відновлюваних джерел малої потужності з накопичувачами електричної енергії.

В якості обмежень задачі можна розглянути наступні:

1) технічні можливості окремих відновлюваних джерел малої потужності з накопичувачами електричної енергії

$$P_{it}^{\min} \leq P_{it} \leq P_{it}^{\max} , \quad (3.2)$$

де P_{it} – відповідна доля електричного навантаження, яка надається i -м відновлюваним джерелом малої потужності з накопичувачами електричної енергії, у кожний період часу t ;

$P_{it}^{\min}$, $P_{it}^{\max}$ – відповідні обмеження за електричною потужністю для кожного відновлюваного джерела малої потужності з накопичувачами

електричної енергії, яке розглядається у кожний період часу t ;

2) так і умова обов'язкового виконання балансу генерація-споживання з урахуванням за необхідності потенціалу систем накопичення електричної енергії і втрат потужності для комплексу відновлюваних джерел малої потужності з накопичувачами електричної енергії, яка розглядається

$$\sum_{i=1}^n P_{it} = A_t, \quad (3.3)$$

де A_t – сумарне необхідне навантаження комплексу відновлюваних джерел малої потужності з накопичувачами електричної енергії у кожний період часу t , при відсутності потенціалу систем накопичення електричної енергії кожного джерела енергії та нехтуючи втратами потужності для ділянки мережі, яка розглядається.

У загальному випадку значення P_{it} та A_t формуються у процесі моделювання режимів роботи систем електропостачання, до складу якої входить комплекс відновлюваних джерел малої потужності з накопичувачами електричної енергії.

Припускаємо, що за наявності у структурі комплексу відновлюваних джерел малої потужності з накопичувачами електричної енергії альтернативних джерел енергії (сонячних, вітрових електричних станцій, тощо), їх потенціал має бути використаний у кожен момент часу у повному обсязі й у першу чергу. Тобто у першу чергу використовувати альтернативні поновлювані джерела енергії, які генерують «зелену» енергію, а ніж ті, які працюють на викопному шкідливому виді палива.

Також, при експлуатації відновлюваних джерел малої потужності з накопичувачами електричної енергії можуть виникати ситуації пов'язані з їх поточним незадовільним технічним станом обладнання, запланованим або не запланованим технічним обслуговуванням або профілактичним ремонтом. Це у свою чергу призводить до використання відповідних додаткових цільових функцій, які будуть потрібні для конкретних проміжків часу (наприклад, на

час ремонту), та дозволять враховувати певні обмеження на режим роботи ряду відновлюваних джерел малої потужності з накопичувачами електричної енергії. У цьому випадку значення коефіцієнтів a_{ji} відповідної нововведеної цільової функції можуть задаватися на основі оцінок, що задаються ОПР. Наприклад, можна прийняти $a_{ji} = 1$, у разі відсутності будь-яких обмежень за навантаженням i -го відновлюваного джерела малої потужності, $a_{ji} = 0,6 - 0,8$ при небажаності використання i -го відновлюваного джерела малої потужності у забезпеченні навантаження споживачів у t -му режимі, $a_{ji} = 0,2 - 0,4$ – за крайньої небажаності використання i -го відновлюваного джерела малої потужності у t -му режимі. Логічним є те, що у даному випадку новосформована наступним чином цільова функція вимагатиме процедури максимізації.

3.2 Урахування багатокритеріальності при постановці задачі оптимального розподілу навантажень між джерелами розосередженої генерації/накопичувачами

Проблема багатокритеріальної оптимізації вперше виникла саме в економічних дослідженнях. Проте у подальшому стало очевидним, що подібна проблема чи задача дуже часто має місце й у технічних дослідженнях. Певним чином це стосується й задач в електроенергетиці, які у переважній більшості мають комплексний характер, тому що пов'язані одночасно зі зміною втрат потужності (активної та реактивної), втрат електричної енергії (активної та реактивної), показників надійності електропостачання, параметрів якості електричної енергії, пропускної здатності елементів електричних мереж тощо. Оцінити та врахувати всі перераховані вище фактори одним єдиним узагальненим уніфікованим критерієм є не можливим (найчастіше). У таких ситуаціях використання додаткових критеріїв дає можливість ефективно зменшити область невизначеності фінальних рішень, проте обумовлює складність математичних моделей, які можуть з належним

ступенем адекватності показати процес, що розглядається, у тому числі та його багатокритеріальний характер. У такій ситуації постановка задачі оптимізації або подальше прийняття рішення пов'язано зі значними складнощами, причому концептуального характеру, основна з яких – обґрунтований вибір принципу оптимальності постановки задачі. Сформував один єдиний принцип оптимальності для задач багатокритеріальн

ого прийняття рішень не є можливим, тому що поняття векторного оптимуму не є визначеним. Єдиний можливим рішенням вирішення цієї задачі (саме постановки задачі) є звуження області Парето [38]. Оптимум Парето – економічний термін, який описує такий стан системи, при якому значення кожного окремого критерію, що описує стан системи, не може бути покращено без погіршення становища інших елементів. Множина станів системи, оптимальних за Парето, називають «множиною Парето», «множиною альтернатив, оптимальних в сенсі Парето», або «множиною оптимальних альтернатив». Ситуація, коли досягнута ефективність за Парето – це ситуація, коли всі вигоди від змін вичерпані.

При розробці методів розв'язання задачі постановки багатокритеріальної оптимізації, які практично всі носять евристичний характер, потрібно розв'язати наступний перелік принципових проблем [40]. По-перше, у цих задачах локальні критерії найчастіше мають різну фізичну природу та, як наслідком цього це є різні масштаби вимірювання. Це не дозволяє виконати безпосереднє порівняння якості одержуваних результатів за кожним із запропонованих критерієм. Це все призводить до того, що спочатку необхідно здійснити нормалізацію локальних критеріїв, тобто привести їх вимірність до єдиного, найчастіше безрозмірного, масштабу вимірювання (так би мовити привести до спільного знаменника). По-друге, принцип оптимальності у цих задачах формально має дати відповідь на запитання, в якому сенсі отримане оптимальне рішення є кращим за всі інші допустимо можливі рішення, та, наступним чином, має сформулювати закони/правила пошуку цього рішення. По-третє, у результаті аналізу фізичного змісту багатьох практичних задач,

що з'ясовується, різні локальні критерії мають не однакову вагомість, так би мовити важливість, з точки зору досягнення кінцевого позитивного результату. Тому, той факт, що деякі локальні критерії мають більш високий або вищий пріоритет стосовно відношення до інших, необхідно обов'язково враховувати при виборі принципу оптимальності та визначенні області можливих рішень, віддаючи певну перевагу тим чи іншим показникам.

Недостача ясності у понятті «оптимальне рішення» є основною заявленою складністю у рішенні багатоцільових задач. Досвід застосування на практиці процедур багатокритеріального прийняття рішень при розгляді досить таки широкого кола задач [41], переконливо показав обґрунтованість та ефективність застосування для цих вищезазначених цільових функцій методу, який у свій час було запропоновано Заде та Беллманом [42, 43]. Метод оснований на апараті теорії нечітких множин.

Позитивними сторонами запропонованого методу є:

- одразу отримання рішень, які лежать в множині Парето, що гарантовано є остаточною успішним рішенням задачі;
- однозначне та досить зрозуміле визначення критерію оптимальності, як максимальний рівень досягнення (виконання) всіх цільових функцій;
- можливість одночасного урахування як якісних, так і кількісних факторів, їх можлива диференціація за ступенем важливості.

Застосування запропонованого Заде та Беллманом методу для прийняття успішних рішень у нечіткому оточуючому середовищі [43-45] відповідає принципу гарантованого позитивного результату та забезпечує конструктивні лінії при отриманні гармонійних рішень. Запропонований Заде та Беллманом підхід є досить ефективним із обчислювальної точки зору. Так само запропонований підхід є досить вимогливим із точки зору отримання рішень з множини Парето методом аналізу багатокритеріальних моделей [46, 47].

У відповідності до даного запропонованого підходу кожна цільова (оціночна) функція $F_j(X)$, $j = 1, \dots, m$ заміняється нечіткою множиною виду

або нечіткою цільовою функцією

$$A_k = [X, \mu_{A_k}(X)], \quad X \in L, \quad k = 1, \dots, m,$$

де $\mu_{A_k}(X)$ являє собою функцію належності нечіткої функції A_k [43, 44];

L – область компромісів.

Функція належності – функція, яка ставить у відповідність кожному значенню X заданої змінною деяке число з інтервалу $[0; 1]$:

$$\mu_{A_k}(X): X \rightarrow [0; 1].$$

Це число, що називається ступеню належності, характеризує ступінь, з якою елемент X належить нечіткій множині A_k .

Нечітке рішення задачі D формується наступним чином [42] $D = \bigcap_{k=1}^m A_k$, у результаті чого отримаємо таку функцію належності

$$\mu_D(X) = \min_{k=1, \dots, m} \mu_{A_k}(X), \quad X \in L. \quad (3.4)$$

Це отримане рішення можна інтерпретувати як нечітко сформульовану інструкцію. При такому представленні лишається невизначеність яку ж альтернативу необхідно обрати, тобто треба подолати цю невизначеність. Існують різні способи урахування рівня цієї невизначеності. Найпоширеніший спосіб у свій час запропонував Заде [48], який полягає у виборі альтернативи, що має максимальний ступінь належності до нечіткого рішення, тобто альтернатива визначається за такої умови:

$$\max \mu_D(X) = \max_{X \in L} \min_{k=1, \dots, m} \mu_{A_k}(X). \quad (3.5)$$

Такі альтернативи називають максимізуючими.

Наступним чином, точка, якій відповідає максимальне значення функції належності, приймається у якості остаточного рішення при реалізації процесу оптимізації

$$X^0 = \arg \max_{X \in L} \min_{k=1, \dots, m} \mu_{A_k}(X). \quad (3.6)$$

Досить принциповим питанням при розв'язанні задачі прийняття позитивних рішення на підставі представленого підходу, є формування такої функції належності $\mu_{A_k}(X)$. Очевидно, що сформовані функції належності мають адекватно відображати характер відповідних оціночних (цільових) функцій. Отже, необхідно, щоб у сформульованих задачах, де цільова функція підлягає мінімізації, функцію належності мала великі значення при менших значеннях оціночних функцій. А у точці мінімуму досягала своєї максимальної величини, яка рівна одиниці. Одночасно, у задачах максимізації функція належності має приймати значення рівним одиниці при максимальному значенні оціночної функції.

Описаним умовам, зокрема, відповідають такі функції належності, що формуються наступним чином:

- для цільових функцій, що підлягають максимізації

$$\mu_{A_k}(X) = \left[\frac{F_j(X) - \min_{X \in L} F_j(X)}{\max_{X \in L} F_j(X) - \min_{X \in L} F_j(X)} \right]^{\lambda_j}, \quad (3.7)$$

- для цільових функцій, що підлягають мінімізації

$$\mu_{A_k}(X) = \left[\frac{\max_{X \in L} F_j(X) - F_j(X)}{\max_{X \in L} F_j(X) - \min_{X \in L} F_j(X)} \right]^{\lambda_j}, \quad (3.8)$$

де λ_j – ступінь, що відображає міру важливості k -ї оціночної функції та

визначається, найчастіше експериментальним шляхом; на початковому етапі можна прийняти рівним одиниці.

3.3 Реалізація процедури багатокритеріальності при постановці задачі оптимального розподілу навантажень між джерелами розосередженої генерації/накопичувачами

Нижче у цьому підрозділі продемонструємо, яким чином, представлені вище у підрозділі ідеї реалізуються у методі багатокритеріального розподілу навантаження між джерелами розосередженої генерації/накопичувачами для ділянки розподільної мережі. Зазначена задача формується у вигляді такої моделі (3.1) з урахуванням наступних обмежень (3.2) та (3.3).

Подальший аналіз формування задачі здійснюється на основі алгоритму багатокритеріального розподілу ресурсів [48], що включає у себе наступні кроки,

що виконуються для кожного заданого періоду часу доби t .

1. Вирішуються наступні задачі максимізації $F_j(\mathbf{P}) \rightarrow \max_{\mathbf{P} \in L}$ та мінімізації $F_j(\mathbf{P}) \rightarrow \min_{\mathbf{P} \in L}$, $j = 1, \dots, m$ незалежно по кожній з окремих цільових функцій (3.1) з обов'язковим урахуванням наступних обмежень (3.2) і (3.3), що дозволяє обрахувати точки з множини допустимих рішень, координати яких відповідають певному розподілу потужностей по кожному i -му джерелу РГ/накопичувачу, у певний момент часу доби $\mathbf{P}_{A_k}^- = \{P_1^-, \dots, P_i^-, \dots, P_n^-\}$, $\mathbf{P}_{A_k}^+ = \{P_1^+, \dots, P_i^+, \dots, P_n^+\}$, $i = 1, \dots, n$, $k = 1, \dots, m$.
2. Формується наступний вектор $\Lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_j, \dots, \lambda_m)$, $j = 1, \dots, m$ за наявності відповідної необхідної інформації відносно важливості окремих цільових функцій (критеріїв).
3. У відповідності з виразами (3.7) та (3.8) згідно характеру кожної цільової функції визначаються значення функцій належності для всіх

отриманих на попередньому кроці 2 точок $\mathbf{P}_{A_k}^- = \{P_1^-, \dots, P_i^-, \dots, P_n^-\}$,

$$\mathbf{P}_{A_k}^+ = \{P_1^+, \dots, P_i^+, \dots, P_n^+\}, i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, m.$$

4. Формується послідовність $\{\mathbf{P}_{A_k}\}$, $k = 1, \dots, m$, із точок $\mathbf{P}_{A_k}^-$, якщо цільова функція підлягає мінімізації, або $\mathbf{P}_{A_k}^+$, якщо така цільова функція підлягає максимізації (отриманих у результаті виконання кроку 1 цього запропонованого методу). Сформована наступним чином послідовність має обов'язково володіти такою зазначеною властивістю:

$\min_{1 \leq k \leq m} \mu_{A_k}(\mathbf{P}) \geq \min_{1 \leq k \leq m} \mu_{A_{k+1}}(\mathbf{P})$, $k = 1, \dots, m - 1$ (Рисунок 3.6). Відповідні значення функцій належності були визначені на етапі виконання кроку 3 цього запропонованого методу.

5.

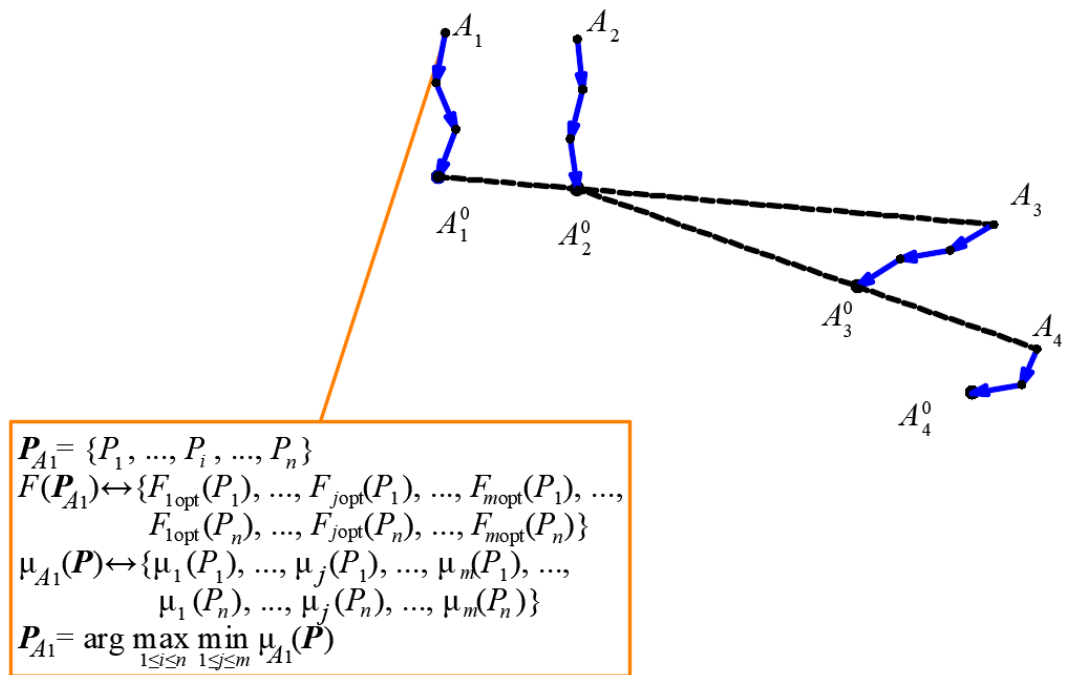


Рисунок 3.6 – Визначення початкової точки першого етапу локального пошуку

6. Початковою точкою, з якої необхідно виконати локальний пошук є така точка $\mathbf{P}_{A_k} = \{P_{1k}, \dots, P_{ik}, \dots, P_{nk}\}$, $k = 1$. У запропонованому методі локальний пошук виконується з використанням алгоритму покоординатного спуску з оптимізацією координати. Можна використати будь-який інший

метод локального пошуку. Відбувається покрокова попарна різноспрямована зміна координат з попередньо обраним кроком дискретності ΔP з урахуванням наступних обмежень (3.2) та (3.3). При цьому крок вважається успішним, якщо виконується наступна умова: $\mu_{A'_k}(\mathbf{P}) > \mu_{A_k}(\mathbf{P})$, $k = 1$, та не успішним за наступної умови – $\mu_{A'_k}(\mathbf{P}) \leq \mu_{A_k}(\mathbf{P})$, $k = 1$ (Рисунок 3.7). У процесі реалізації цього кроку розрахунків визначається така точка $\mathbf{P}_{A_k}^0 = \{P_{1k}^0, \dots, P_{ik}^0, \dots, P_{nk}^0\}$, $k = 1$ із відповідним значенням функції належності $\mu_{A_k}(\mathbf{P})$, $k = 1$. Логічним є те, що рух іде по схилу яру. За його відповідної крутизни кожний наступний крок призводить до помітної зміни цільової функції – покращення. З мірою наближення до дна яру позитивна зміна цільової функції зменшується. Локальний спуск продовжується до тих пір, поки позитивна зміна значень функцій належності не виявиться менше деякого завчасно заданого порогу ϵ_μ .

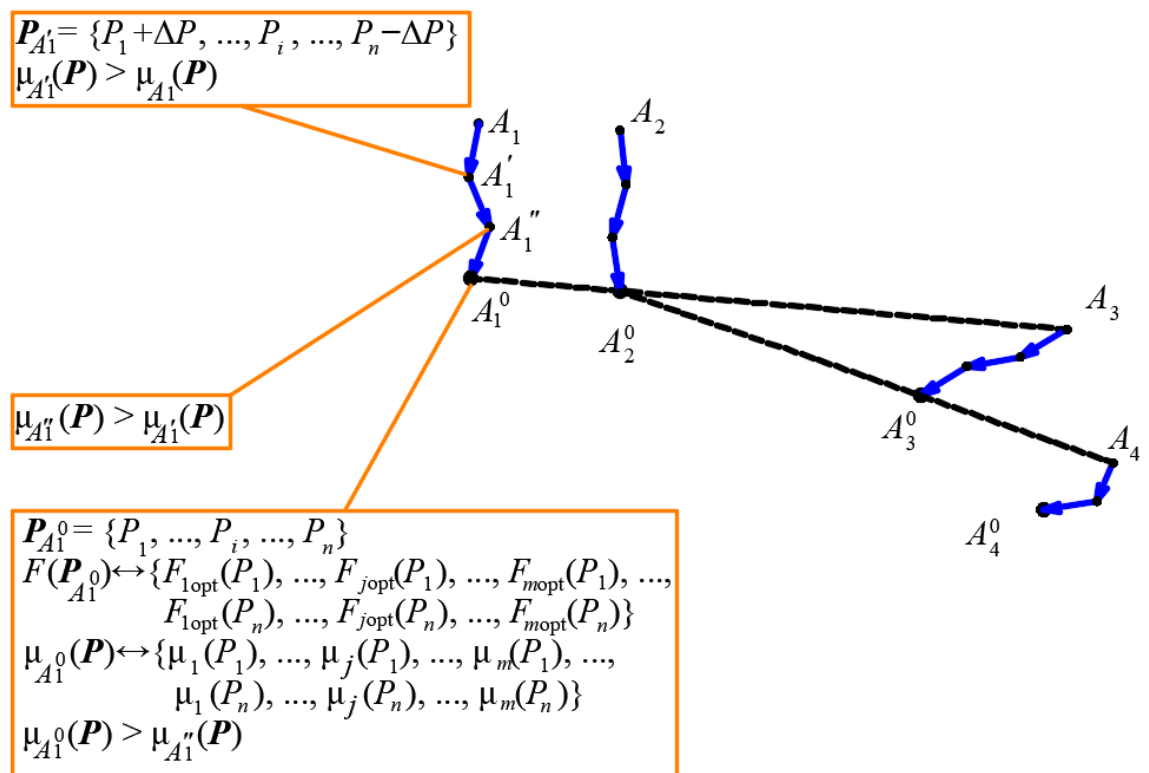


Рисунок 3.7 – Визначення кінцевої точки першого етапу локального пошуку

7. Наступний локальний пошук виконують з такої точки

$P_{A_{k+1}} = \{P_{1k+1}, \dots, P_{ik+1}, \dots, P_{nk+1}\}$, яка вибирається з наступної послідовності

$\{P_{A_k}\}$, $k = 1, \dots, m$, із таких точок $P_{A_k}^-$, якщо цільова функція підлягає

мінімізації, або $P_{A_k}^+$, якщо цільова функція підлягає максимізації, визначеної

на кроці 4 цього запропонованого методу. У результаті цього пошуку ми

отримуємо наступну точку $P_{A_{k+1}}^0 = \{P_{1k+1}^0, \dots, P_{ik+1}^0, \dots, P_{nk+1}^0\}$ з відповідною

такою функцією належності $\mu_{A_{k+1}}^0(P)$ (Рисунок 3.8).

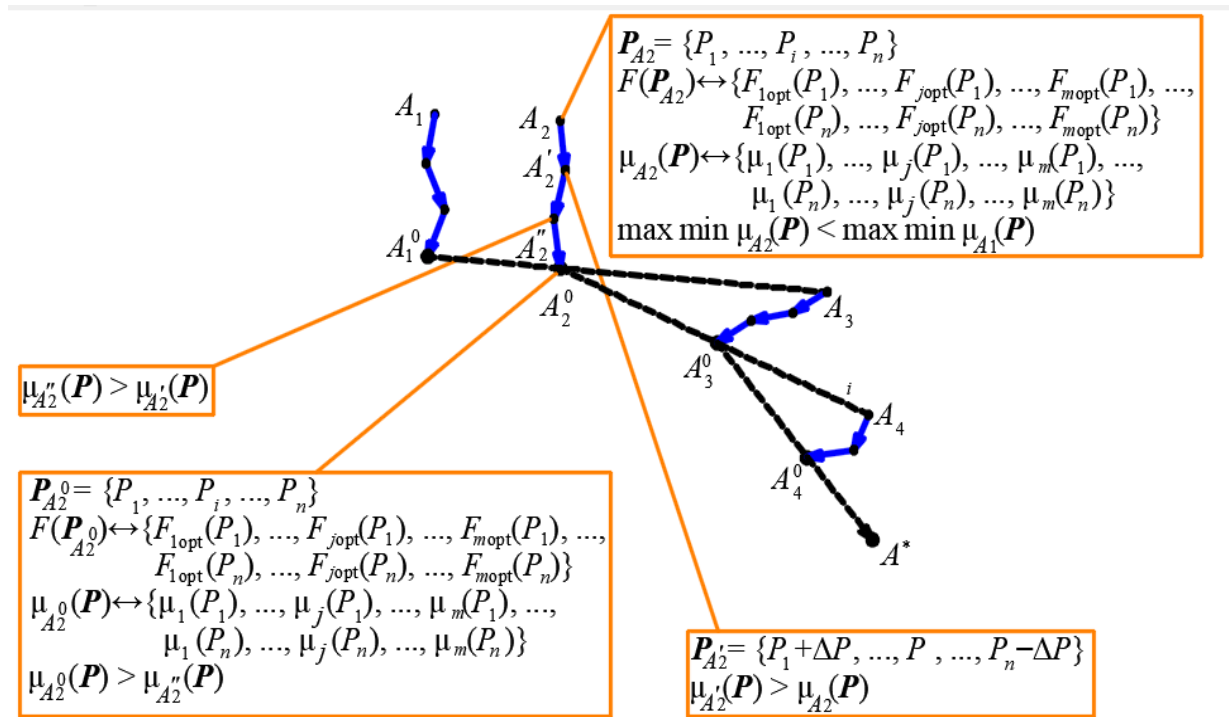


Рисунок 3.8 – Другий етап локального пошуку

8. Виконуємо такий подальший аналіз:

якщо умова $P_{A_k}^0 \neq P_{A_{k+1}}^0$, $k=1$, то переходимо до кроку 8 цього запропонованого методу;

якщо умова $P_{A_k}^0 = P_{A_{k+1}}^0$, $k=1$, для $k \neq m-1$, то повертаємося до здійсненого кроку 6 запропонованого методу, приймаючи $k = k+1$;

якщо умова $P_{A_k}^0 = P_{A_{k+1}}^0 = P_{A^*}$, $k=1$, то слідуємо до кроку 11 запропонованого методу, вважаючи, що дане отримане рішення

$P_{A_k}^0 = \{P_{1k}^0, ..., P_{ik}^0, ..., P_{nk}^0\}$, $k = 1$, є оптимальним.

9. Сполучаємо точки $P_{A_k}^0$ і $P_{A_{k+1}}^0$, $k = 1$ та проводимо лінію вибираючи один із трьох можливих подальших напрямків руху (Рисунок 3.9). Серед них (якщо всі вони є прийнятними з точки зору наступних обмежень (3.2) та (3.3)), обирається точка $P_{A_{k+2}}$ для подальшого руху, що відповідає умові наступній $P_{A_{k+2}} = \arg \max \{\min \mu_{A_1^1}(P); \min \mu_{A_2^2}(P); \min \mu_{A_3^3}(P)\}$, і яка визначає подальший напрям для реалізації процедури успішного пошуку.

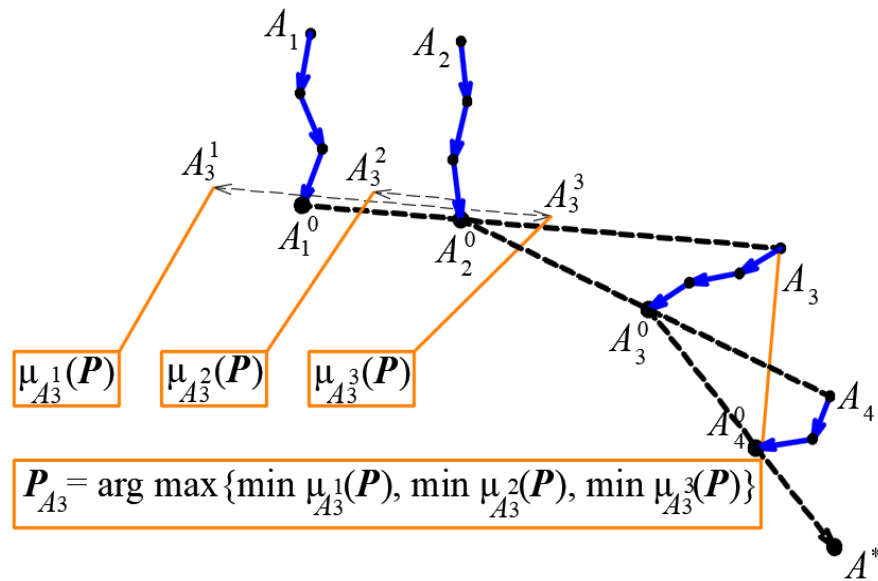


Рисунок 3.9 – Вибір подальшого напрямку оптимізації

10. Вддовж проведеної лінії, що з'єднує такі точки $P_{A_k}^0$ і $P_{A_{k+1}}^0$, $k = 1$, у напрямку визначеному на попередньому кроці, робимо відносно великий крок. Отримана при цьому така точка $P_{A_{k+2}} = \{P_{1k+2}, ..., P_{ik+2}, ..., P_{nk+2}\}$ виявляється на схилу яру, та береться у якості початкової для чергової реалізації процедури локального пошуку, у результаті виконання якої отримуємо наступну точку $P_{A_{k+2}}^0 = \{P_{1k+2}^0, ..., P_{ik+2}^0, ..., P_{nk+2}^0\}$.

11. Виконуємо подальший аналіз: якщо різниця значень характеристик трьох останніх знайдених таких точок $P_{A_k}^0$, $P_{A_{k+1}}^0$ та $P_{A_{k+2}}^0$, відповідно $\min \mu_{A_k^0}(P)$, $\min \mu_{A_{k+1}^0}(P)$ і $\min \mu_{A_{k+2}^0}(P)$, $k = 1$, менше ніж заздалегідь задана

точність розрахунків ε_{Δ} , то переходимо до кроку 11 запропонованого методу, прийнявши, що $P_{A^*} = \arg \max \{ \min \mu_{A_k^0}(P); \min \mu_{A_{k+1}^0}(P); \min \mu_{A_{k+2}^0}(P) \}$ (Рисунок 3.10); інакше переходимо до здійсненого вже кроку 8 запропонованого методу, приймаючи таке $k = k + 1$.

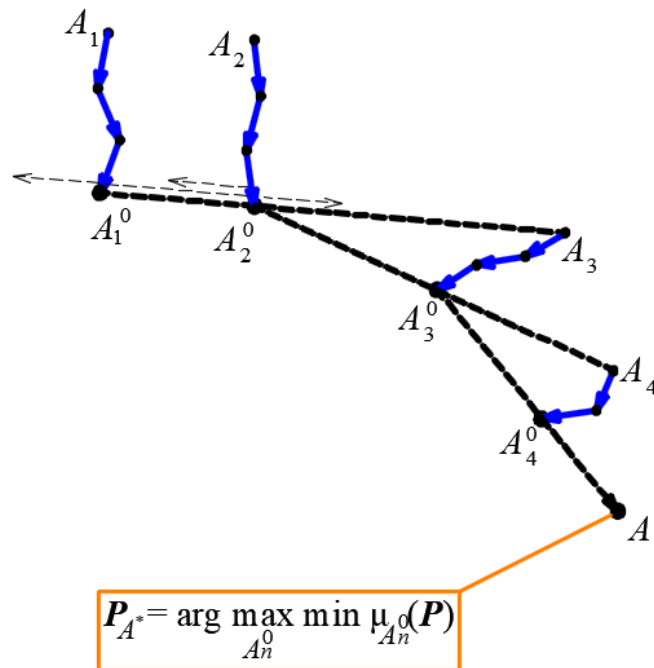


Рисунок 3.10 – Пошук оптимального рішення

12. Отримане рішення є оптимальним. При цьому дане оптимальне рішення належить як множині допустимих рішень, так і множині компромісів, що дозволяє його розглядати у якості кінцевого.

Висновки до розділу 3

У роботі запропоновано метод, який дозволяє запропонувати оптимальний режим роботи в системах з локальними джерелами генерування та накопичувачами електричної енергії у реальному часі. Запропонований метод передбачає розподіл необхідного споживачам (групі споживачів) сумарного навантаження між локальними джерелами енергії та накопичувачами у якийсь заданий момент часу t доби. Запропонований метод

передбачає врахування сукупності групи факторів різноманітного характеру, наприклад: технічних, економічних, екологічних, соціальних. Врахування групи факторів з метою забезпечує максимальну обґрунтованість успішного рішення та достатню ефективність прийнятих рішень.

Цільові функції у запропонованому методі представлено у лінгвістичній формі, що є досить простим і зрозумілими для користувачів. Список цільових функцій є відкритим і може доповнюватися іншими необхідними, які на думку ОПР дозволяють забезпечити оптимальний розподіл необхідного навантаження між локальними джерелами енергії.

4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ

4.1 Поняття стартапу

Стартапи - це молоді компанії, засновані для розробки унікального продукту або послуги, виведення його на ринок та створення чарівного та незамінного для клієнтів. [51]. Класифікація стартапів відбувається за різними критеріями відповідно до характеру ринку. Найчастіше такі проекти розробляються в технічних галузях. За даними статистики, впровадження розроблених стартап-проектів складає лише 10–20 % від загальної кількості.

Основними характеристиками стартапів є:

- інноваційність;
- швидкий темп розвитку;
- високий ризик банкрутства.

Для успішного стартапу необхідно, чітко сформована ідея, яка дасть змогу витримати конкуренцію на загальному ринку. Наступною характерною складовою є аналіз ринку, для розуміння потреб користувачів і задля подальшого залучення їх до проєкту, який розробляється.

4.2 Опис ідеї проєкту

Пропонується розробка програмного забезпечення, яке дасть змогу споживачу отримати імітацію часового графіка задля оптимального використання джерел енергії, які використовуються в енергокомплексі (енергосистемі). Тобто, даний додаток дасть змогу обирати, в яку годину яке

джерело енергії вигідніше використовувати з врахуванням різноманітних критеріїв.

Наприклад, у таблиці 4.1 наведено основні характеристики параметрів, які використовуватимуться в програмі.

Таблиця 4.1 – Перелік параметрів, які використовуються в додатку

Складові енерго-комплексу	Критерії				Максимальна потужність
	Технічні	Економічні	Соціальні	Екологічні	
СЕС	– діапазон регулювання потужності; – можливість та/або ефективність експлуатації при частковому завантаженні; – спроможність працювати як накопичувач енергії;	– строк окупності; – коефіцієнт використання; – експлуатаційні витрати; – капітальні витрати; – тощо.	появу додаткових робочих місць при появі локального джерела енергії, тощо	вплив на навколишнє середовище на всіх стадіях життєвого циклу продукту; впровадження, експлуатація, згортування (ландшафтні зміни, емісія шкідливих речовин під час експлуатації, утилізація решток, площа земельної ділянки й ін.).	Обмеження задачі
БЕС	– необхідність у попередній підготовці задіяного енергоносія; – потреба утилізації решток;				
Система накопичення					

Програма реалізації запропонованого методу побудована наступним чином. Спочатку визначають усі джерела енергії (компоненти енергокомплексу), які з точки зору ОПР доцільно було б використовувати для покриття потреб споживачів цього комплексу. Паралельно з цим вносяться параметри конкретної технологічної установки, на підставі її паспортних даних (технічних характеристик). До вказаних параметрів можна віднести: капітальні й експлуатаційні витрати, рівень шкідливих викидів, собівартість згенерованої електричної енергії, значення числа годин максимуму й інші, які будуть необхідні для розв'язання задачі.

Формуються цільові функції, які характеризують оптимальний режим роботи такого комплексу на думку ОПР. Також є можливість задати пріоритет (важливість) вказаних цільових функцій, віддаючи перевагу тим чи іншим цільовим функціям у процесі прийняття оптимального рішення.

Необхідно зазначити, що цільові функції й обмеження формуються виходячи з умови оптимального розподілу потужностей між джерелами генерації виключно з позицій повного забезпечення споживачів електричною енергією.

Задля реалізації даного програмного забезпечення пропонується використання мови програмування Python, яка вважається високорівневою мовою програмування загального призначення. Також Python дозволяє можливість підключення сторонніх бібліотек. Додаток взаємодіє з SAGA GIS використовуючи стандартний інтерфейс.

Інтерфейс користувача.

Робота програмного забезпечення базується на використанні методу нелокального пошуку запропонованого І.М. Гельфандом і М.Л. Цетліним, (детальний опис наведено в Розділі 3). ОПР самостійно обирає джерела генерації та критерії, відносно яких будуть проведені розрахунки (Рисунок 4.3).



Рисунок 4.1 – Застосування методу нелокального пошуку в програмному забезпеченні

Для визначення оптимального режиму роботи використовувалися три критерії: собівартість згенерованої електричної потужності, кількість годин роботи з максимальним навантаженням $T_{\max}$, рівень шкідливих викидів (емісії CO_2). Також формуються цільові функції:

- 1) у першу чергу віддати перевагу джерелам енергії з більшими питомими капітальними витратами;
- 2) віддати перевагу джерелам енергії з мінімальним значенням $T_{\max}$;
- 3) віддати перевагу джерелам енергії з мінімальним рівнем шкідливих викидів в атмосферу.



Рисунок 4.2 – Застосування методу нелокального пошуку в програмному забезпеченні

Після натиснення кнопки «Розрахувати» додаток згенерує значення кількості сонячної радіації та швидкості потоку вітру, аналізуючи дані попередніх років та дані отримані з метеостанції на поточну годину, та проведе розрахунок щодо визначення оптимальних умови роботи кожного джерела енергії, яке використовується в енергоустановці.

4.3 Технологічний аудит ідеї проєкту

Технологічний аудит ідеї стартап-проєкту надає змогу оцінити сильні та слабкі сторони запропонованої ідеї. Визначення технологічної здійсненності ідеї проєкту передбачає аналіз складових (Таблиця 4.3) [52]:

- Технологія виготовлення товару;
- Аналіз існуючих технологій;
- Доступність технології;

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№ з/п	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Проектування системи	Техніко-економічний розрахунок	Для розробки існують технології комп'ютерного моделювання	Доступна
2	Постачання обладнання	Аналіз наявного обладнання на ринку	Інформація технічних та цінових параметрів різного обладнання виробників	Доступна
3	Доставка та монтаж обладнання	Логістична інфраструктура	Технології наявні	Доступна

Наступним етапом буде визначення групи клієнтів та формування переліку вимог до товару або послуги (Таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 – Характеристика потенційних клієнтів

/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Цільова аудиторія	Вимоги до товару
	Проектування та впровадження систем генерації енергії на основі ВДЕ	Споживачі, з можливістю використання енергоустановки, що працюють на ВДЕ	Сертифіковане обладнання
	Оптимізація процесів розподілу енергії	Споживачі, з можливістю використання енергоустановки, що працюють на ВДЕ	Сертифіковане обладнання

Таблиця 4.5. Базова стратегія розвитку

п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Додавання підтримки приладів лише одного виробника	Пропонування продукту компаніям-виробникам розумних приладів.	Виробники можуть мати свої альтернативи, відмовитись від яких вони не захочуть	Спеціалізація
2	Підтримка усіх відомих приладів	Вихід на ринок додатків шляхом публікації програми в магазинах.	Існуючі в магазинах програми-альтернативи.	Спеціалізація
3	Розподіл функціоналу програми для клієнтів і виробників	Залучити як компанії-розробники приладів, так і користувачів цих приладів	Немає альтернатив	Диференціація

Ще з початку проектування система розроблялась з розумінням того, що в майбутньому її функціонал буде дуже сильно розширюватись, саме тому у цьому питанні програма показує себе якнайкраще та без проблем витримає найсильнішу конкуренцію.

4.4 Маркетингова програма створеної програми

Таблиця 4.6. Визначення переваг потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропону є товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити
1	Якість продукту	Головна перевага	Нові технології забезпечують відмінний функціонал та не меншу відмовостійкість.
2	Легкість використання	Одна з головних переваг.	Інтерфейс користувача є зрозумілим та мінімалістичним, має гарний вигляд, а головне функціональний.

Таблиця 4.7. Формування основної системи збуту продукту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимі- альна система збуту
1	Одноразова покупка	Повноцінна підтримка користувачів	Компанія працює через компанію- посередника власника магазину додатків.	Всі власники розумних приладів

Таблиця 4.8 Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Одноразова покупка	Підтримка користувачів	Новий функціонал	Показати переваги від використання продукту	Використання новітніх технологій ¹

4.5 Аналіз можливостей запуску стартап-проєкту

Аналізуючи можливість запуску запропонованого стартап-проєкту використаємо SWOT-аналіз. Даний аналіз дозволяє визначити можливості та загрози які можуть виникнути при запровадженні продукту на зовнішній ринок. SWOT з англійської розшифровується як: «Strengths» – сильні сторони, «Weakness» – слабкі сторони, «Opportunities» – можливості, «Threats» – загрози. SWOT-аналіз запропонованого стартап-проєкту представлено в Таблиці 4.5.

Таблиця 4.9 – SWOT-аналіз впровадження запропонованого проєкту

Сильні сторони (S)	Слабкі сторони (W)
– високий інтелектуальний потенціал компанії; – інноваційність технологій; – використання найкращих технологічних рішень; – можливість виходу на закордонний ринок.	– недостатня обізнаність про компанію на ринку; – низький рівень фінансування; – конкуренція на ринку.

Продовження таблиці 4.9

Можливості (O)	Загрози (T)
– перевага над конкурентним товаром за рахунок енергоефективності, екологічної безпеки; – підвищення продуктивності розробок за рахунок ефективної командної діяльності; – подолання конкуренції за рахунок унікального дизайну систем; – співпраця з постачальниками на взаємовигідних умовах.	– витіснення конкурентами компанії з ринку; – відсутність інвесторів, недостатнє фінансування; – витіснення вітчизняного товару закордонним.

Висновки до розділу 4

Цей розділ є обов’язковим для вивчення усіх ринкових перспектив розроблюваної системи та стратегії виходу на ринок. В ньому описно основну

ідею проекту а також його як економічні так і технічні переваги, сильні та слабкісторони. Проведено аналіз можливої технічної реалізації продукту, а на основі отриманих даних був зроблений висновок, що ідея технічно виконувана.

Також виконано аналіз ринку та можливих конкурентів та загрози які є очікуваними при запуску системи. Проведено SWOT-аналіз даного старату та освноні й альтернативні шляхи його впровадження. На основі даних ориманих після проведення аналізу конкурентоспроможності зроблено висновок, що продукт зможе знайти своє місце на ринку та приносити прибуток розробникам

\ВИСНОВОКИ

1) У сучасному світі домінує тенденція до стрімкого зростання відновлюваної енергетики, особливо у високорозвинутих країнах. Прогнозується, що тенденція до нарощування виробничих потужностей відновлюваної енергетики спостерігатиметься і в майбутньому.

2) Основною причиною підвищення інтересу до СНЕ стало зростання частки відновлюваних джерел енергії в Україні та світі який викликав дві проблеми:

- Пік вироблення у ВДЕ не збігається з піком споживання;
- Різкі зростання і падіння потужності призводять до погіршення якості електроенергії;

Розвиток ринку систем зберігання енергії вирішує дані проблеми, це може перевернути існуючу модель енергетичного забезпечення світу.

Сьогодні нетрадиційна енергетика використовується в основному для задоволення миттєвої потреби в енергії. Системи ж зберігання енергії допомагають згладжувати різницю між періодами генерації енергії і навантаження на мережу. Згодом, відновлювані джерела енергії будуть все більше і більше замінювати звичні вугілля і газ.

3) В роботі запропоновано метод оптимального режиму роботи в системах з локальними джерелами генерування та акумулювання енергії у реальному часі. який дає змогу врахувати сукупність факторів різноманітного характеру, наприклад: технічних; економічних; екологічних; соціальних; з метою забезпечення максимальної обґрунтованості й ефективності прийнятих рішень..

Переваги даного методу є задання цільової функції у лінгвістичній формі, що є досить простим і зрозумілими для користувачів. Список цільових функцій є відкритим і може доповнюватися іншими необхідними, які на думку ОПР дозволяють забезпечити оптимальний розподіл необхідного навантаження між локальними джерелами енергії.

4) Запропонований стартап-проект програмного забезпечення, що дасть

змогу для розширеного звіту щодо оцінювання значення потужності в окремі періоди години при раціональному використанні наявної інформації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей. Проект Звіт ДП «НЕК Укренерго». с 117.
2. Касич А. О. Чинники розвитку альтернативної енергетики у сучасних умовах / А. О. Касич, Я. О. Литвиненко. // Економіка і суспільство. – 2017. – №12. – С. 93–99.
3. Інформація щодо потужності та обсягів виробництва електроенергії об'єктами відновлюваної електроенергетики, яким встановлено «зелений» тариф (станом на 30.06.2018). Держенергоефективність
4. Перехід України на відновлювану енергетику до 2050 року / О. Дячук, М. Чепелєв, Р. Подолець, Г. Трипольська та ін. <https://ua.boell.org/uk/2017/10/24/perehid-ukrayini-na-vidnovlyuvanu-energetiku-do-2050-r>
5. Кабінет Міністрів України (2014), Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року. Кабінет Міністрів України, м. Київ
6. IRENA (International Renewable Energy Agency) (2014a), REmap 2030 – A renewable energy roadmap. June 2014. IRENA, Abu Dhabi
http://www.irena.org/REmap/REmap%20Summary%20of%20findings_final_links.pdf
7. IRENA (2014b), Global bioenergy supply and demand projections – A working paper for REmap 2030. September 2014. IRENA, Abu Dhabi
http://www.irena.org/remap/IRENA_REmap_2030_Biomass_paper_2014.pdf
8. УВЕА (Українська вітроенергетична асоціація) (2013), Огляд ринку вітроенергетики України 2013. Київ.
9. Башинська Ю. І. Організаційно-економічні засади використання потенціалу відновлюваної енергетики в регіоні. Дисертація. Спеціальність

10. 08.00.05. – розвиток продуктивних сил і регіональна економіка. Львів . 2017с. 212.

11. Стан і перспективи розвитку технологій «інтелектуальних» електромереж, управління попитом та систем режимного управління в умовах розвитку поновлюваних джерел енергії у зарубіжній енергетичній сфері. Звіт ДП «НЕК Укренерго ». с 122.

12. Корольчук А. Ю. Відроджена енергетика: перспективи України [Електронний ресурс] / А. Ю. Корольчук. – Режим доступу: <http://blog.ubr.ua/politika/idnovluvana-energetika-perspektivi-kraini-6031>

13. AEE-INTEC (2014), Solar heat worldwide, Markets and Contribution to the Energy Supply 2012. Edition 2014. AEE-INTEC, Gleisdorf <http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien1016.pdf>

14. Саламова Н. В. Возобновляемые источники энергии в Испании /Н. В. Саламова // Энергетика за рубежом. – 2002. – Вып. 3. – С. 37–38.

15. ЄС не надто активно переходить на поновлювану енергію [Електронний ресурс] // Євроновини.юа : інформаційний портал. – 30.05.2013. – Режим доступу: <http://ua.euronews.com/2013/05/30/europe-lags-behind-china-on-renewables/>

16. Renewables Global Status Report 2016 / Released by Frankfurt School UNEP collaborating centre. – Р. 32. – Available at: http://www.ren21.net/wpcontent/uploads/2016/06/GSR_2016_KeyFindings1.pdf

17. Енергетична стратегія України на період до 2030 року. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.cfin.ru/press/management/2001-6/13.pshtml.www.raoes.ru/ru/reforming/foreign/mo-/England.pdf.

18. Енергетика, сучасність і майбутнє. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://energetika.in.ua/ua/> 4. Програма фінансування альтернативної енергетики України (USELF). Посібник для девелоперів. - Київ, 2014. – 244 с

19. Графік споживання ОЕС України [Електронний ресурс] // Державне підприємство "Енергоринок". – Режим доступу до ресурсу :

<https://www.er.gov.ua/doc.php?dfg=1>

20. Evrostat New Release «The contribution of renewable energy up to 12,4% of energy consumption in the EU27 in 2010» 18 June 2012, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ec.europa.eu/eurostat> В США альтернативна енергетика стала конкурентоспособной. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [//pronedra.ru/alternative/2014/09/18/alternativnaya-energetika-ssha](http://pronedra.ru/alternative/2014/09/18/alternativnaya-energetika-ssha).

21. Системи накопичення енергії: перспективи для України [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://getmarket.com.ua/ua/news/sistemi-nakopichennya-energiyi-energy-storages-perspektivi-dlya-ukrayini>.

22. ДПЕК запуск першої в Україні промислової системи накопичення енергії [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://dtek.com/ru/media-center/news/dtek-zapustil-pervuyu-v-ukraine-promyshlennuyu-sistemu-nakopleniya-energii/>.

23. Системи накопичення енергії [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://avenston.com/articles/energy-storage/>.

24. S. B. Ecuador: Political and Economic Conditions and U.S. Relations [Електронний ресурс] / Beitel S.. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.refworld.org/pdfid/51ecfc364.pdf>.

25. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC Text with EEA relevance [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32012L0027>. (дата звернення 1 серпня 2021)

26. Системи накопичення енергії [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://avenston.com/articles/energy-storage/>.

27. Electricity storage systems [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://iknet.com.ua/uk/innovations/>.

28. "Зелені" гібридні електростанції – можливість для України

[Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.epravda.com.ua/columns/2021/08/18/676977/>.

29. хитарян Н.М., Кудря С.О., Яценко Л.В. Комплексное использование энергии возобновляемых источников. Альтернативная энергетика и экология. Київ, 2013. № 17. С. 15–22.

30. Дилигенский Н.В., Дымова Л.Г., Севастьянов П.В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология. Москва : Машиностроение, 2004. 397 с.

31. Asai K., Sugeno M., Terano T. Applied Fuzzy Systems. New York : Academic Press, 1994. 302 p.

32. Mancarella P., Pudjianto D. Microgrid evolution roadmap in EU: Modelling of microgrid evolution and replacement profiles of EU network infrastructure. Final Version. Contract No: PL019864. 2009. 140 p. URL: <http://www.microgrids.eu/documents/676.pdf>. (дата звернення 04.11.2020).

33. Вернер Д., Хесс Т., Шенгер П. Локальная виртуальная электростанция. Экспериментальные исследования принципов работы микрогенерационной установки. Промышленная энергетика. 2014. № 8. С. 12–17.

34. Гельфанд И.М., Цетлин М.Л. О некоторых способах управления сложными системами. Успехи математических наук. 1962. Т. XVII, № 1 (103). С. 3–25.

35. Жолен Л., Кифер М., Дидри О., Вальтер Э. Прикладной интервальный анализ. Москва, Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2005. 468 с.

36. Popov V.A., Ekel P.Y., Farret F. Heuristic procedures and fuzzy set theory in modelling loads of electrical distribution systems. In Proceedings of the International Symposium of Artificial Intelligence. Monterray, Mexico, 1995. P. 185–192.

37. Крисанова І.М. Оптимизация развития электроэнергетических систем методами теории нечетных множеств: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.14.01 «Енергетичні системи та комплекси», 05.13.16

«Застосування обчислювальної техніки та математичних методів у наукових дослідженнях (енергетика). Київ, 1993. 18 с.

38. Pareto V. Cours d'economie politique. Lausanne: Lausanne Rouge, 1896. 430 p.

39. Арзамасцев Д.А., Липес А.В., Мызин А.Л. Модели и методы оптимизации развития энергосистем. Москва: Высшая школа, 1987. 272 с.

40. Емельянов С.В., Борисов В.И., Малевич А.А., Черкашин А.М. Модели и методы векторной оптимизации. Итоги науки и техники. Техническая кибернетика. 1973. Т. 5. С. 386–448.

41. Ekel P., Popov V., Pedrycz W. Models and methods of multicriteria decision making in a fuzzy environment and their application. Proc. of the Seventh International Fuzzy System Association World Congress. Prague, 1997. Vol. 3. Pp. 226–231.

42. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. Москва: Мир, 1976. 165 с.

43. Беллман Р., Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях. Вопросы анализа и процедуры принятия решений. 1976. С. 172–215.

44. Zimmermann H.J. Fussy set theory and its application. Boston: Kluwer Academic, 1990. 400 p.

45. Pedrycz W., Gomide F. An Introduction to Fuzzy Sets: Analysis and Design. Cambridge: MIT Press, 1998. 465 p.

46. Ekel P.Ya. Fussy sets and models of decisions making. Computers & Mathematics with Applications. 2002. Vol. 44 (1), Is. 7. Pp. 863–875.

47. Ekel P.Ya., Galperin E.A. Box-triangular multiobjective linear programs for recourse allocation with application to load management and energy market problems. Mathematical and Computer Modelling. 2003. Vol. 37 (1), Is. 1–2. Pp. 1–17.

48. Popov V.A., Ekel P.Ya., Fuchs M. Fuzzy logic in real time state estimation of distribution systems. Methodologies for the Conception, Design, and Application of Intelligent Systems. 1998. Vol. 2. Pp. 136–139.

49. Pedrycz W., Ekel P., Parreiras R. Fuzzy Multicriteria Decision-Making:

Models, Methods, and Applications. New York: John Wiley & Sons, 2011. 338 p.

50. Екстремум. Вікіпедія. Вільна енциклопедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BA%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B5%D0%BC%D1%83%D0%BC>. (дата звернення 04.11.2020).

51. Стартап проекти та їх оцінювання: конспект лекцій для студентів за спеціальністю 7.121 «Інженерія програмного забезпечення» факультету інформаційних технологій УжНУ / Розробник: к.т.н. Поліщук В.В. –Ужгород: 2018. – 74 с.

52. Науково-методичні засади розроблення маркетингової стратегії стартап-проектів на промисловому ринку. / Кофанов О.Є., Зозульов О.В / Економічний простір №115, 2016. С 202-211.

53. Розроблення стартап-проекту : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

ДОДАТОК А

Усереднені добові баланси потужності ОЕС України за 2019-2020 рр.

Таблиця А.1 – Усереднений добовий баланс потужності ОЕС України для січня 2019-2020 рр.

Найменуван - ня	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00	Сума
Виробіток генерації																									
АЕС	9930	9930	9930	9930	9930	9930	9930	9930	9930	9930	9930	9930	9930	9930	9930	9930	9930	9930	9930	9930	9930	9930	9930	9930	238320
ТЕС	3414	3430	3575	3468	3357	3565	3822	3954	4210	4406	4451	4479	4487	4636	4696	4781	4783	4698	4698	4735	4724	4711	4505	4656	102241
ТЕЦ	2135	2131	2126	2129	2129	2129	2132	2132	2126	2128	2123	2121	2125	2129	2125	2131	2134	2133	2132	2135	2133	2132	2133	2133	51116
ВЕС	1432	1410	1414	1418	1403	1447	1439	1450	1399	1341	1297	1249	1231	1195	1184	1195	1220	1304	1374	1447	1454	1450	1421	1461	32635
СЕС	0	0	0	0	0	0	0	3	68	247	488	627	651	583	413	176	20	0	0	0	0	0	0	0	3276
ГЕС+ГАЕС (генератор)	807	758	758	758	759	772	1008	1905	2772	2832	2893	2484	2380	2232	2357	2578	2778	2872	2510	2121	1648	1294	768	807	42851
ГАЕС (насос)	-556	-977	-1402	-1402	-977	-466	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-977	–
Покриття	1771 8	1765 9	1780 3	1770 3	1757 8	1784 3	18331	1937 4	2050 5	2088 4	2118 2	2089 0	2080 4	2070 5	20705	2079 1	2086 5	2093 7	20644	2036 8	1988 9	1951 7	18757	1898 7	470439
Споживання	1716 4	1668 4	1640 3	1630 3	1660 3	1737 8	18332	1937 6	2050 8	2088 5	2118 4	2089 2	2080 5	2070 6	20706	2079 2	2086 6	2093 9	20646	2037 0	1989 1	1951 9	18759	1801 3	463724
Резерви "ДП "НЕК Укренерго"																									
На заванта- ження	804	788	643	750	861	904	967	999	912	868	992	984	1077	1123	1128	1043	1041	1125	1125	1088	1099	1112	1248	1076	–
На розванта- ження	-326	-342	-487	-380	-269	-226	-243	-211	-288	-352	-238	-256	-243	-282	-312	-397	-399	-315	-315	-352	-341	-328	-202	-374	–

Таблиця А.2 – Усереднений добовий баланс потужності ОЕС України для квітня 2019-2020 рр.

[illegible]

Таблиця А.3 – Усереднений добовий баланс потужності ОЕС України для липня 2019-2020 рр.

[illegible]

Таблиця А.4 – Усереднений добовий баланс потужності ОЕС України для жовтня 2019-2020 рр.

[illegible]

ДОДАТОК В

Лист-відповідь ДП "НЕК" Укренерго" щодо запланованої встановленої потужності ВЕС та СЕС на 2020 р.



вул. С. Петлюри, 25, м. Київ, 01032,
тел.: +38 044 238-30-15, факс: +38 044 238-32-64,
e-mail: nec-kanc@ua.energy, web: ua.energy,
код ЄДРПОУ 00100227

№ _____

Щодо надання інформації

Норцю М.О.

Ratik1986@ukr.net

вул. Космонавтів, 19, м. Фастів,
Київська область, Україна, 08500

ДП НЕК «Укренерго» розглянуло ваш запит від 25 вересня 2018 щодо прогнозованих обсягів генеруючих потужностей відновлюваних джерел енергії станом на 2020 рік та в межах компетенції надає наступну інформацію.

Враховуючи діючі на даний момент електростанції на відновлювальних джерелах енергії та актуальні технічні умови на приєднання електростанцій на відновлювальних джерелах енергії, реалізація яких очікується до 2021 року, в 2020 році встановлена потужність зазначених електростанцій очікується на наступному рівні:

- СЕС – 3388,7 МВт;
- ВЕС – 3653,4 МВт;
- БіоЕС - 237,7 МВт;
- ГЕС (малі, міні, мікро) – 235,46 МВт.

Заступник директора –
операційний директор

Брехт О.О.

Лущик О.В. 238-73-92



ДОКУМЕНТ ПІДПИСАНО ЕЦП
Сертифікат 33B6CB7BF721B9CC04000000E1952200EAA55100
Підписувач Брехт О.О.
Дійсний з 09.02.2017 0:00:00 по 09.02.2019 0:00:00

ДП "НЕК "УКРЕНЕРГО"



Вих. № 01/39752
від 02.10.2018