

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНЖЕНЕРІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи освітнього ступеня «магістр» за
спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення»

(освітня програма «Управління ІТ-проектами»)

на тему:

«СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З УПРАВЛІННЯ РОЗПОДІЛЕННЯМ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ»

Виконав студент групи УІТПм-23-1
ПАВЛЕНКО Володимир Миколайович

Керівник роботи:
СЕРДЮК Артем Ігорович

Рецензент:
СВІНЦИЦЬКА Олександра Миколаївна

Житомир – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНЖЕНЕРІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри інженерії програмного
забезпечення

Тетяна ВАКАЛЮК

« 01 » жовтня 2024 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу

Здобувач вищої освіти: **Павленко Володимир Миколайович**

Керівник роботи: **Сердюк Артем Ігорович**

Тема роботи: **«Система підтримки прийняття рішень з управління розподіленням генерації електроенергії»**, затверджена Наказом закладу вищої освіти від « 01 » жовтня 2024 р. №522/с

Вихідні дані для роботи: аналіз та пошук систем підтримки прийняття рішень при управлінні розподіленою генерацією і споживанням електроенергії та впровадження відповідних алгоритмів при прогнозуванні споживання електроенергії; способи моделювання .

Керівники/консультанти з магістерської кваліфікаційної роботи із зазначенням розділів, що їх стосуються:

Розділ	Керівник/ консультант	Завдання видав	Завдання прийняв
1	Сердюк А.І.	01.10.2024	20.10.2024
2	Сердюк А.І.	20.10.2024	10.11.2024
3	Сердюк А.І.	10.11.2024	25.11.2024
4	Сердюк А.І.	25.11.2024	10.12.2024

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота освітнього ступеня «магістр» присвячена впровадженню системи підтримки прийнятих рішень (СППР) в управлінні розподіленою генерацією електроенергії. Пояснювальна записка складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаної літератури. Загальний обсяг записки становить 95 сторінок, містить 29 рисунків, 15 таблиць та 39 посилань на джерела інформації.

Магістерська робота присвячена розробленню та впровадженню СППР для управління розподіленою генерацією електроенергії, яка забезпечує оптимізацію потоків енергії між джерелами генерації та споживачами, прогнозування стану мережі та підвищення ефективності її функціонування.

Робота складається з чотирьох розділів. У першому розділі проведено аналітичний огляд проблем розподіленої генерації, принципів функціонування енергетичних мікромереж та застосування ВДЕ. Особливу увагу приділено сучасним підходам до автоматизації управління енергетичними системами та ролі СППР у цих процесах. Аналіз також охоплює існуючі рішення та технології, які використовують для моделювання та управління потоками енергії.

Другий розділ присвячено визначенню цільової аудиторії та формуванню вимог до функціонального призначення СППР. На основі аналізу потреби користувачів розроблено карту навігації інтерфейсу системи, запропоновано прототип застосування та описаний підхід до його тестування. Важливим етапом стало визначення ключових функцій, таких як моніторинг стану мережі в реальному часі, прогнозування генерації та споживання енергії, оптимізація потоків енергії, а також аналіз ефективності роботи мікромережі.

У третьому розділі описано процес реалізації проекту, включаючи визначення стейкхолдерів, етапи розробки та впровадження системи, оцінку ризиків та стратегії їх мінімізації. Представлено декомпозицію робіт, які включають створення функціонального прототипу, інтеграцію з іншими системами та проведення тестувань. Також розроблено бізнес-модель продукту, яка демонструє його вартісну структуру, джерело прибутку, канали комунікації

з користувачами та ключові ресурси.

Четвертий розділ містить результати впровадження СППР в управління енергетичною мікромережею. Проведено аналіз ефективності запропонованого підходу, розраховано показники економіки енергоресурсів та стабільності функціонування мікромережі. Розглянуто перспективи подальшого розвитку системи, включаючи інтеграцію нових функцій, адаптацію до різних сценаріїв використання та масштабування для більшої кількості користувачів.

Результати роботи підтверджують доцільність впровадження СППР для управління розподіленою генерацією електроенергії. Запропонована система дозволяє підвищити точність прогнозування, ефективність використання ресурсів та зменшити витрати, пов'язані з нерівномірністю генерації ВДЕ.

Ключові слова: Smart Grid, енергетична інфраструктура, енергетична мікромережа, інформаційна технологія, моделювання, планування, прогнозування, система підтримки прийняття рішень, управління.

ABSTRACT

The qualification work of the master's degree is devoted to the implementation of a decision support system (DSS) in the management of distributed power generation. The explanatory note consists of an introduction, four chapters, conclusions and a list of references. The total volume of the note is 95 pages, contains 29 figures, 15 tables and 39 references to information sources.

The master's thesis is devoted to the development and implementation of a DMS for managing distributed power generation, which ensures optimisation of energy flows between generation sources and consumers, forecasting the state of the grid and improving its efficiency.

The paper consists of four sections. The first section provides an analytical overview of the problems of distributed generation, the principles of operation of energy microgrids and the use of renewable energy sources. Particular attention is paid to modern approaches to automating the management of energy systems and the role of SPPD in these processes. The analysis also covers existing solutions and technologies used for modelling and managing energy flows.

The second section is devoted to identifying the target audience and formulating requirements for the functional purpose of the SPMS. Based on the analysis of user needs, a navigation map of the system interface was developed, a prototype application was proposed, and an approach to its testing was described. An important step was the identification of key functions, such as real-time monitoring of the grid status, forecasting of energy generation and consumption, optimisation of energy flows, and analysis of the microgrid's efficiency.

The third section describes the project implementation process, including stakeholder identification, system development and implementation stages, risk assessment and mitigation strategies. It presents a decomposition of the work, which includes the creation of a functional prototype, integration with other

systems and testing. A business model of the product is also developed, which demonstrates its cost structure, source of profit, channels of communication with users and key resources.

The fourth section contains the results of the implementation of the SPPR in the management of the energy microgrid. It analyses the effectiveness of the proposed approach, calculates the indicators of energy resources economy and stability of the microgrid. Prospects for further development of the system, including integration of new functions, adaptation to different use cases and scaling for a larger number of users, are considered.

The results of the study confirm the feasibility of implementing a DMS for managing distributed power generation. The proposed system can improve forecasting accuracy, resource efficiency, and reduce costs associated with uneven RES generation.

Keywords: Smart Grid, energy infrastructure, energy microgrid, information technology, modelling, planning, forecasting, decision support system, management.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	9
ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ОСНОВ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	13
1.1 Аналіз сучасного стану імплементації Smart Grid в енергетичну систему країни	13
1.2 Виклики і проблеми управління розподіленою генерацією в сучасних умовах	16
1.3. Системи управління потоками енергії, що використовують систему підтримки прийняття рішень	23
1.4. Огляд систем підтримки прийняття рішень в енергетичних системах.....	28
Висновки розділу 1.	34
РОЗДІЛ 2. ОПИС ТА ВИМОГИ ДО СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЮ МІКРОМЕРЕЖЕЮ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ	35
2.1 Цільова аудиторія користувачів системи підтримки прийняття рішень для управління мікромережею з відновлюваними джерелами енергії	35
2.2. Основні функції СППР для оптимізації розподілу енергетичних потоків у мікромережі	38
2.3 Карта навігації інтерфейсу користувача застосунку	42
2.4. Розробка прототипу системи підтримки прийняття рішень для управління мікромережею	45
2.5. План тестування прототипу СППР для управління мікромережею.....	48
Висновки розділу 2.	52
РОЗДІЛ 3. ПЛАН ПРОЄКТУ РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ РОЗПОДІЛОМ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В МІКРОМЕРЕЖІ З ВДЕ	54
3.1 Визначення стейкхолдерів проєкту для впровадження СППР в управління мікромережею	54
3.2. Декомпозиція робіт: етапи розроблення, впровадження та тестування системи.....	57
3.3. Реєстр ризиків, пов'язаних із реалізацією СППР для управління розподілом генерації електроенергії.....	61

3.4 План інтеграції СППР в мікромережі з урахуванням специфіки відновлюваних джерел енергії	66
3.5 Канва бізнес-моделі продукту: Система підтримки прийняття рішень з управління розподілом генерації електроенергії	68
Висновки розділу 3	73
РОЗДІЛ 4. СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ УПРАВЛІННІ ЕНЕРГЕТИЧНОЮ МІКРОМЕРЕЖЕЮ 3 ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ	75
4.1 Інформаційна взаємодія користувачів та модулів у застосунку GridMaster системи підтримки прийняття рішень	75
4.2 Використання СППР для моніторингу енергетичної мікромережі	77
4.3 Використання інформаційної системи для підтримки прийняття рішень при управлінні енергетичною мікромережею	81
Висновки розділу 4:	87
ВИСНОВКИ.....	89
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	91

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

DEMS	Система керування децентралізованою енергетикою
DMS	Система управління розподілом енергії
EMS	Система управління енергією
IoT	Інтернет речей
KPI	Key Performance Indicator (Ключові показники ефективності)
LSTM	(англ. long short-term memory) – довга короткочасна пам'ять
SCADA	Система диспетчерського управління і збору даних
STD	(англ. standard deviation) – середнє квадратичне відхилення
ВДЕ	Відновлені джерела енергії
ПРЗ	Протиризикові заходи
СППР	Система підтримки прийняття рішень

ВСТУП

Актуальність теми. Інтеграція відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у сучасні енергетичні системи та перехід до децентралізованої моделі управління електроенергією стають пріоритетними завданнями для багатьох країн. Ці зміни зумовлені потребою зменшення впливу традиційних енергетичних технологій на довкілля та підвищенням енергетичної незалежності. Зокрема, актуальним завданням стає забезпечення ефективного управління мікромережами, які включають ВДЕ. Основні виклики полягають у непередбачуваності генерації електроенергії через змінність природних умов та необхідності забезпечення балансу між генерацією і споживанням.

Розвиток інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (СППР) дає можливість оптимізувати управління розподіленою генерацією. Науковці, зокрема, приділяють увагу розробці моделей прогнозування енергетичних потоків, методів оптимізації генерації та інтеграції систем управління мікромережами. Втім, проблема залишається недостатньо вивченою у контексті врахування змінних погодних умов і адаптації моделей до специфіки кожної мікромережі. Практичне значення розробок у цій галузі включає можливість зниження втрат енергії, підвищення стабільності мережі та забезпечення сталого розвитку енергетичної інфраструктури.

Метою даної роботи є розробка та впровадження системи підтримки прийняття рішень для оптимізації управління розподіленою генерацією електроенергії у мікромережах з відновлюваними джерелами енергії. Система повинна забезпечувати прогнозування енергетичних потоків, оптимізацію генерації та ефективну інтеграцію даних для забезпечення стабільності мікромережі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **основні задачі**:

- провести аналіз сучасного стану розподіленої генерації електроенергії, виявити виклики й проблеми управління мікромережами, оцінити існуючі рішення на основі системи підтримки рішень у контексті енергетичних

систем;

- розробити цільову аудиторію користувачів, описати функціональні вимоги до системи, розробити карту навігації інтерфейсу користувача, прототип системи та скласти план тестування;
- програмування ключових стейкхолдерів проекту, розробити декомпозицію робіт, оцінити ризики, скласти план інтеграції систем та описати бізнес-модель продукту;
- розробити архітектуру СППР, описати використання систем моніторингу та управління мікромережею, оцінити ефективність запропонованих рішень і перспективи подальшого розвитку.

Об’єктом дослідження визначено процеси управління розподіленою генерацією електроенергії в мікромережах, які містять в собі відновлювані джерела енергії.

Предмет дослідження. Методи, алгоритми та системи підтримки прийняття рішень для оптимізації генерації та розподілу електроенергії у мікромережах.

Методи дослідження. У роботі використано методи системного аналізу, моделювання, теорії ймовірностей та статистики для створення прогнозних моделей. Методи оптимізації застосовано для розробки алгоритмів розподілу енергетичних потоків. Програмну реалізацію СППР виконано із використанням методів об’єктно-орієнтованого програмування.

Наукова новизна. У роботі запропоновано новий підхід до управління мікромережею, що включає прогнозування генерації електроенергії на основі змінних погодних умов та оптимізацію енергетичних потоків із врахуванням структури мікромережі. Розроблено СППР, яка забезпечує ефективну інтеграцію даних та прийняття рішень у реальному часі.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблена система може бути використана для управління мікромережами різного типу, забезпечуючи зниження втрат енергії, підвищення стабільності мережі та оптимізацію енергетичних потоків. СППР надає користувачам інструменти для

прогнозування, моніторингу та управління, що підвищує ефективність використання енергетичних ресурсів.

Апробація результатів та публікації. Результати дослідження були представлені на міжнародній науковій конференції:

Павленко В.М., Інтелектуальні системи управління енергетичними потоками для забезпечення стійкості електромереж . Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції "Енергоефективність та енергетична безпека електроенергетичних систем", НТУ "Харківський політехнічний інститут", Харків, 2024. [1, 2].

Робота може бути впроваджена у вигляді прототипу системи, що тестується на обраних мікромережах із ВДЕ.

Структура роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел. У роботі представлено 29 рисунків, 15 таблиць і використано 39 джерел літератури. Загальний обсяг роботи становить 95 сторінок.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ОСНОВ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

1.1 Аналіз сучасного стану імплементації Smart Grid в енергетичну систему країни

Енергетична система з розподіленою генерацією електроенергії, що включає відновлені джерела енергії (ВДЕ), стає ключовим елементом трансформації сучасної енергетики. В умовах обмежених ресурсів, нестабільності генерації та потреби в забезпеченні гнучкості управління енергосистемою впровадження технології Smart Grid є невід’ємною складовою для стабільного енергозабезпечення країни.

Розподілена генерація, що базується на ВДЕ, створює низку нових викликів, зокрема, потребує точного моніторингу та управління енергетичними потоками між споживачами та джерелами енергії. Це доповнюється залежністю від генерації зовнішніх факторів, таких як погодні умови та сезонне коливання, що потребує ефективної інтеграції інтелектуальних систем підтримки відповідних рішень (СППР).

Інтегрування ВДЕ в енергетичну систему, значно ускладнює процес управління балансуванням і створює є складну та динамічну систему, яка включає різноманітні компоненти: генератори, розподільчі мережі, мікромережі, системи накопичення енергії та споживачів. Особливістю такої системи є децентралізована структура, де основна частина генерації може бути представлена сонячними, вітровими та іншими джерелами, залежними від природних умов [3, 35].

Ця система забезпечує локальні об'єкти енергопостачання, зокрема житлові, комерційні, промислові споживачі та мікромережі. Локальні мікромережі здатні працювати як автономно, так і в поєднанні із загальною енергосистемою. Вони включають засоби автоматизованого моніторингу, контролю та управління потоками електроенергії, а також пристрої

прогнозування споживання та генерації.

Енергетична система також включає компоненти інтеграції відновлюваних джерел у загальну мережу. Це вимагає забезпечення двостороннього обміну енергетичними потоками, що робить систему гнучкою та здатною швидко адаптуватися до змін у споживанні та генерації [4].

Об'єкт дослідження характеризується децентралізованою структурою генерації, яка значною мірою залежить від географічного розташування джерел енергії. Його відмінною рисою є висока динамічність, обумовлена нестабільністю у виробленні та споживанні енергії під впливом зовнішніх факторів. Важливою складовою є інтеграція відновлюваних джерел енергії, що потребує ефективного балансування між генерацією та споживанням, щоб забезпечити стабільність роботи мережі. Також суттєве значення мають мікромережі та локальні енергетичні кластери, які сприяють автономності й оптимізації енергопостачання для окремих споживачів. Системи підтримки прийняття рішень, розроблені для управління розподілом генерації електроенергії та оптимізації енергетичних потоків, є складною програмно-апаратною платформою, що забезпечує технологію збору, обробки та аналізу даних [35].

Система підтримки прийняття рішень виконує широкий спектр функцій, що забезпечують ефективне управління мікромережею. Це дозволяє включати прогнозування генерації електроенергії з відновлюваних джерел, враховуючи такі фактори, як погодні умови, сезонні коливання та динаміку попиту. Важливим аспектом є моніторинг параметрів роботи мережі, стану обладнання та якості електропостачання в режимі реального часу, що дозволяє оперативно регулювати зміни. Система також оптимізує розподіл енергетичних потоків, спрямовуючи ресурси на зменшення витрат енергії, враховуючи обмеження мережі та пріоритети окремих споживачів. Крім того, вона підтримує прийняття рішень щодо балансування навантаження, інтеграції мікромереж та використання резервних джерел енергії. Для зручності аналізу та моделювання сценаріїв оптимізації СППР забезпечує ефективну візуалізацію даних. СППР

спрямована на автоматизацію управлінських процесів, що дозволяє знизити ризики людського фактору та забезпечити швидку реакцію на зміни в системі. Вона поєднала сучасні методи математичного моделювання, алгоритми машинного навчання та інтелектуальні системи обробки даних для створення адаптивних механізмів управління.

Предмет дослідження характеризується інтеграцією інтелектуальної системи з технологіями Smart Grid, що дозволяє забезпечити високий рівень автоматизації та ефективності в управлінських енергетичних процесах. Його розширена функціональність включає автоматизовані рішення для прогнозування, контролю та управління, що дозволяє знизити втрати та підвищити стабільність системи. Особливу увагу приділено гнучкості системи, яка адаптується до змін у генерації чи споживанні енергії, зокрема у випадках раптових коливань. Важливою складовою є інформаційна сумісність, що забезпечує обмін даними між системами високого рівня — від локальних мікромереж до загальної енергосистеми.

Технології Smart Grid, що лежать в основі предмета дослідження, створюють умови для гнучкого управління через можливість адаптації в умовах нестабільності при генерації та споживанні. Вони забезпечують інтелектуальне вимірювання для контролю витрат електроенергії, інтеграцію пристроїв керування та автоматизації в мережах різного масштабу, а також можливість прогнозувати споживання та генерацію електроенергії на основі великих даних, що сприяє ефективному управлінню. Цікавим аспектом є те, що інформація може зберігатися, використовуючи сучасні хмарні технології [12, 13].

Централізована генерація традиційно стикається з проблемами втрати електроенергії при транспортуванні, особливо на великих відстанях. Це актуалізує необхідність переходу до локальних мікромереж, оснащених ВДЕ, які не дозволяють зменшити втрати та забезпечити автономність енергетичних кластерів [5].

В умовах України актуальність впровадження Smart Grid зростає через потребу в оптимізації локального енергоспоживання, зокрема мікромережами,

які включають генерацію з ВДЕ. Енергетична стратегія України до 2035 року спрямована на підвищення частки ВДЕ до 25% у загальному енергетичному балансі. Для досягнення цих цілей необхідна інтеграція інтелектуальних систем, що підтримують прийняття управлінських рішень, забезпечення балансування потоків, контроль витрат та зменшення навантаження на централізовану енергосистему [6].

Використання системи підтримки дозволить автоматизувати управлінські процеси, інтегрувати локальні об'єкти в єдину мережу та вдосконалити методи прогнозування споживання. У мікромережах, оснащених базовими системами моніторингу та контролю, за концепцією Smart Grid, стає можливим регулювання постачання електроенергії залежно від режиму споживання в реальному часі.

1.2 Виклики і проблеми управління розподіленою генерацією в сучасних умовах

Сьогодні у багатьох розвинених країнах світу реалізуються сценарії так званого енергетичного переходу, в рамках якого сучасна енергетика трансформується до клієнторієнтованих енергосистем. Здійснюється перехід від традиційних моделей до нових, що використовують значні обсяги розосередженої генерації (РГ), включаючи ВДЕ та накопичувачі. Ринки стають децентралізованими, інфраструктура – інтелектуальною, а споживачі переходять до активних, просюмерських моделей поведінки.

Структура моделі архітектури інтелектуальних мереж створена шляхом об'єднання концепції рівнів функціональної взаємодії з попередньо представленою площиною інтелектуальних мереж. Результатом цього злиття є модель, яка охоплює три виміри: Домени Smart Grid Architecture Model – Модель архітектури Smart Grid (SGAM); Зони; Рівні функціональної взаємодії. Тривимірне представлення моделі архітектури інтелектуальних мереж зображено на рис 1.1. [7].

Складаючись з п'яти рівнів функціональної взаємодії, концепція SGAM

дозволяє представляти об'єкти та їх взаємозв'язки в контексті доменів інтелектуальних мереж, ієрархій управління інформацією та з урахуванням аспектів функціональної сумісності:

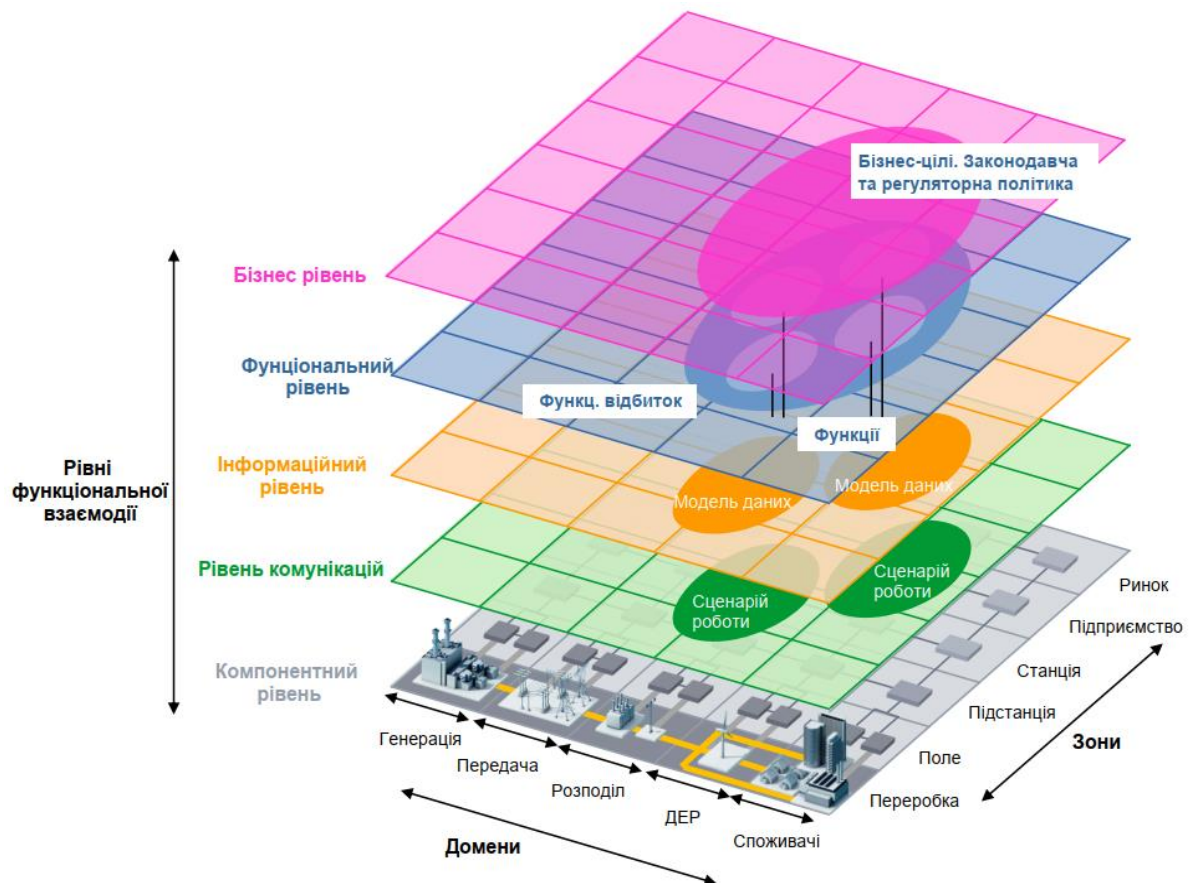


Рисунок 1.1. Ієрархічна структура SGAM [7]

На бізнес-рівні через інтелектуальні мережі виконується механізм обміну комерційною інформацією. Тут описуються регуляторні й економічні структури, бізнес-моделі, ролі учасників, їх обов'язки та сценарії використання. Також цей рівень дозволяє ідентифікувати економічні можливості, формувати бізнес-процеси та аналізувати варіанти використання продуктів і послуг, пов'язаних із розробкою та впровадженням технологій Smart Grid.

Функціональний рівень акцентує увагу на описі системних функцій, послуг та їх взаємозв'язків. Цей рівень деталізує способи реалізації функцій, залежно від їхніх виконавців і можливостей компонентів архітектури. Особлива

увага приділяється варіантам використання системи, що гарантує чітке виявлення її функціональних можливостей.

Інформаційний рівень розкриває інформацію, яка використовується або передається між елементами загальної системи, включаючи функції, сервіси та компоненти. Тут визначаються інформаційні об'єкти та моделі даних, які формують основу для обміну інформацією в межах системи.

Комунікаційний рівень фокусується на описі сценаріїв обміну інформацією між компонентами системи. На цьому рівні застосовуються механізми комунікації, відповідні інформаційні об'єкти, а також моделі даних, що підтримують зв'язок між функціональними елементами системи.

Компонентний рівень концентрується на фізичному розподілі компонентів інтелектуальної мережі. Він включає в себе суб'єкти системи, пристрої та обладнання енергосистеми, засоби захисту та телеуправління, а також мережеву інфраструктуру, до якої належать комунікаційні з'єднання, маршрутизатори, сервери та інші пристрої, що забезпечують роботу системи. На цьому рівні описуються як енергетичні, так і інформаційно-комунікаційні елементи мережі, які взаємодіють для забезпечення її ефективної роботи.

Класифікація доменів та зон в базовій моделі архітектури Smart Grid зведено в табл.1.1 та 1.2, відповідно.

Таблиця 1.1

Класифікація доменів в базовій моделі архітектури Smart Grid

Домен	Опис
Генерація	Містить структуру потужних об'єктів генерування електричної енергії традиційної системи електропостачання, наприклад, вугільні, атомні та гідро- електростанції.
Передача	Інфраструктура, що забезпечує передавання електроенергії.
Розподіл	Інфраструктура, що забезпечує розподіл електроенергії до кінцевих споживачів.
Розосередж ена генерація	Містить розподілені електричні ресурси, безпосередньо підключені до розподільчої мережі загального призначення, які використовують технології генерування та споживання електроенергії малої потужності. Управління такими розподіленими ресурсами може здійснюватися Операторами систем передачі і розподілу, а також стороною, відповідальною за баланс.
Споживачі	Містить структури як кінцевих споживачів електроенергії, так і локальних її виробників. Також до цього домену відносять ті об'єкти генерації, що використовують сонячні панелі, накопичувачі електроенергії, мікротурбіни.

Таблиця 1.2

Класифікація зон в базовій моделі архітектури Smart Grid.

Зона	Опис
Переробка	Містить перетворення енергії (електричної, сонячної, теплової, гідро-, вітру) та фізичні об'єкти (наприклад, генератори, трансформатори, роз'єднувачі, повітряні лінії, кабелі, різноманітні сенсори, що є частиною зазначеного перетворення або безпосередньо пов'язані з ним).
Поле	Містить обладнання для захисту, управління та моніторингу процесів, що мають місце в енергетичній системі, тобто захисні реле, комплексні контролери, різні типи інтелектуальних електронних пристроїв для збору та використання даних від енергетичної системи про поточний стан процесу.
Станція	Представляє рівень об'єднання об'єктів рівня «Поле» в просторі, наприклад, концентрацію отриманих даних, функціональну агрегацію, автоматизацію в підстанціях, локальні системи SCADA.
Операції	Організація операції управління енергосистемою у відповідному домені, наприклад, системи управління розподілом енергії (DMS), системи управління енергією (EMS) в системах її генерації і розподілу, системи управління Microgrid, системи управління віртуальними електростанціями
Підприємство	Містить комерційні та організаційні процеси, служби, а також інфраструктуру підприємств (комунальне обслуговування служби надання послуг, енерготрейдери), тобто управління активами, логістика, управління трудовою діяльністю, тренінг персоналу, менеджмент взаємодії зі споживачами, виставлення рахунків та закупівля необхідних ресурсів
Ринок	Відображає ринкові операції, що мають місце впродовж всього миттєвого циклу перетворювання енергії, а також продажу її споживачам.

Функції відображаються незалежно від учасників та конкретної фізичної реалізації їх застосувань в системах і компонентах. Функції отримуються шляхом відокремлення функціональності сценарію дій, що є незалежним від їх виконавців. Інформаційний рівень описує інформацію, що використовується і бере участь в обміні між функціями, сервісами та компонентами. Ці інформаційні об'єкти та моделі даних відображають загальну семантику для функцій і сервісів для забезпечення сумісності під час обміну інформацією через канали комунікації. Значення комунікаційного рівня полягає в описі протоколів та механізмів взаємного обміну інформацією між компонентами в контексті схем варіантів використання, функцій чи послуг та пов'язаних з ними інформаційних об'єкти або моделей даних. Рівень компонентів акцентується на фізичному розподілі всіх складових частин системи, які пов'язані з функціонуванням інтелектуальної мережі.

Саме у сфері систем керування функціонуванням і розвитком електроенергетики, відбуваються найбільш масштабні зміни, які в результаті мають привести до якісної трансформації умов енергопостачання споживачів за рахунок трьох базових компонент, характеристика яких наведена в табл. 1.3.

Інтелектуальна електроенергетика, побудована відповідно до концепції Smart Grid, має ряд важливих властивостей, що забезпечують її ефективність, гнучкість та орієнтованість на клієнта [8]. По-перше, така система забезпечує мінімальні обмеження для інтеграції різних об'єктів генерації, накопичення та споживання електроенергії в загальну електричну мережу. Це дозволяє оптимально використовувати як централізовану, так і розосереджену генерацію, адаптацію мережі до доступних джерел енергії. По-друге, вагомим аспектом є висока спостережуваність і гнучкість системи. Інтелектуальна електроенергетика забезпечує детальний моніторинг стану мережі, прогнозування змін у режимах роботи та адаптацію до технологічних або економічних змін. По-третє, система орієнтована на споживачів. Пріоритет надається індивідуальним вимогам щодо ефективності, надійності та якості енергопостачання. Вона підтримує активну участь споживачів у ринкових процесах, включаючи формування гнучкого запиту на електроенергію та послуги, що сприяє розвитку конкурентного ринку.

Таблиця 1.3

Базові компоненти розвитку електроенергетики

Назва компоненти	Характеристика компоненти
Підвищення рівня автоматизації.	Забезпечує більшу оперативність реакції технічних пристроїв і систем, суб'єктів ринку на швидко змінювані зовнішні в темпі реального часу.
Підвищення рівня інформатизації.	Забезпечується за рахунок зростання обсягів і швидкості передачі даних, досягнення нового рівня в спостережливості і контролі стану, в керованості режимів роботи окремих технічних пристроїв і енергосистеми в цілому, в інформаційній прозорості механізмів конкурентного ринку для всіх його суб'єктів.
Підвищення інтелектуальності на всіх рівнях систем керування функціонуванням енергосистеми і ринковими операціями.	При нових рівнях інформатизації та автоматизації цей компонент забезпечує не тільки «реакцію по фактичному стану», а й «реакцію за прогнозом», виходячи з оцінки ймовірних змін виробничих параметрів окремих пристроїв, технічних систем, ринкової кон'юнктури.

Цінність побудови енергетичних систем на основі концепції Smart Grid полягає в тому, що підприємства електроенергетики зможуть «згладити» потреби в електроенергії у моменти максимального навантаження, відмовитися від використання гарячих резервів і знизити потребу в довгострокових капіталовкладень у створення додаткових генеруючих підприємств, а також скоротити необхідність інших інвестицій [7]. Як приклад, ключові елементи інтелектуальної електромережі згідно рекомендацій компанії Cisco зведено в табл. 1.5. Наявність чотирьох характеристик, наведених в табл. 1.4, разом узятих фактично робить енергосистему інтелектуальною, що потребує систему підтримки прийняття рішень.

Сучасний розвиток енергетики шукає ключові напрямки реалізації нової технологічної парадигми, які відповідають потребам цифровізації, сталого розвитку та інтеграції інноваційних рішень. Одним із таких напрямків є створення відкритих модульних цифрових платформ, що сприяють організації кіберфізичних систем в електроенергетиці. Ці платформи забезпечують інтеграцію різноманітних компонентів енергосистеми та підвищують їхню ефективність і гнучкість.

Іншим перспективним підходом є розвиток інтелектуальних мультиагентних систем керування, які не дозволяють автоматизувати процеси управління в енергосистемах, підвищуючи їхню адаптивність та ефективність. Крім того, зростає значення систем зберігання електроенергії, які варіюються від акумуляторів для електромобілів і побутового сектора до технологій великої місткості, включаючи інноваційні методи зберігання у водному циклі.

Перспективною залишається високовольтна і високочастотна силова електроніка, яка сприяє підвищенню енергоефективності обладнання та забезпечує можливість роботи з новими джерелами енергії. Технології «Інтернет речей», що включають цифрові датчики, сенсори, актуатори та засоби комунікації, дають можливість створити розумні енергетичні системи з інтеграцією в глобальні інформаційні мережі [28, 34].

Окрему увагу привертають цифрові фінансові технології, такі як блокчейн, смарт-контракти та децентралізовані автономні організації. Вони сприяють прозорості та безпеці фінансових операцій в енергетичному секторі, створюючи нові можливості для управління та розвитку децентралізованих енергетичних ринків [39].

Таблиця 1.4

Ключові параметри інтелектуальної електромережі згідно рекомендацій компанії Cisco

Параметр	Характеристика параметра
Прозорість роботи.	Повне уявлення про стан енергосистеми – передача даних лічильників, вимірювачів і команд керування.
Можливість керування.	Переведення енергосистеми у будь-який потрібний стан.
Автоматизація.	Швидка адаптація до змінних умов без втручання користувача.
Інтеграція.	Підключення систем і процесів підприємства електроенергетики – висока інтелектуальність і ефективність енергосистеми.

Аналіз сучасних технологій дозволив виділити ключові елементи, що формують основу реалізації концепції Smart Grid. Серед цих складових важливих роль змінює силова електроніка, зокрема FACTS (гнучкі системи передачі змінного струму) та HVDC (високовольтна лінія постійного струму), які забезпечує стабільність та ефективність передачі енергії. Водночас системи керування енергоспоживанням (EMS) сприяють оптимізації споживання, забезпечуючи зниження витрат і підвищення енергоефективності.

Автоматизація та захист «інтелектуальних» цифрових підстанцій разом з інтегрованими системами моніторингу стану підстанцій (ISCM) забезпечують надійність роботи та випадкове виявлення наявних загроз. Комунікаційні рішення виконують важливу роль у забезпеченні безперебійного обміну даними між компонентами енергосистеми.

Система керування розподілом енергії (DMS) і захист розподільних мереж енергії сприяють ефективному розподілу електроенергії. Розосереджені енергетичні ресурси (PER), зокрема локальні джерела енергії, та система керування децентралізованою генерацією (DEMS) формують основу

децентралізованого підходу до управління.

Інтелектуальні датчики та лічильники (Smart Meter) надають споживачам та операторам актуальну інформацію про споживання енергії. Важливою складовою є широка інтеграція відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в енергетичну інфраструктуру, яка покращує екологічну стабільність. Нарешті, технічні рішення для акумулювання енергії забезпечують можливість зберігання надлишкової енергії, що є критичним для стабільності системи.

1.3. Системи управління потоками енергії, що використовують систему підтримки прийняття рішень

У залежності від типу мережі – передачі чи розподілу – існують системи керування передачею електроенергії (TMS) і розподілом (DMS). Раніше системи керування енергоспоживанням (EMS) охоплювали виробництво і передачу енергії, але після дерегуляції ці функції розділилися, що призвело до появи систем керування генерацією (GMS). Дослідження Newton-Evans показало, що SCADA-системи є у всіх опитаних компаній, тоді як EMS [9] – у 74%, DMS – у 52%, а OMS – у 62%. Лідерами серед обладнання є GE, ABB та Siemens, а 2/3 компаній планують оновити SCADA-системи, 29% – EMS та DMS.

Також 40% компаній вже інтегрували розосереджені джерела енергії (DER) у SCADA-системи, а 47% планують це зробити. У Північній Америці 82% компаній мають такі плани. Близько 34% компаній інтегрували функції SCADA/DMS та OMS, хоча половина компаній у Північній Америці не має таких планів. Більшість компаній приділяють увагу кібербезпеці: понад 50% залучають сторонні сервіси для захисту, а 23% цікавляться хмарними технологіями. Частка компаній, що використовують програми для моніторингу відключень, зросла з 29% до 69%.

Системи DMS і OMS розвивалися разом з комп'ютерною технікою, починаючи як доповнення до SCADA/EMS та автономні системи, адаптовані для розподільних мереж із додатковими специфічними функціями. Цілі інтеграції

систем SCADA / EMS з раніше незалежними засобами керування розподільними мережами та обробки відключень багатогранні. Рішення, яке пропонується, має на меті забезпечити низку функціональних удосконалень, що позитивно вплинуть на функціонування системи. Одним із ключових аспектів є інтегроване управління операціями, коли всі експлуатаційні дані зберігаються в єдиній системі. Це дозволяє різним суб'єктам, таким як співробітники пункту управління, виїзний персонал та конструкторський відділ, використовувати єдине джерело інформації у своїй роботі [13, 32].

Ще важливою перевагою є можливість глибокого аналізу синхронності мереж, що забезпечує більш точне, ефективне та безпечне керування великими та різномірними електричними мережами. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню продуктивності праці співробітників енергетичних компаній, які можуть зосередитися на використанні інформації, витрачаючи менше часу на її отримання.

Інтеграція даних у масштабні підприємства створює можливість вдосконалення інформаційних потоків між споживачами, відділом експлуатації, конструкторським відділом та керівництвом. Крім того, система забезпечує миттєвий доступ до актуального стану мережі, що дозволяє компаніям підтримувати повну картину функціонування системи в будь-який момент часу.

Ще одним суттєвим вдосконаленням є оптимізація роботи мережі, яка забезпечує найбільш ефективну експлуатацію системи енергопостачання з технічної точки зору. Усе це вимагає рішення, яке є надзвичайно актуальним для побудови децентралізованих систем транспортування енергії, таких як розподілена система управління енергією (DEMS) або розподілена система управління енергоресурсами (DERMS) [10] (табл.1.5).

Таблиця 1.5

Функції системи керування децентралізованою генерацією (DEMS)

№ з/п	Функція DEMS	Характеристика функції DEMS
1	Функція планування.	Розглядають на періоді часу від одного до семи днів з тимчасовим дозволом в залежності від розрахункового періоду продажу і покупки енергії, наприклад, 15, 30 або 60 хв. Функція прогнозу погоди DEMS забезпечує імпорт / розрахунок даних прогнозу погоди, які використовуються в якості вхідних даних для інших функціональних модулів DEMS. Функція прогнозу погоди має можливість імпорту прогнозу метеорологічних даних із зовнішніх джерел, наприклад, метеорологічних служб. За допомогою алгоритму корекції ковзним середнім мінімізується різницю відхилення між зовнішнім прогнозом і локально обмірюваними фактичними метеорологічними даними.
2	Функція прогнозу навантаження.	Забезпечує розрахунок для декількох класів навантаження. Основні дані – це безперервні історичні дані вимірюного навантаження з дозволом, відповідним функції планування.
3	Функція прогнозу генерації.	Обчислює очікувані обсяги генерації ВДЕ, в залежності від прогнозованих погодних умов. В якості алгоритму прогнозування використовується кусково- лінійне перетворення двох метеорологічних змінних в очікувану потужність згідно матриці перетворення (наприклад, швидкість і напрямок вітру для вітрових силових агрегатів, інтенсивності світла і температура навколишнього повітря для фотоелектричних систем). Матриця перетворення може бути налаштована відповідно до технічних специфікацій установки та / або оцінці на основі історичних свідчень потужності і метеорологічних вимірювань шляхом застосування нейромережевих алгоритмів (в кроці автономного аналізу).
4	Функція диспетчерських графіків.	Обчислює оптимізовані графіки (включаючи зобов'язання) для всіх установок, які адаптуються, таких як контракти, енергоблоки, сховища і гнучкі вимоги. Функція цілі полягає в різниці доходів за вирахуванням витрат, прибутку. Планування враховує параметри елементів моделі і їх топологічні зв'язки, які визначають фінансову інформацію, а також технічні, екологічні та договірні параметри і обмеження віртуальної електростанції.
5	Функція керування виробництвом електроенергії.	Передбачає контроль і нагляду за всіма генеруючими потужностями і обладнанням акумуляції VPP. Залежно від режиму керування відповідного блоку (незалежний, ручний, за розкладом або режим керування) і параметрів блоку (мінімальна / максимальна потужність, градієнт потужності, енергоемність), фактичного стану (в роботі, в очікуванні, віддалений запуск, дистанційне керування, збій) та фактичної потужності блоку, розраховуються команди на пуск / зупинка та уставки потужності для блоків, що передаються через командний інтерфейс.

№ з/п	Функція DEMS	Характеристика функції DEMS
6	Функція керування споживанням електроенергії.	Передбачає контроль і спостережуваність за всім гнучким навантаженням VPP. Клас гнучкого навантаження може містити один або кілька груп навантаження з однаковим пріоритетом, коли одна група навантаження може бути включена або виключена повністю за допомогою однієї комутаційної команди. Залежно від режиму керування класу навантаження (незалежний, за розкладом або в режимі керування) і фактичного комутаційного стану, стану фактичного елемента керування, фактичного енергоспоживання і допустимого часу керування груп навантаження, розраховуються необхідні команди на перемикання для забезпечення уставки загального навантаження і передається через командний інтерфейс (застосовується циклічне відключення навантаження групи навантаження одного класу).
7	Функція моніторингу енергообміну.	Обчислює очікуване відхилення узгодженого графіка обміну енергією в поточний обліковий період (15, 30 або 60 хв.) і значення необхідної корекції потужності для підтримки обміну за графіком. На основі фактичного енергоспоживання в поточному звітному періоді та фактичною тенденцією обміну потужності, в кінці звітного періоду розраховується передбачувана енергії обміну. Різниця між цим значенням і значенням узгодженого обміну, поділене на час, що залишився звітного періоду, дає значення необхідної загальної корекції потужності, яка необхідна для підтримки графіка узгодженого обміну в кінці розрахункового періоду. Це значення передається функції оптимізації і координації в реальному часі для подальшої обробки.
8	Функція оптимізації та координації в реальному часі.	Відправляє загальне значення корекції енергії на всі окремі блоки генерації електроенергії, пристрої зберігання і гнучкі класи керованих навантажень.

Паралельно з лібералізацією енергетичних ринків, децентралізація виробництва електроенергії, тепла і холоду реалізуються в рамках концепції віртуальної електростанції (virtual power plant, VPP). VPP являє собою сукупність малих і дуже малих децентралізованих генераторів електроенергії, контрольованих і керованих системою керування виробництвом і розподілом енергії більш високого рівня. Для забезпечення успішної роботи віртуальних електростанцій необхідна наявність низки ключових технічних компонентів, кожен з яких виконує важливу функцію для ефективного управління та оптимізації енергетичних ресурсів. Система управління виробництвом і споживанням енергії виступає основою, яка забезпечує відстеження, планування та оптимізацію роботи децентралізованих силових агрегатів. Завдяки цьому

можливо ефективно балансування між генерацією та споживанням.

Система прогнозування навантажень виконує функцію короткострокового та дуже короткострокового аналізу, що дозволяє прогнозувати енергоспоживання в межах від однієї години до року. У свою чергу, система прогнозування виробництва відновлюваних джерел енергії, інтегруючи дані про погодні умови, забезпечує точні розрахунки продуктивності вітряних електростанцій і сонячних панелей. Це дозволяє адаптувати роботу мережі до генерації умов, що змінюються.

Система управління даними енергетики, яка збирає та архівує інформацію, що необхідна для оптимізації та прогнозування. Серед цих даних — профілі виробництва, навантаження, а також контрактна інформація для забезпечення безперебійного постачання електроенергії споживачам. Ключовим елементом є також потужний інтерфейс зв'язку, який забезпечує взаємодію між системою керування генерацією і споживанням енергії та децентралізованими силовими агрегатами, що сприяє інтеграції та підвищенню ефективності роботи в усіх системах.

Для функціонування VPP потрібний двонаправлений зв'язок між децентралізованими силовими агрегатами генерації електроенергії і центральною системою керування виробництвом і споживанням енергії.

Параметрування прогнозу базується на кількох операційних показниках, зокрема таких, як середня похибка прогнозу на добу або абсолютна похибка на добу або на періоді прогнозування. Залежно від основної мети VPP, вимоги до методів прогнозування можуть змінюватися. Якщо основна мета полягає у зниженні пікового навантаження або балансуванні енергії, прогноз повинен бути дуже точним у піковий час або час з високими цінами на неї. Алгоритми прогнозування повинні вміти швидко пристосовуватися до нових ситуацій.

На основі результатів роботи алгоритмів прогнозу і фактичного стану VPP, навантаження у зоні відповідальності може забезпечуватися за допомогою децентралізованих силових агрегатів чи існуючих енергетичних контрактів.

1.4. Огляд систем підтримки прийняття рішень в енергетичних системах

Під час роботи Smart Grid можуть виникати проблеми та помилки, тому потрібно постійно контролювати стан її роботи. Також необхідно здійснювати управління мережею для забезпечення балансу між виробництвом та споживанням електричної енергії. Для інформаційної підтримки управління енергетичною інфраструктурою широко використовуються інформаційні системи.

Загалом в процесах управління Smart Grid розглядається двосторонній потік електроенергії та даних між постачальниками та споживачами, інформацію щодо навантаження та прогнозування генерації за рахунок ВДЕ.

В загальному процес інформаційної підтримки для різних рівнів роботи Smart Grid можна подати у вигляді схеми представленої на рис.1.2. [11].



Рисунок 1.2. Задачі інформаційної підтримки в системах Smart Grid

Важливим є актуальність та широкий спектр даних, які надходять від розумних лічильників в режимі реального часу, а також інформації, якою

обмінюються інтегровані інформаційні системи, що забезпечують підтримку різного рівня. Це вимагає пошуку рішень для використання та подальшого керування в режимі реального часу великим обсягом даних, створених великою кількістю розумних лічильників та різних інформаційних систем, що використовуються для вирішення окремих питань стосовно планування, реалізації та керування енергетичними системами.

Таким чином, у процесі управління енергосистемою щохвилини з'являються сотні фрагментів інформації, що описують виробництво, технічне обслуговування, роботу системи та результати роботи систем інформаційної підтримки. Крім цього, слід досліджувати такі функції, як прогнозування навантаження, реагування на попит, перемикання генеруючих потужностей і розширене обслуговування попиту.

Таким чином у процесі прийняття рішень для керування Smart Grid постають виклики, що стосуються наявності великих даних у Smart Grid. Вони можуть бути розподілені на три основні групи (рис. 1.3). До них належать проблеми даних, проблеми керування даними та проблеми аналітики даних.

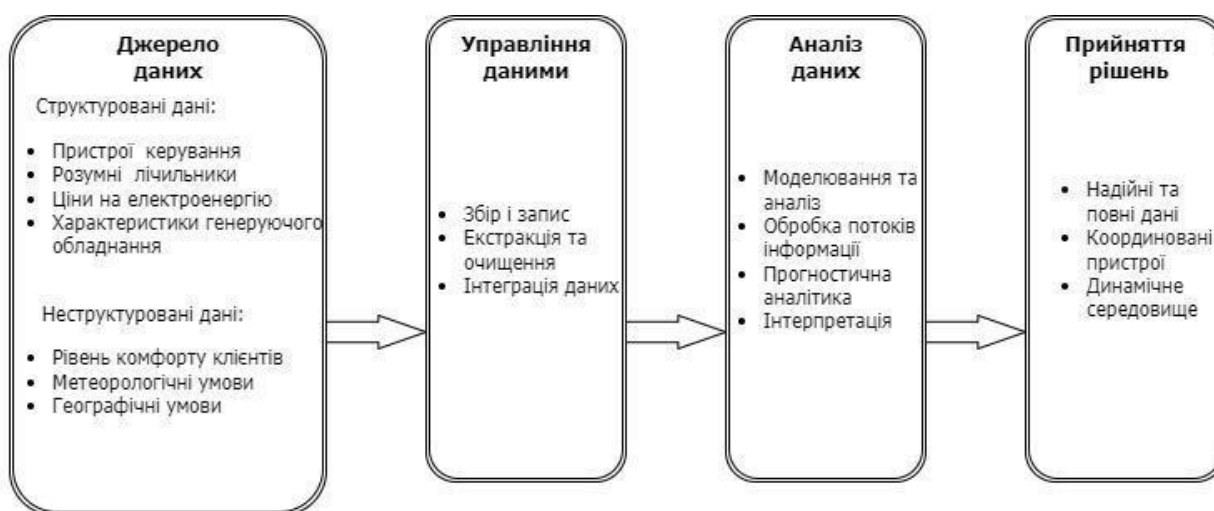


Рисунок 1.3. Проблеми даних в процесі прийняття рішень

В процесі прийняття рішень на основі даних стосовно керування Smart grid виникають наступні проблеми:

Рішення, які раніше ґрунтувалися на певній інформації та розрахунках, доцільно приймати на основі потоку даних. Отримуються дані, що мають різні властивості та призводять до деяких проблем, що стосуються обсягу, різноманітності і швидкості. Обсяг даних постійно збільшується, управління ним є проблемою, оскільки обсяг даних масштабується швидше, ніж швидкість комп'ютерних ресурсів. Швидкість означає швидкість генерації даних і час на їх обробку та аналіз. Більшість аналітичних підходів не в змозі впоратися з цим величезним і швидким потоком даних. Різноманітність даних, що генеруються, також розширюється, і можливість обробки цих даних ускладнюється. Необхідно змінити методи, які використовуються для планування та управління процесом, щоб досягти потенціалу великих даних.

Швидке зростання даних Smart Grid стикається з проблемою керування ними, одночасно забезпечуючи безпеку та надійність електромережі. Проблеми управління мають забезпечувати збереження даних доступними та придатними для використання, узгоджуючи це з усіма відповідними законодавчими та нормативними документами щодо безпеки даних. Якщо дані використовуються для підтримки складного аналізу та прийняття рішень, то вони мають бути точними та повними. Розподілений інтелектуальний аналіз має базуватися на практичному і теоретичному аналізі, щоб вибрати корисні дані для прийняття рішень щодо великих обсягів даних.

Часто зібрані великі дані не є готовими для аналізу за допомогою деяких методів, якщо не розглядаються деякі проблеми, такі як неоднорідність і неповнота. Незважаючи на те, що дані фільтруються, деякі помилки в даних залишаються. Ці помилки необхідно усунути під час аналізу даних [12].

Для вирішення цих фундаментальних проблем використовуються системи підтримки прийняття рішень при управлінні Smart Grid. Основна роль такої системи полягає в підвищеній відмовостійкості мережі.

СППР – інформаційні системи, які використовують обладнання, програмне забезпечення, дані, базу моделей і роботу менеджера з метою підтримки всіх стадій прийняття рішень у процесі аналітичного моделювання [13].

Розглянемо типову архітектуру системи підтримки прийняття рішень для Smart Grid (рис 1.4) [14].

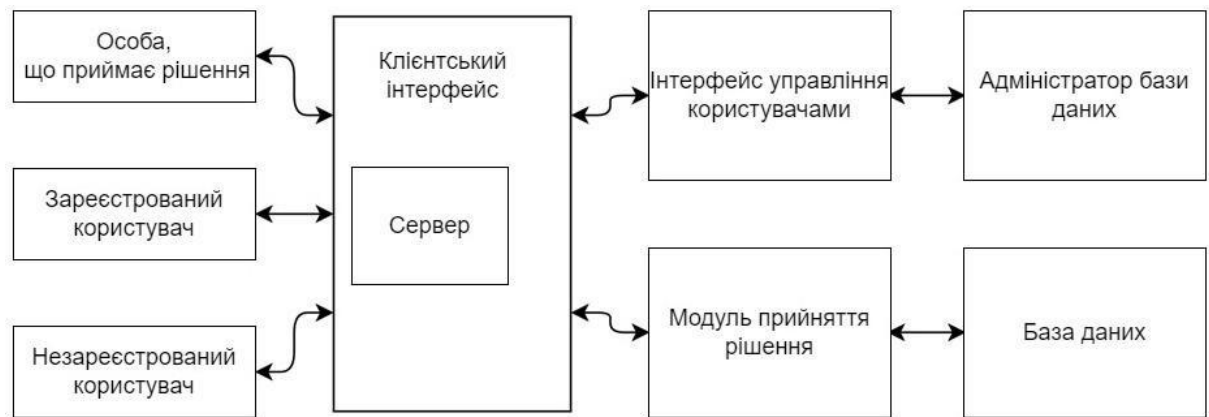


Рисунок 1.4. Архітектура системи підтримки прийняття рішень (DSS)

Платформа Smart DSS, може бути реалізована у вигляді клієнт-серверного веб-додатку. Модуль на стороні клієнта дозволяє користувачеві реєструватися і згодом виконувати операції по визначенню та управлінню як моделями, так і екземплярами, а саме такі, як створення, модифікація, клонування, збереження і видалення. Крім того, клієнт пропонує можливості визначення логічних функцій, оцінки значення, ваги критеріїв прийняття рішень і для розрахунку коефіцієнтів остаточного рішення. Серверна частина працює як інтерфейс для управління на стороні клієнта і адміністрування користувачів, а також інтерфейс до реляційної бази даних SQL.

Система забезпечує використання чотирьох основних типів користувачів, кожен із яких має свої функціональні можливості та рівень доступу до даних. Гостьовий користувач не потребує аутентифікації та має обмежений доступ до базових функцій системи, що дозволяє ознайомитися з її можливостями без внесення змін. Зареєстрований або просунутий користувач після проходження реєстрації отримує розширені можливості, зокрема зміну моделей і екземплярів даних, які дають змогу покращити систему відповідно до своїх потреб.

Особою, яка приймає рішення (ОПР), може виступати як зареєстрований

користувач із додатковими правами, які надані адміністратором, так і енергоменеджер, який слідкує за працездатністю системи. ОПР отримує доступ до створення нових моделей і екземплярів, їх збереження, редагування, та видалення, а також можливість імпорту даних між екземплярами цієї моделі. Ця роль дозволяє приймати ключові рішення в управлінській системі та здійснювати її адаптацію під конкретні задачі.

Адміністратор має найбільші можливості в системі, без винятку виконання всіх функцій, доступних для ОПР, повністю керує всіма зареєстрованими користувачами. Це включає призначення, зміну та видалення ролей користувачів, а також повний контроль над усіма даними та процесами в системі. Таким чином, система забезпечує багаторівневу організацію доступу, що гарантує ефективність і безпеку її використання.

Сервер функціонально розділений на два основних модуля: модуль DSS і інтерфейс управління користувачами. Перший відповідає за управління модулями та екземплярами DSS, а також операції, виконувані над ними користувачами, відповідно до їх ролей і привілеїв. Останні використовуються адміністратором для управління різними типами зареєстрованих користувачів і ролей. Кожен з цих двох модулів складається з інтерфейсу клієнт / сервер, ядра модуля та додаткового інтерфейсу, призначеного для управління інформацією, зібраної або, що зберігається в базі даних SQL.

Користувацький інтерфейс веб-програми на стороні клієнта дозволяє користувачам виконувати операції в відповідно до їхніх привілеїв та ролей, тому інтерфейс візуалізації є важливим компонентом системи підтримки прийняття рішень.

Моніторинг та управління енергоспоживанням – процеси, спрямовані на зниження витрат на електроенергію в галузях промисловості та в приватному домогосподарстві. Такі системи цілодобово контролюють споживання енергії в різних приміщеннях чи локаціях.

Дані по використанню енергетичного потоку дають уявлення про споживання енергії в різних приміщеннях, або джерелах їх надходження, а також

дають нам інформацію про раптові зміни в потребах в енергії з додатковою інформацією, такою як конкретний час використання, чи інформацію про конкретний прилад: сонячна батарея чи заправна електростанція.

Платформа управління енергоспоживанням є прикладом використання Інтернету для моніторингу та управління енергоспоживанням. Це рішення дає змогу переглянути те, як люди використовують енергію та накопичувачі енергії і керують ними. Після підключення до даної системи, будь який прилад перетворюється на інтелектуальний простір з багатим набором функцій та можливостей для моніторингу та контролю енергоспоживання.

До переваг системи моніторингу можна зробити помітку на динамічності, оскільки об'єкти за якими спостерігають, постійно перебувають в зміні характеристик чи розвитку. Під час такого спостереження є можливість передбачити, збій об'єкта чи ймовірність небезпеки, в момент його роботи.

Розробка такої системи є необхідною для полегшення спостерігання використання енергії з сонячних батарей чи зарядної станції. А особливо при використанні спеціальних трекерів для спостерігання за сонцем, оскільки стаціонарно фіксовані накопичувачі, дають змогу виробити енергію тільки в певний проміжок часу. То такі трекери збільшують кількість згенерованої електроенергії приблизно на 35-50% [15], так як рухають батареї за сонцем.

Тому для покращення розуміння витраченої енергії доцільно впроваджувати такі СППР, які будуть не тільки обробляти дані, що використовуються для управління мікромережею, але і в короткий час візуалізувати данні у вигляді графіків та інших діаграм.

Окрім цього, при побудові інтелектуальних технологій підтримки прийняття рішень в задачах управління Smart Grid необхідно ідентифікувати проблеми, що стосуються керування даними та вирішити їх шляхом впровадження відповідних моделей збору, обробки, візуалізації даних та прийняття рішень. Кожен з процесів має бути розділений на підпроцеси, що стосуються вирішення конкретних питань, наприклад, планування структури енергосистеми, прогнозування споживання, тощо. В той же час всі моделі мають

бути пов'язані одна з одною та забезпечувати ефективне управління потоками даних у інтегрованій системі підтримки прийняття рішення [16, 17].

Висновки розділу 1.

В умовах сучасних енергетичних викликів та розвитку впровадження розподілених джерел енергії, інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень є ключовими для підвищення ефективності, гнучкості та надійності управління енергосистемою України. Впровадження системи підтримки прийнятих рішень дозволяє забезпечити оптимальне управління генерацією та розподілом, мінімізуючи втрати та забезпечуючи якість електропостачання.

Використання Smart Grid як технологічної платформи дозволяє інтелектуально обробляти великі обсяги інформації від генерації до споживання. Важливими елементами є розумні лічильники, автоматизовані системи керування, інтелектуальні мережі, які сприяють покращенню контролю та управлінню потоками електроенергії.

Впровадження Smart Grid та інтелектуальних рішень у розподілену генерацію потребує адаптації існуючих систем для інтеграції відновлюваних джерел. Інформаційно-комунікаційні технології та системи підтримки прийнятих рішень є критичними для точного прогнозування генерації та навантаження, що забезпечує стійкість енергосистеми до збурюючих ззовні втручань, що викликає нестабільність роботи.

РОЗДІЛ 2. ОПИС ТА ВИМОГИ ДО СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЮ МІКРОМЕРЕЖЕЮ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

2.1 Цільова аудиторія користувачів системи підтримки прийняття рішень для управління мікромережею з відновлюваними джерелами енергії

Цільова аудиторія системи підтримки прийняття рішень (СППР) для управління мікромережею з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ) є багатогранною та охоплює різні категорії користувачів, кожна з яких має свої потреби, цілі та завдання. Розробка такої системи передбачає детальне дослідження та врахування специфічних вимог користувачів для забезпечення максимальної ефективності та зручності у її використанні.

Основні категорії користувачів системи підтримки прийняття рішень включають різні групи з урахуванням їх потреб і ролей в керованих енергетичних системах. Енергетичні менеджери відповідають за управління локальними енергетичними системами. Діяльність включає планування генерації та споживання енергії, контроль їх стабільності енергопостачання та оптимізацію роботи мікромереж з урахуванням погодних умов і пікових навантажень. Для них важливі інструменти прогнозування, аналітики та автоматичних рекомендацій, які можуть надати швидкі й обґрунтовані рішення.

Власники приватних будинків і малих підприємств є важливою категорією користувачів, адже мікромережі з відновлюваними джерелами енергії часто обслуговують самі локальні громади. Вони зацікавлені в оптимізації власного споживання, скороченні витрат на енергію та моніторингу генерації, а також споживання в реальному часі. СППР для цієї категорії повинен мати інтуїтивно зрозумілий інтерфейс і забезпечувати простий доступ до рекомендацій щодо енергоефективності.

Інженери-розробники енергетичних систем працюють над проектуванням і впровадженням мікромереж з ВДЕ. Їхні основні завдання включають аналіз

ефективності роботи мережі, інтеграцію нових джерел генерації та створення моделей і сценаріїв системи роботи. Для них СППР повинен надавати аналітичні інструменти, детальні звіти та можливості моделювання.

Громадські та урядові організації створюють систему для отримання статистичних даних, моніторингу екологічних показників та доцільність впровадження ВДЕ. Вони потребують інструментів для створення звітів, інтеграції з іншими системами та доступу до накопичених даних. Усі ці категорії користувачів мають інтегрований підхід до управління енергетичними мікромережами, підвищуючи ефективність їх роботи.

Підходи до визначення цільової аудиторії базувалися на кількох ключових етапах. Спочатку був проведений детальний аналіз потреб користувачів, що включає опитування та інтерв'ю з представниками зацікавленої аудиторії. Ці дослідження дозволили зібрати важливу інформацію про запити, очікування та спеціальні вимоги до функціональної системи. Згодом, на основі зібраних даних, цільова аудиторія була сегментована за критеріями рівня доступу до енергетичних даних, ролі в процесі управління мікромережею та технічною підготовкою користувачів. Це дозволило сформулювати групи користувачів зі схожими потребами та очікуваннями.

На фінальному етапі для кожного сегмента розроблені типові профілі користувачів, які відображають їхні потреби та проблеми при користуванні системою. Такий підхід забезпечить глибоке розуміння цільової аудиторії та дозволить адаптувати функціональний інтерфейс системи до конкретних запитів кожної групи. Наприклад: *Олександр* - енергетичний менеджер, який прагне автоматизувати управління мікромережею (рис2.1). *Марія* - власниця будинку з сонячними панелями, яка хоче зменшити витрати на енергію (рис2.2)

Одним із основних завдань системи з урахуванням побажань персон є забезпечення прогнозування споживання та генерації енергії, що враховує динаміку попиту і погодні умови. Також СППР має забезпечити автоматичну оптимізацію розподілу енергетичних потоків, що дозволяє ефективно балансувати генерацію та споживання енергії в режимі реального часу.

Обов’язковою вимогою є візуалізація даних у зрозумілому для користувача форматі, що дає змогу швидко аналізувати ключові показники та приймати обґрунтовані рішення. Інтеграція системи з існуючими інфраструктурними рішеннями, такими як сонячні панелі чи акумулятори, забезпечує її функціональну сумісність із сучасними технологіями енергетичного сектора. Крім того, СППР повинна надавати користувачам доступ до рекомендацій на основі аналізу великих обсягів даних, що сприяє підвищенню ефективності прийнятих управлінських рішень.

Ретельне вивчення потреб користувачів і особливостей їх діяльності стало основою для створення системи, яка відповідає специфіці кожного сегмента. Це забезпечує зручність, функціональність та максимальну ефективність використання СППР у різних сценаріях експлуатації.



Олександр
Вік: 37 років
Освіта: Магістр електроенергетики
Рідне місто: Харків
Сім'я: Одружений, двоє дітей
Ким працює: Енергетичний менеджер

"Ефективність у роботі та стабільність енергопостачання — це мої ключові пріоритети. Я шукаю інструменти, які допоможуть мені приймати точні рішення та оптимізувати енергетичні потоки в умовах мінливих параметрів."

Цілі: • Забезпечити стабільне енергопостачання для споживачів мікромережі. • Оптимізувати розподіл енергетичних потоків між джерелами генерації та споживачами. • Використовувати прогнози щодо генерації та споживання для ефективного управління мікромережею. • Зменшити втрати енергії в мережі та підвищити її загальну ефективність. • Отримувати персоналізовані рекомендації щодо енергетичного балансу.	Розчарування: • Відсутність точних прогнозів щодо споживання електроенергії. • Низький рівень автоматизації процесів моніторингу та управління. • Труднощі в інтеграції нових відновлюваних джерел енергії. • Недостатньо адаптивний інтерфейс для відображення реального стану мікромережі.
--	--

Олександр працює енергетичним менеджером і відповідає за стабільне функціонування мікромережі з відновлюваними джерелами енергії. Його основне завдання — забезпечення оптимального балансу між генерацією та споживанням електроенергії. Для цього він потребує інструменту, який дозволить швидко оцінювати поточний стан мережі, прогнозувати майбутнє споживання та виявляти можливі проблеми.

Олександр прагне впроваджувати сучасні технології, такі як Smart Grid, для досягнення більш високої ефективності. Йому потрібен додаток, який інтегрує дані з різних джерел, забезпечує візуалізацію ключових показників і дозволяє приймати рішення в реальному часі. Олександр цінує простий і зручний інтерфейс, а також доступ до рекомендацій, заснованих на аналітиці великих даних.

Рисунок 2.1. Опис персони 1

 Марія Вік: 42 роки Освіта: Магістр економіки Рідне місто: Львів Сім'я: Заміжня, троє дітей Ким працює: Власниця малого бізнесу (фермерське господарство)	<i>"Ефективність у роботі та стабільність енергопостачання — це мої ключові пріоритети. Я шукаю інструменти, які допоможуть мені приймати точні рішення та оптимізувати енергетичні потоки в умовах мінливих параметрів."</i>	
	Цілі: — Зменшення витрат на електроенергію за рахунок оптимізації споживання. — Збільшення частки використання енергії від відновлюваних джерел. — Отримання прогнозів щодо генерації та споживання електроенергії для свого господарства. — Забезпечення стабільного енергопостачання у випадках збоїв у центральній мережі. — Автоматизація управління споживанням енергії в домогосподарстві.	Розчарування: — Високі витрати на електроенергію через недостатню інформацію про споживання. — Відсутність зручних інструментів для управління енергетичними ресурсами на локальному рівні. — Труднощі в інтеграції сонячних панелей до існуючої мережі. — Обмежений доступ до аналітики щодо ефективності роботи мікромережі..
	Марія — власниця фермерського господарства, яка активно впроваджує сучасні технології для оптимізації своєї діяльності. Вона прагне використовувати сонячні панелі та інші відновлювані джерела енергії, щоб знизити залежність від традиційних постачальників електроенергії та зменшити витрати. Основні завдання Марії — забезпечення безперебійного енергопостачання для потреб господарства та родини, а також отримання прогнозів щодо енергетичних витрат. Їй потрібен інструмент, який допоможе ефективно керувати генерацією та споживанням енергії, надаючи доступ до візуалізації даних і прогнозів. Марія шукає інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень, яка дозволить їй легко аналізувати ефективність використання енергоресурсів, враховувати зміну погодних умов та автоматизувати основні процеси управління.	

Рисунок 2.2. Опис персони 2

Проведений аналіз цільової аудиторії дозволяє сформулювати точні вимоги до функціоналу СППР, забезпечити адаптацію інтерфейсу користувача до різних категорій споживачів та максимально відповідати їхнім очікуванням

2.2. Основні функції СППР для оптимізації розподілу енергетичних потоків у мікромережі

Система підтримки прийняття рішень (СППР) для управління мікромережею з відновлюваними джерелами енергії є багатофункціональним інструментом, який спрямований на забезпечення ефективного, стабільного та раціонального використання енергоресурсів. Основна мета СППР полягає у створенні умов для оптимального управління потоками енергії, що забезпечить високий рівень енергоефективності, надійності постачання та адаптивності до зовнішніх умов [18].

Основні принципи розробки функцій системи підтримки прийнятих

рішень спрямовані на забезпечення її зручності, гнучкості та надійності. Інтуїтивність інтерфейсу є важливим принципом, що дозволяє користувачам із різним рівнем технічної підготовки ефективно взаємодіяти із системою. Простий і зрозумілий дизайн зменшує скорочення часу на навчання та адаптацію користувачів до нового програмного забезпечення.

Масштабованість функцій СППР забезпечує їхню адаптивність до змін у розмірах або конфігурації енергетичної інфраструктури. Це дозволяє легко інтегрувати нові компоненти, такі як додаткові джерела генерації чи споживання, без необхідності значних технічних доопрацювань. Така гнучкість системи забезпечує її актуальність у довгостроковій перспективі.

Особлива увага приділяється безпеці системи, яка включає захист даних від кіберзагроз [2]. Забезпечення конфіденційності та послідовності даних, що обробляються, є аспектом виробництва для підтримки довіри користувачів і систем стабільної роботи в умовах сучасних кіберзагроз. Ці принципи формують фундамент ефективної, надійної та зручної у використанні СППР, орієнтований на потреби користувачів.

Основні функції системи підтримки прийняття рішень (СППР) (рис.2.3) забезпечують її повнофункціональність та орієнтацію на ефективне управління енергетичними потоками в мікромережах [19]. Однією з головних функцій є прогнозування генерації та споживання енергії. Завдяки використанню сучасних методів машинного навчання, аналізу історичних даних і поточних показників, а також врахуванню погодних умов, система дозволяє передбачити короткострокове (добове) та довгострокове (тижневе, місячне) споживання енергії, оцінюючи змінність погодних факторів і формуючи прогнози навантаження для планування роботи енергосистеми [20].

Балансування енергетичних потоків у реальному часі є компонентом роботи СППР, що забезпечує узгодження між генерацією та споживанням енергії. Це досягається шляхом оптимального розподілу потоків, інтеграції акумуляторів для накопичення надлишкової енергії, а також автоматичного перемикання між джерелами енергії в умовах зміни потужності споживання.

Моніторинг стану енергетичної інфраструктури дозволяє в реальному часі отримувати інформацію про генерацію, споживання, технічний стан обладнання та візуалізувати ці дані у вигляді графіків та інтерактивних карт.

Функція оптимізації розподілу енергетичних ресурсів спрямована на зниження витрат енергії та витрат на її обслуговування. Управління діями при аварійних ситуаціях дає можливість оперативно виявляти збої, формувати план дій для їх ліквідації, а також пропонувати операторам відповідні рекомендації для їх запобігання.

Інтеграція з іншими системами, такими як метеорологічні служби, системи обліку енергоресурсів та розрахункові системи, розширює функціональні можливості СППР, роблячи її універсальним інструментом. Останній важливий аспект – налаштування користувацьких параметрів, що дозволяє адаптувати систему під індивідуальні потреби користувачів через вибір режимів роботи, параметрів енергоспоживання та інтеграції з мобільними додатками.



Рисунок 2.3. Основні функції СППР

Для функціонування СППР розроблено застосунок з назвою "GridMaster" - точно відображає функціональність та призначення застосунку (табл.2.1.):

"Grid" – це відсил на енергетичні мікромережі (energy grids), яке є ключовою частиною системи. Застосунок створений для моніторингу, управління та оптимізації роботи таких мереж.

"Master" – вказує на високий рівень контролю, аналітики та ефективності, який надає система. Вона виступає «майстром» у вирішенні завдань з управління енергетичними потоками, прогнозування та інтеграції джерел енергії.

Назва підкреслює компетентність застосунку в управлінні енергетичними мікромережами, акцентуючи увагу на його інноваційності, потужності та користі для користувачів.

Таблиця 2.1

Функціональність та призначення застосунку GridMaster

Функціонал	Опис
Моніторинг в реальному часі	Відображення стану мікромережі, включаючи генерацію, споживання та баланс енергії. Моніторинг роботи відновлюваних джерел енергії (сонячних панелей, вітряків).
Прогнозування	Аналіз даних щодо погодних умов для прогнозування генерації енергії. Прогнозування споживання енергії на основі історичних даних.
Планування енергетичних потоків	Оптимізація розподілу енергії між споживачами та генераторами. Формування графіків заряджання/розряджання накопичувачів енергії.
Аналіз ефективності	Оцінка ефективності використання ресурсів мікромережі. Порівняння фактичних та запланованих показників роботи.
Система сповіщень	Попередження про можливість перевантаження або збої в роботі мікромережі. Надсилення сповіщень про необхідність технічного обслуговування обладнання.
Інтерфейс для користувачів	- Адміністратор: управління системою, створення звітів, управління ролями користувачів. - Енергоменеджер: прийняття рішень щодо розподілу енергії та управління мікромережею. - Користувачі: перегляд споживання та рекомендації щодо енергозбереження.
Інтеграція з іншими системами	Взаємодія з системами управління будівлями (BMS). Інтеграція з мережею "розумних" пристроїв (IoT).
Звіти та аналітика	Формування звітів про стан мікромережі, її ефективність та використання ресурсів. Візуалізація даних графіки через та діаграми для аналізу.

Таким чином, розробка СППР з урахуванням зазначених функцій забезпечує комплексний підхід до управління мікромережею з ВДЕ. Це сприяє оптимізації використання енергоресурсів, зменшенню витрат, підвищенню стабільності роботи системи та задоволенню потреб користувачів.

2.3 Карта навігації інтерфейсу користувача застосунку

При використанні системи підтримки прийняття рішень для управління мікромережею з відновлюваними джерелами енергії, користувачі очікують інтуїтивний, зручний та ефективний інтерфейс. Вони прагнуть до швидкого доступу до інформації про стан мережі, генерацію, споживання енергії, а також можливості взаємодії з системою для прийняття управлінських рішень.

Ключовими аспектами ефективної карти навігації є забезпечення простоти доступу до функцій, логічність послідовності дій та зрозумілий інтерфейс. Користувачі повинні мати змогу швидко знайти необхідні розділи, переглянути стан системи, виконати аналіз даних та, за потреби, вжити відповідних дій.

Задача користувача: моніторинг стану мікромережі та прийняття управлінських рішень для оптимізації енергетичних потоків (рис.2.4.).

Взаємодія з додатком розпочинається з процесу авторизації, де користувач вводить дані свого облікового запису для доступу до системи. Після входу відкривається головна панель управління, яка містить загальну інформацію про стан мікромережі: рівень генерації та споживання енергії, стан акумуляторів та погодні умови, що впливають на роботу системи. Користувач має можливість переходу до спеціалізованих розділів, таких як «Генерація», «Споживання» або «Стан акумуляторів», щоб отримати детальну інформацію про роботу кожного компонента.

Розділ «Прогнозування» дозволяє користувачам переглядати прогнозні дані, зокрема, генерації та споживання, які базуються на аналізі попередніх показників та актуальних погодних умов. У розділі «Оптимізація» користувач може скоригувати розподіл енергетичних потоків, змінюючи перевагу генерації, використання акумуляторів або інших параметрів, залежно від актуальних

потреб мікромережі.

Система також містить розділ «Аварійні повідомлення», де користувач отримує інформацію про можливі збої, перенавантаження чи інші аварійні ситуації. Користувач може переглядати рекомендації щодо усунення проблеми та приймати рішення на основі отриманих даних та аналізу. Після внесення деяких змін параметри роботи системи зберігаються, і користувач повертається на головний екран.



Рисунок 2.4. Карта навігації СППР для управління мікромережею

Головна панель управління служить точкою швидкого доступу до ключових показників, що дозволяє користувачам оперативно оцінювати час у мікромережі. Розділ "Дані про генерацію" деталізує інформацію про генерацію кожного електричного джерела, зокрема ВДЕ. У розділі «Споживання енергії» відображаються дані про енергетичні потреби кожного споживача в системі. Прогноз моделюється на основі поточних і минулих даних, у розділі «Аварійні повідомлення» повідомляється про попередження та пропонується шляхи усунення можливих проблем. Оптимізаційні інструменти надають користувачам

можливість вводити коригування у роботу системи, забезпечуючи її адаптацію до змінюваних умов.

Така схема відображає ключові кроки взаємодії користувача з застосунком, демонструючи простоту та логічність навігації в системі. Вона забезпечує інтуїтивний інтерфейс, що дозволяє користувачам виконувати необхідні дії з мінімальними зусиллями.

Різні карти навігації для Олександра та Марії створені з урахуванням їх особистих характеристик, потреб та рівня технічної компетенції, що забезпечує персоналізований користувацький досвід та оптимізацію взаємодії із застосунком.

Олександр, як енергетичний менеджер, характеризується високою технічною підготовкою та прагненням швидкого доступу до даних для прийняття рішень. Його карта навігації акцентується на аналітичності та гнучкості. Головний екран надає йому доступ до таких ключових показників у реальному часі, як рівень генерації та споживання енергії, баланс мікромереж та стан акумуляторів. У розділі «Прогноз» він може швидко аналізувати майбутні сценарії роботи мікромережі за допомогою інструментів для візуалізації прогнозів генерації та споживання. Розділ "Балансування" дозволяє Олександрові відрізняти розподіл потоків енергії через інтерактивний інтерфейс. Вкладка «Аварійні повідомлення» забезпечує оперативний доступ до повідомлень про критичні події та рекомендацій дій для їх запобігання.

Марія, як користувач зі звичайними потребами, зосереджена на стабільності, простоті та комфорті у використанні системи. Її карта навігації має простий та інтуїтивний інтерфейс. Головний екран забезпечує базовий огляд стану мікромережі за допомогою графіків і піктограм, що легко зрозуміти без глибоких технічних знань. Розділ "Рекомендації" надає персоналізовані поради економії енергії та оптимального використання генерації. У розділі «Моніторинг» вона може отримати зведену інформацію про стан системи та прогнозовані дані без складної технічної деталізації. Додатково передбачено доступ до служби підтримки через зручний інтерфейс для запитів чи

консультацій.

Ключові відмінності між картами навігації для Олександра та Марії полягають у глибині доступу до даних, рівні деталізації інтерфейсу та типі взаємодії. Олександр використовує аналітичні інструменти для прийняття технічних рішень, а Марія орієнтується на автоматизовані рекомендації та простий інтерфейс. Таким чином, застосунок забезпечує кожній персоні зручність, функціональність і відповідність її цілям, що підвищує ефективність роботи та задоволеність користувачів.

2.4. Розробка прототипу системи підтримки прийняття рішень для управління мікромережею

Розробка прототипу системи підтримки прийняття рішень для управління енергетичною мікромережею є одним із ключових етапів створення продукту, який забезпечує ефективне управління розподілом енергетичних потоків між джерелами генерації та споживачами. Прототипування в цьому контексті дозволяє оцінити основні функції та взаємодію користувача з системою до етапу остаточного впровадження, що мінімізує ризики та підвищує ефективність розробки. При розробленні прототипу варто арахувувати моделі та режими роботи системи електропостачання з активним споживачем [21].

Прототипування виступає інструментом для моделювання і тестування ідей, які стосуються функціоналу, структури та інтерфейсу користувацької взаємодії. Головною метою є створення моделі системи, яка дозволяє ітеративно виправляти недоліки, адаптувати функціонал до потреб кінцевих користувачів і забезпечити точне уявлення про кінцевий продукт.

Однією з головних переваг прототипування є можливість зосередитися на ключових функціональних системах, виключаючи зайві елементи, які можуть ускладнити роботу. Завдяки ітеративному підходу вдається мінімізувати ризики, пов'язані з наявними недоліками функціоналу, дизайну чи інтерфейсу. Прототипування також забезпечує використання зворотного зв'язку від користувачів перед остаточним впровадженням системи. Це дозволяє не лише

покращити користувацький досвід, але й створити результат продукту, який можна адаптувати до нових вимог і умов експлуатації. Таким чином, прототипування виступає інструментом оптимізації процесу розробки, гарантуючи, що кінцевий продукт відповідає очікуванням користувачів та потребам мікромережі.

Процес розроблення прототипу СППР включає кілька важливих етапів, спрямованих на створення інтуїтивної, функціональної та ефективної системи управління енергетичною мікромережею. Першим етапом стало визначення цілей і ключових функцій системи. На цьому етапі було встановлено, що СППР має забезпечити моніторинг енергетичних потоків, прогнозування споживання, управління розподілом енергії та інтеграцію з відновлюваними джерелами енергії. Враховувалися особливості різних категорій користувачів, зокрема адміністраторів, технічного персоналу, енергоменеджерів та кінцевих споживачів.

На наступному етапі розроблялася концепція та ескізи інтерфейсу. Основна увага приділялася інтуїтивності взаємодії та забезпеченню швидкого доступу до основних функцій системи. Ескізи відображали загальний вигляд головного екрана з показниками генерації та споживання, інтерактивну карту мікромережі, а також розділи прогнозування, управління й аварійного реагування. Цей етап забезпечує концептуальну основу для подальшого візуального оформлення.

Візуальний прототип став наступним кроком у розробці. За допомогою спеціалізованих програм було створено інтерактивний дизайн, який продемонстрував вибір колірної гами, шрифтів, елементів розташування та загальну структуру інтерфейсу. Прототип орієнтований на зручність використання навіть для осіб без спеціальної технічної підготовки, що було ключовою вимогою проекту.

Функціональний прототип реалізував основні можливості системи, включаючи інтерактивне управління енергетичними потоками, налаштування параметрів мікромережі та автоматизоване прогнозування. Було впроваджено

можливість моделювання різних сценаріїв роботи, що дозволило перевірити функціональність і відповідність системи запитам користувачів.

Етап тестування перед перевіркою прототипу серед визначених користувачів, таких як адміністратори, енергоменеджери, та користувачі. Виявлені недоліки, наприклад, у навігації чи структурі інтерфейсу, мають бути оперативно усунуті.

На завершальному етапі проводиться вдосконалення й фіналізація прототипу.

Прототип СППР став основою для фінальної реалізації системи, враховуючи потреби цільової аудиторії та забезпечуючи високу якість взаємодії користувача із застосунком [22].



Рисунок 2.5. Прототип: Головний екран системи - вибір функціоналу для енергоменеджерів та користувачів-споживачів



Рисунок 2.6. Прототип: Моніторинг мікромережі

2.5. План тестування прототипу СППР для управління мікромережею

Розробка плану тестування прототипу системи підтримки прийняття рішень для управління мікромережею з відновлюваними джерелами енергії має на меті оцінку ефективності, функціональності та зручності використання продукту. Тестування дозволяє виявити можливі недоліки інтерфейсу та функціональності, а також перевірити відповідність розробленого рішення очікуванням користувачів [23].

Прототип орієнтований на вирішення таких завдань, як моніторинг параметрів генерації та споживання, управління потоками енергії, системи прогнозування роботи та прийняття оптимальних рішень на основі аналізу даних. Тестування дозволило оцінити наскільки ефективно система справляється з цими завданнями, а також оцінити зручність її використання.

В тестуванні брали участь адміністратори, енергоменеджери та кінцеві користувачі. Загальна вибірка складала 20 осіб, які представляли різні ролі в управлінні енергетичною інфраструктурою. Захід проходив у спеціалізованій лабораторії, яка імітує умови роботи мікромереж. Учасники використовували прототип для виконання реальних завдань, зокрема моніторингу, прогнозування, управління потоками енергії та реагування на аварійній ситуації.

Роль фасилітатора полягала у проведенні інструктажу, спостереженні за виконанням завдань та отриманні відгуків від учасників. Спостерігач забезпечував технічну підтримку і документував як виявлені недоліки, так і позитивні аспекти взаємодії користувачів із системою. Тестування охоплювало різні аспекти, включаючи перевірку доступу до ключових показників мікромережі, створення прогнозів енергетичних потоків, налаштування параметрів генерації та споживання, а також реагування на змодельовані аварійні ситуації.

Отримані результати дозволили виявити проблеми з навігацією, помилки візуалізації даних та ефективність функціонального програмного забезпечення для всіх категорій користувачів. На основі зібраних даних вдосконалено прототип, зокрема оптимізовано інтерфейс, покращено логіку управління

потоками енергії та інтегровано додаткові функції.

Загалом тестування сприяло підвищенню функціональності СППР, її відповідності потребам користувачів і готовності до практичного впровадження в управлінні мікромережею. Результати також забезпечили основу для подальшого вдосконалення системи.

Метрики оцінювання ефективності системи включали показники зручності використання та рівень задоволення користувачів. Юзабіліті оцінювалося за кількістю помилок, що виникли під час виконання завдань, а також за час, необхідним для їх виконання. Окремо, враховувалася кількість спроб, необхідних для успішного завершення поставлених завдань, що дозволило оцінити інтуїтивність та простоту навігаційних систем.

Задоволення користувачів визначалося через рівень позитивної оцінки інтерфейсу та функціональності СППР. Окрему увагу приділили оцінці комфортності роботи із системою, що включала враження користувачів від загального дизайну, зрозумілості функцій та швидкість доступу до ключової інформації. Ці показники стали основою для виявлення недоліків системи і подальшого вдосконалення, спрямоване на підвищення ефективності її використання та задоволення очікуваних користувачів.

Для планування тестування розглядаються особливості взаємодії із системою для трьох ключових ролей: адміністратора, енергоменеджера та кінцевого користувача (табл. 2.2.)

Таблиця 2.2

Зведений план тестування для всіх означених ролей тестувальників

Роль	Завдання	Мета тестування	Метод тестування	Критерії успіху
Адміністратор	1. Створення, редагування та видалення облікових записів.	Перевірити коректність додавання, редагування та видалення облікових записів.	Виконання CRUD-операцій через адміністративний інтерфейс.	Усі операції виконуються без помилок, права доступу налаштовані правильно.
	2. Налаштування параметрів	Перевірити можливість	Введення даних та збереження	Дані оновлюються

Роль	Завдання	Мета тестування	Метод тестування	Критерії успіху
	мікромережі (генерація, споживання, пріоритетні завдання).	редагування параметрів мікромережі.	налаштувань.	без збоїв, зміни коректно зберігаються.
	3. Резервне копіювання та відновлення даних.	Переконатися, що резервні копії створюються та відновлюються без втрат.	Використання функції резервного копіювання.	Система створює коректні резервні копії, відновлює дані без помилок.
	4. Моніторинг стану системи (логування, перевірка активності користувачів).	Перевірити функції моніторингу та логування активності.	Аналіз журналів дій та подій.	Логи відображають усі події системи, записи точні.
Енергоменеджер (персона 1)	1. Аналіз поточного стану мікромережі.	Переконатися, що всі дані про генерацію та споживання відображаються коректно.	Використання панелі моніторингу.	Дані на панелі відповідають реальним показникам.
	2. Планування оптимального розподілу енергетичних потоків.	Перевірити, чи функція планування працює коректно.	Ручне тестування інструменту планування.	Система генерує адекватні сценарії розподілу енергії.
	3. Прогнозування споживання на основі історичних даних.	Перевірити коректність прогнозів.	Аналіз прогнозів системи.	Прогнози відповідають очікуваним результатам.
	4. Генерація звітів про ефективність роботи мікромережі.	Перевірити функціонал створення звітів.	Генерація звітів за заданими параметрами.	Звіти створюються швидко, інформація точна.
Користувач (персона 2)	1. Перегляд інформації про поточний стан мікромережі (споживання, генерація).	Переконатися, що інформація відображається коректно.	Вхід до системи та перегляд основної інформації.	Дані доступні, відображаються без помилок.
	2. Введення даних про локальне споживання	Перевірити, чи користувач може змінювати	Введення нових даних через інтерфейс.	Зміни успішно зберігаються та оновлюються в

Роль	Завдання	Мета тестування	Метод тестування	Критерії успіху
	(коригування параметрів).	власні показники споживання.		системі.
	3. Використання рекомендацій щодо енергозбереження.	Перевірити, чи рекомендації відображаються коректно та зрозумілі для користувача.	Використання відповідного модуля в системі.	Рекомендації зрозумілі та відповідають реальним умовам.
	4. Відправка запитів до адміністратора через систему (запити на техпідтримку).	Перевірити, чи система дозволяє зручно відправляти та отримувати відповіді на запити.	Надсилання тестових запитів через інтерфейс.	Запити успішно надсилаються, відповіді отримуються вчасно.

Адміністратор управляє повним доступом до налаштування систем, управління користувачами, моніторингу роботи мікромережі та безпеки даних. Тестування перевірки функціональності створення, редагування та видалення облікових записів, налаштування параметрів мікромережі, проведення резервного копіювання та відновлення даних. Крім того, адміністратор перевіряє стабільність роботи системи під критичним навантаженням та її здатність до автоматичного реагування на аварійні випадки.

Енергоменеджер виконує функції моніторингу, оптимізації та управління мікромережами. Тестування його ролі включає перевірку точності відображення генерації та споживання в реальному часі, аналіз накопичених даних, роботу з прогнозами коротко- і довгострокового характеру, а також налаштування параметрів між різними джерелами генерації. Особливий акцент зроблено на здатності системи створювати звіти та реагувати на аварійні ситуації. Метрики ефективності включають час отримання даних, точність прогнозів і зручність інтерфейсу.

Користувач контролює особисте споживання та реагує на отримані рекомендації щодо його оптимізації. Тестування ролі користувача зосереджується на зручності перегляду даних про споживання, розумінні персоналізованих рекомендацій, а також персональному налаштуванні облікових

даних. Основна увага приділяється швидкості доступу до інформації та рівню задоволення інтерфейсом.

Рівень доступу та функціональність системи дозволяє глибоко тестувати для кожної ролі. Енергоменеджери потребують розширеного функціоналу для аналізу та управління потоками енергії. Кінцеві користувачі зосереджуються на отриманні простої та зрозумілої інформації для кращого споживання. Адміністратор забезпечує стратегічні завдання, включаючи налаштування ролей і забезпечення системи безпеки.

Тестування прототипу СППР дозволило виявити проблеми юзабіліті, оцінити функціональність системи та зібрати цінні відгуки користувачів. Це допоможе вдосконалити систему та забезпечити її відповідність очікуванням цільової аудиторії.

Висновки розділу 2.

В результаті виконання розділу 2 зроблені висновки, які підкреслюють важливість комплексного підходу до розроблення СППР, що включає врахування потреб користувачів, продуману функціональність, зручний інтерфейс і ефективне тестування:

Аналіз цільової аудиторії показав, що система підтримки прийняття рішень (СППР) для управління мікромережею з відновлюваними джерелами енергії має охоплювати різноманітні потреби різних категорій користувачів. Зокрема, енергетичні менеджери потребують інструментів для моніторингу та прогнозування, тоді як кінцеві користувачі, такі як власники будинків, очікують рекомендацій для оптимізації особистого енергоспоживання. Сегментація цільової аудиторії та розробка персон сприяли врахуванню специфічних запитів користувачів.

Розроблені функції СППР, включаючи прогнозування генерації та споживання, моніторинг параметрів мікромережі, оптимізацію розподілу енергетичних потоків і управління аварійними ситуаціями, забезпечують всебічний підхід до управління енергетичною інфраструктурою. Особливий

акцент зроблено на інтуїтивній візуалізації даних, що спрощує роботу користувачів різного рівня підготовки.

Розробка карти навігації врахувала ключові завдання користувачів, такі як моніторинг, прогнозування та управління потоками енергії. Карта навігації для різних категорій користувачів забезпечує оптимальну взаємодію з системою, дозволяючи швидко знаходити необхідні дані та приймати рішення. Персони 1 та 2 отримали різні сценарії навігації, що відповідають їхнім ролям у процесі управління мікромережею.

Розроблення прототипу СППР продемонструвала його основні функції та структуру, забезпечивши базу для тестування та впровадження системи. Прототипування дозволило зменшити ризики, пов'язані з недоліками інтерфейсу або функціоналу, та врахувати побажання цільової аудиторії. Це сприяло створенню продукту, адаптованого до сучасних вимог управління енергетичними мікромережами.

План тестування передбачив залучення різних категорій користувачів, включаючи енергетичних менеджерів, технічних фахівців і кінцевих споживачів. Це дозволило всебічно оцінити функціональність, юзабіліті та ефективність СППР. Тестування допомогло виявити проблеми юзабіліті, зібрати цінні відгуки та вдосконалити прототип.

РОЗДІЛ 3. ПЛАН ПРОЄКТУ РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ РОЗПОДІЛОМ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В МІКРОМЕРЕЖІ З ВДЕ

3.1 Визначення стейкхолдерів проєкту для впровадження СППР в управління мікромережею

Впровадження системи підтримки прийняття рішень для управління мікромережею з відновлюваними джерелами енергії є стратегічно важливим кроком у вдосконаленні енергетичних процесів. Цей розділ присвячений визначенню стейкхолдерів проєкту, їхніх ролей, очікувань та впливу на реалізацію [24].

Стейкхолдери охоплюють ключові групи, включаючи власників енергетичної інфраструктури, адміністрацію, операторів енергетичних мереж, кінцевих користувачів енергії, а також технічних спеціалістів. Розуміння інтересів цих зацікавлених сторін є необхідним для успішного впровадження СППР.

Замовники, серед яких енергетичні компанії та місцеві адміністрації, формулюють вимоги до системи, фінансують проєкт і контролюють його реалізацію. Їх інтерес полягає в оптимізації енергетичних потоків, забезпеченні стабільності мережі та підвищенні ефективності управління енергетичними ресурсами.

Енергоменеджери використовують систему для аналізу стану мережі, на основі даних СППР і впровадження оптимальних рішень. Їх інтерес полягає у доступі до інструментів прогнозування, планування та аналізу даних для ефективного управління мікромережею.

Споживачі енергії очікують отримати рекомендації щодо енергозбереження та підвищення якості обслуговування. Вони беруть участь у системах тестування та дають відгуки, що дозволяють адаптувати функціональність під їхні потреби.

Розробники та технічні спеціалісти відповідають за розробку, технічну підтримку та оновлення систем. Їх інтерес полягає в забезпеченні надійної

функціональності СППР та її інтеграції з іншими компонентами.

Регуляторні органи забезпечують відповідність системи законодавчим нормам і стандартам. Їхня роль здійснюється в контролі впровадження, перевірці дотримання вимог безпеки та відповідності технології встановленим правилам.

Таким чином, кожен стейкхолдер має свої конкретні інтереси та виконує важливу роль, яка успішно успішному впровадженню та ефективному функціонуванню СППР.

Реєстр стейкхолдерів наведено в табл 3.1.

Таблиця 3.1.

Реєстр стейкхолдерів

Зацікавлена сторона	Вплив на проєкт	Вплив результатів на сторону	Влада	Зацікавленість
Замовники	Формулюють вимоги, фінансують проєкт	Отримання ефективного інструменту управління	100%	100%
Енергоменеджери	Визначають необхідний функціонал СППР	Оптимізація управління енергетичними потоками	80%	90%
Споживачі енергії	Надають відгуки	Підвищення якості обслуговування	60%	80%
Розробники	Реалізують технічні рішення	Отримання досвіду та вдосконалення навичок	90%	90%
Регуляторні органи	Встановлюють стандарти	Відповідність законодавству	100%	70%

План впливу на стейкхолдерів передбачає кілька етапів для забезпечення їх активної участі в проєкті. Першим кроком є ідентифікація цікавих сторінок, яка включає визначення ролей, інтересів та очікувань кожного учасника. Після цього аналізується потреба стейкхолдерів, що дозволяє глибше усвідомити їхні інтереси та очікування від реалізації проєкту.

Наступним етапом є розроблення комунікаційної стратегії. Цей процес включає організацію регулярних зустрічей, проведення презентацій та консультацій, що забезпечують залучення стейкхолдерів та їхню інформованість. Паралельно з цим здійснюється управління очікуваннями, що забезпечують розміщення реалістичних цілей і переглядають інформацію про хід виконання проєкту.

Для забезпечення гнучкості в роботі впроваджується система моніторингу взаємодії зі стейкхолдерами. Це дозволяє своєчасно вносити зміни до комунікаційного плану відповідно до змін у об'єкті або новій цікавій сторінці.

Взаємодія зі стейкхолдерами створена за допомогою сучасних інструментів. Для онлайн-зустрічей і відеоконференцій пропонується MS Teams, тоді як управління завданнями і контроль за виконанням організовується в Jira. MS Outlook надає основний засіб для електронної кореспонденції, а MS Calendar використовується для планування заходів та зустрічей. Такий підхід забезпечує ефективну комунікацію та контроль над виконанням завдань, орієнтуючи проєкт на досягнення спільних цілей.

Наочне представлення стратегічний підхід до взаємодії з усіма стейкхолдерами, що забезпечує узгодженість їхніх інтересів та ефективну реалізацію проєкту наведено в табл.3.3.

Таблиця 3.3.

План впливу на зацікавлених сторін

Зацікавлена сторона	Потреба	Вигода від успіху	Стратегія взаємодії
Замовники	Створення СППР для оптимізації управління мікромережею	Ефективне управління енергопотокami, зниження витрат	Максимальна доступність через регулярні консультації
Енергоменеджери	Інструменти для планування, аналізу та прогнозування	Оптимізація енергетичних потоків	Регулярні зустрічі, навчальні тренінги
Споживачі енергії	Зрозумілі рекомендації, підвищення енергоефективності	Зниження витрат на енергію, покращення обслуговування	Залучення до тестування, збирання відгуків
Розробники	Читкі вимоги, зворотній зв'язок щодо функціоналу	Розвиток професійних навичок, успішний проєкт	Постійний обмін повідомленнями з іншими стейкхолдерами
Регуляторні органи	Відповідність СППР законодавчим нормам	Впровадження інновацій з дотриманням стандартів	Надання технічної документації, звітність

Ретельне врахування інтересів усіх стейкхолдерів забезпечить ефективне впровадження СППР в управління мікромережею, підвищить якість прийняття рішень і сприятиме стабільності енергетичних потоків.

3.2. Декомпозиція робіт: етапи розроблення, впровадження та тестування системи

Розроблення системи підтримки прийняття рішень для управління мікромережею з відновлюваними джерелами енергії потребує чітко визначеного плану етапів розроблення, впровадження та тестування. Створення дорожньої карти проекту процесу побудови стратегічної основи для успішного виконання ключових завдань [24].

Дорожня карта проекту - це стратегічний план, який забезпечує загальне бачення процесу розроблення СППР. У ньому визначено ключові етапи, напрямки та основні кроки для досягнення цілісності проекту.

Дорожня карта проекту побудована відповідно до вимог замовників, очікувань стейкхолдерів, технічних характеристик системи та забезпечує адаптивність до змін у процесі розробки. Кожен етап розробки узгоджується з зацікавленими сторонами, що сприяє ефективній координації роботи команд, зосередженню на пріоритетних завданнях та оптимізації використання ресурсів.

Процес реалізації проекту включає кілька ключових етапів. Перший етап - аналіз вимог, що забезпечує визначення функціональних можливостей системи, технічних вимог та обмежень. Розробляється прототип, який включає створення макетів інтерфейсу та функціоналу прототипу для перевірки основних функцій.

На етапі розробки основного функціоналу впроваджуються ключові модулі системи. Після цього відбувається інтеграція системи, що забезпечує з'єднання модулів в єдину архітектуру з коректним обміном даними між ними. Наступний крок - тестування, під час якого перевіряється відповідність системи вимогам, виявляються недоліки та усуваються помилки.

Етап впровадження системи в реальні умови експлуатації

супроводжується навчанням користувачів. Завершальний етап - моніторинг та підтримка, які забезпечують безперервну роботу системи, її оновлення та вдосконалення відповідно до змін вимог чи умов експлуатації. Такий підхід дозволяє реалізувати проект із забезпеченням якості, стабільності та відповідності очікуванням стейкхолдерів.

Для візуалізації переліку робіт над функціоналом СППР створено карту історії користувача, яка відображає задачі з розбиттям на етапи. Кожен етап, крок зосереджується на реалізації конкретного набору функцій системи.

Таблиця 3.1.

Карта історії користувача

Перелік задач	Умови завершення
US01: Створення базового каркасу	Реалізована структура інтерфейсу користувача
US02: Авторизація та реєстрація	Реалізовано функціональний вхід в систему для різних категорій користувачів
US03: Інтерфейс моніторингу	Забезпечено доступ до інформації про стан мікромережі
US04: Прогнозування споживання	Реалізовано модуль прогнозування енергетичного споживання
US05: Управління генерацією	Інтегровано функціональний управління джерелами відновлюваної енергії
US06: Звіти та аналітика	Реалізовано модуль виведення звітів щодо роботи мікромережі
US07: Управління аварійними станами	Додано функцію формування рішень під час аварійних ситуацій
US08: Тестування користувачами	Проведено тестування із залученням операторів, енергоменеджерів та кінцевих користувачів

Етап впровадження системи забезпечує всебічну підготовку користувачів, забезпечення доступу до основних функцій та перевірку працездатності через етапи тестування. На початковому етапі тестування перевіряється функціональність кожного окремого модуля. Далі слідує інтеграційне тестування, спрямоване на взаємодію між модулями перевірки. Системне тестування оцінює загальну роботу системи в умовах, близьких до реальних. Завершальним етапом є тестування з кінцевими користувачами, під час якого збираються відгуки для вдосконалення функціоналу.

Для адаптації карти історії користувача СППР в управлінні мікромережею

з відновлюваними джерелами енергії пропонується структура, яка враховує етапи розробки та функціональність системи. Спочатку користувачч необхідно ініціювати проект із формуванням особистісної бази в системі та налаштуванням доступів для користувачів, розроблення модулів прогнозування й аналітики, управління потоками енергії, а також створення зручного та персоналізованого користувацького інтерфейсу.

Епік включає формування архітектурної системи, реалізацію модулів прогнозування, управління генерацією та аварійним управлінням, створення інформаційних панелей для моніторингу та звітності, а також тестування та пілотне впровадження. Ці етапи забезпечують покроковий розвиток функціоналу.

Перша версія системи зосереджена на реалізації базових функцій: створення каркасу системи, налаштуванні модулів моніторингу, інтеграції із зовнішніми джерелами даних та проведення внутрішнього тестування. У другій версії функціонал розширюється за рахунок додавання аналітичних модулів, інтеграції аварійного управління та системи прогнозування. Значна увага приділяється покращенню користувацького інтерфейсу через розроблення зрозумілих панелей управління та впровадження персоналізованих рекомендацій для користувачів. На цьому етапі також виконуються польові тестування для перевірки роботи системи в реальних умовах, що дозволяє остаточно адаптувати її під потреби користувачів.

Таблиця 3.2.

Карта історії користувача (узагальнена) для СППР в управлінні
мікромережею

Теми	Епік	Історії користувачів	Реліз
Ініціація проекту	Формування архітектури системи	Створення каркасу, Авторизація/реєстрація, Профілі	Версія 1
Моніторинг і аналіз	Функціональні модулі	Прогнозування, Аналіз генерації, Відображення графіків	Версія 2
Управління мікромережею	Управління генерацією	Модуль аварійного управління, Планування потоків	Версія 2
Інтерфейс користувача	Інформаційні панелі	Панель моніторингу, Панель звітності, Персоналізація	Версія 2

Це дозволяє структурувати розробку системи, враховуючи етапність і логіку побудови функціоналу. Візуалізація етапів карти історії користувача представлено на рис 3.1

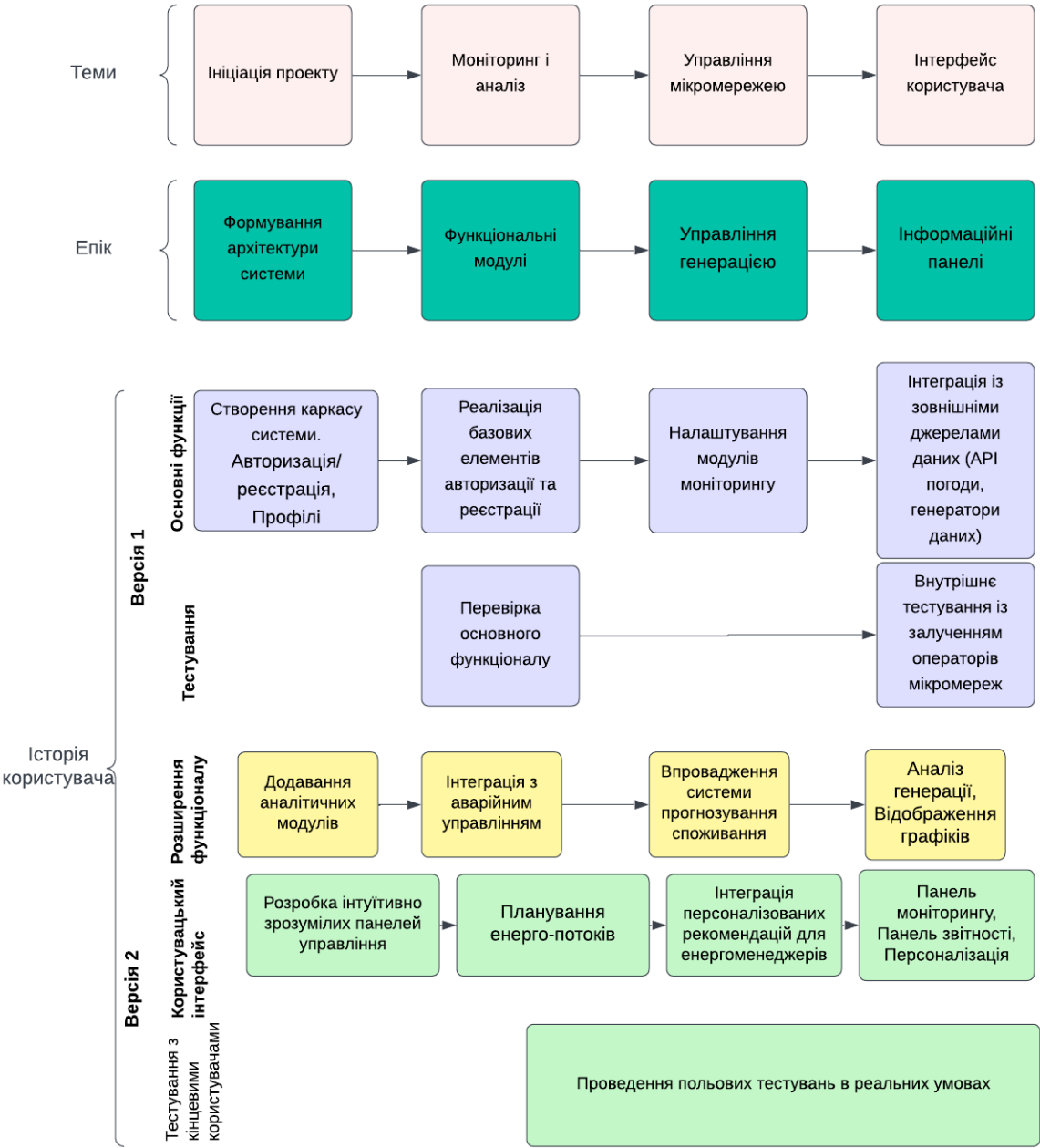


Рисунок 3.1. Карта історії користувача з розбиттям на етапи.

Цей підхід до декомпозиції робіт забезпечує ефективне планування, знижує ризики та успішному впровадженню СППР.

3.3. Реєстр ризиків, пов'язаних із реалізацією СППР для управління розподілом генерації електроенергії

Розробка системи підтримки прийняття рішень (СППР) для управління розподілом генерації електроенергії в мікромережах з відновлюваними джерелами енергії стикається з низкою ризиків. Для ефективного впровадження проекту був створений реєстр ризиків, який включає їх ідентифікацію, оцінку впливу та ймовірності виникнення, а також пропозиції щодо заходів управління. Цей розділ надає всебічний аналіз ризиків, пов'язаних з організаційними, технічними, зовнішніми факторами та управлінням проектом [25].

В табл. 3.3 представлено реєстр ризиків, що відповідає структурованому аналізу вибірових ризиків, які можуть виникнути під час реалізації проекту створення системи підтримки прийняття рішень для управління розподілом генерації електроенергії. У таблиці надано деталізовану інформацію про кожен ідентифікований ризик, включаючи його категорію, конкретний опис, можливість триггеру та наслідки. Це дозволяє не тільки враховувати основні загрози, а й краще зрозуміти, як вони можуть вплинути на хід проекту.

Кожен ризик поділений на категорії, такі як управління проектом, організаційні, технічні та зовнішні ризики. Наприклад, до категорії управління об'єктом належать такі загрози, як змінена вимога до об'єкта чи вихід за межі бюджету. Ці ризики можуть призвести до перевищення фінансових витрат або затримок у реалізації. У свою чергу організаційні ризики включають проблеми з комунікацією між замовниками та виконавцями чи нестачу людських ресурсів, які загрожують якістю проекту. Технічні ризики охоплюють складнощі, пов'язані з використанням нових технологій або зниженням продуктивності систем. Зовнішні ризики, такі як порушення електроенергії чи інтернету, можуть ускладнити робочі процеси.

Ключовим елементом таблиці є тригери, які сигналізують про виникнення ризику виникнення, та опис наслідків, які можуть статися у разі реалізації ризикового сценарію. Це дозволяє забезпечити глибше розуміння можливих впливів на строки, бюджет, якість та загальну ефективність проекту. Завдяки цій

структурі, таблиця не лише ідентифікує загрози зриву, а й сприяє побудові стратегії превентивного управління ризиками.

Таблиця 3.3.

Реєстр ризиків

Категорія	№	Ризик	Тригер	Наслідки
Управління проектом	1	Зміна вимог до проекту	Часті правки вимог замовником	Уповільнення розробки, перевищення бюджету
Управління проектом	2	Відставання за графіком	Відсутність ключових результатів на встановлені дедлайни	Затримка релізу, демотивація команди
Управління проектом	3	Вихід за рамки бюджету	Зростання витрат через недооцінку обсягу робіт	Зменшення фінансових ресурсів, затримка впровадження
Організаційні	4	Нестача людських ресурсів	Переобтяження членів команди, недотримання строків	Зниження якості розробки, вигорання команди
Організаційні	5	Проблеми комунікації із замовником	Нерегулярні відповіді замовника	Уповільнення прийняття рішень
Організаційні	6	Робота у позаурочний час	Значне відхилення за строками	Вигорання команди, зниження мотивації
Технічні	7	Використання нових технологій	Низький досвід команди в роботі з вибраними технологіями	Проблеми з інтеграцією, баги, уповільнення розробки
Технічні	8	Низька якість продукту	Збільшення кількості багів у процесі тестування	Погіршення користувацького досвіду, перевитрати на усунення дефектів
Технічні	9	Недостатня продуктивність системи	Перевантаження серверів	Втрата довіри клієнтів, погіршення стабільності системи
Зовнішні	10	Проблеми з інфраструктурою	Відсутність електроенергії, інтернет-зв'язку	Відтермінування виконання завдань, уповільнення роботи
Зовнішні	11	Відсутність підтримки з боку регуляторних органів	Зміни законодавства, які ускладнюють інтеграцію СППР	Необхідність додаткової розробки або змін функціоналу

В табл 3.4. зведено детальний аналіз можливих ризиків з точки зору їх впливу на ключові параметри реалізації проекту впровадження системи підтримки прийняття рішень для управління розподілом генерації

електроенергії. У таблиці оцінюються затримки в часі, фінансові втрати, ймовірність виникнення ризику, частота його повторення та сукупний показник важливості ризику для проекту. Цей аналіз спрямований на прогнозування та підготовку до наявних проблем, щоб мінімізувати їх негативний вплив на об'єкт.

Таблиця 3.4.

Вплив ризиків на обмеження та цілі проекту

№	Ризик	Часові затримки (дні)	Фінансові втрати (грн)	Ймовірність (%)	Частота виникнення	Важливість
1	Зміна вимог до проекту	10	50,000	70	2	84
2	Відставання за графіком	15	40,000	65	3	78
3	Вихід за рамки бюджету	20	100,000	50	1	50
4	Нестача людських ресурсів	10	30,000	60	2	72
5	Проблеми комунікації	5	10,000	50	2	50

Для кожного ризику розглядаються два ключові аспекти - час та фінанси. Наприклад, ризик затримки через зміни вимоги до проекту оцінюється з точки зору видимого подовження строків виконання робіт, які можна включити на фінансові витрати через необхідність додаткових ресурсів або змін у планах. Водночас ризики, пов'язані з використанням нових технологій або недостатньою комунікацією із замовниками, можуть призвести до зниження якості кінцевого продукту та комплексності у виконанні проекту в межах бюджету.

Таблиця також враховує ймовірність виникнення ризиків та їхню частоту течії всього життєвого циклу проекту. Наприклад, ризик нестачі людських ресурсів оцінюється як середньої ймовірності, але з високою значимістю, після чого можна суттєво вплинути на строки реалізації. У той же час ризики, пов'язані з відсутністю можливості працювати через зовнішні ресурси, мають високу ймовірність і значний вплив, що робить їх пріоритетними для профілактичних заходів.

Особливу увагу приділено сукупному показнику важливості ризику, який розраховується шляхом множення впливів на ймовірність виникнення ризику. Це дозволяє прогнозувати, який з ризиків є найбільш критичним для успіху проекту. Наприклад, ризик, пов'язаний із низькою якістю проекту, отримав високий комплексний показник важливості, що спонукає більше звернути увагу на моніторинг та управління.

Табл. 3.4. дає змогу систематизувати ризики, розставити переваги в їхньому подоланні та оцінити вплив кожного ризику на основні обмеження та цілий проект. Після цього команда проекту зосередить зусилля на найбільш критичних аспектах, зменшить ймовірність виникнення проблеми та забезпечить стабільність реалізації проекту в умовах обмеженого бюджету, строків та ресурсів.

Структурований підхід до управління ризиками, які можуть виникнути в процесі реалізації проекту впровадження системи підтримки прийняття рішень) з управління розподілом генерації електроенергії зведено в табл 3.5. При формуванні акцентовано увагу на ідентифікації ризикових подій, тригерів (тобто ранніх ознак, які вказують на ймовірність виникнення ризику) та плануванні відповідних дій у трьох етапах: запобігання ризикам, реагування при виявленні тригерів і заходи у разі встановлення ризику.

Кожна подія ризику в таблиці описується з урахуванням її наслідків, таких як вплив на строки виконання, якість проекту, фінансові витрати та інші аспекти. Наприклад, для ризику "відсутність можливості працювати" (через проблеми з Інтернетом чи електропостачанням) пропонуємо профілактичний захід у вигляді забезпечення резервного живлення та встановлення Starlink. При виникненні тригера пропонується негайне інформування команд про інструкції дій у подібних ситуаціях, а у випадку виникнення ризику – забезпечення можливості працювати з альтернативних локацій або залучення команд із регіонів, де відсутні подібні проблеми.

Особливу увагу приділено заходам із запобігання ризикам. Наприклад, для ризику "використання технологій, з якими команда не мала досвіду",

протиризиковим заходом є організація тренінгів для команди ще до початку активної розробки. При появі тригерів (проблема з якістю коду чи швидкодією) передбачається аудит поточного стану продукту, а у разі реалізації ризику - залучення додаткових ресурсів чи експертів і, за необхідності, адаптація технологічного підходу.

Таблиця 3.5

Протиризикові заходи

№	Ризикова подія	Тригер	ПРЗ 1 (Запобігання)	ПРЗ 2 (Реакція на тригер)	ПРЗ 3 (Усунення наслідків)
1	Зміна вимог до проекту	Часті запити змін	Чітке документування вимог	Регулярні зустрічі з замовником	Перегляд графіку розробки
2	Відставання за графіком	Відсутність проміжних результатів	Додаткова автоматизація	Залучення додаткових ресурсів	Корекція графіку
3	Використання нових технологій	Низька продуктивність команди	Проведення тренінгів	Перегляд архітектурних рішень	Усунення вузьких місць
4	Проблеми комунікації із замовником	Нестабільний зв'язок	Використання онлайн-інструментів для комунікації	Призначення координатора комунікації	Перерозподіл завдань
5	Відсутність електроенергії або інтернет-зв'язку	Тривалі перебої в інфраструктурі	Використання альтернативних джерел живлення	Інформування членів команди	Залучення нових регіональних учасників

Крім того, табл 3.5. охоплює заходи для зменшення наслідків таких критичних ризиків, як необхідність зміни підходу до роботи, низька якість проекту або затримки в комунікації із замовником. таким чином, для кожного ризику детально прописані дії, які не дозволяють зменшити вплив ризикової події та мінімізувати затримки чи додаткові витрати.

Ключовою особливістю таблиці є багаторівневий підхід до управління ризиками, який охоплює всі етапи життєвого циклу ризику - від його запобігання до реагування на його реалізацію. Такий формат дозволяє підготуватися до можливих викликів, оптимізувати ресурси та забезпечити стабільність реалізації проекту навіть у разі виникнення непередбачуваних умов. Це робить таблицю

потужним інструментом управління ризиками, що сприяє досягненню ключових цілей проекту без перевищення бюджету чи термінів

3.4 План інтеграції СППР в мікромережі з урахуванням специфіки відновлюваних джерел енергії

Інтеграція системи підтримки прийняття рішень у мікромережу з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ) є складним і багатоетапним процесом, що вимагає врахування технічних, організаційних та економічних аспектів. План розроблено для забезпечення максимальної ефективності функціонування мікромережі шляхом інтеграції технологій СППР із генераторами, споживачами та системами зберігання енергії [26].

Основна мета інтеграції СППР – забезпечення стабільного функціонування мікромережі шляхом оптимізації генерації, розподілу та споживання енергії з урахуванням нестабільності ВДЕ, таких як сонячні та вітрові установки. Це дозволить підвищити енергоефективність, зменшити втрати енергії та мінімізувати вплив зовнішніх факторів на роботу мікромережі [27].

Основні етапи інтеграції передбачають комплексну роботу, спрямовану на забезпечення ефективної інтеграції системи підтримки прийнятих рішень у мікромережі з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ). Початковим кроком є детальний аналіз існуючої інфраструктури мікромережі, який включає дослідження типів і характеристик ВДЕ, систем управління, стан акумуляторів та параметрів енергоспоживання. Цей етап завершує створення карт мікромережі, що окреслює ключові точки підключення СППР.

Наступним етапом є розробка технічних вимог, які враховують специфіку роботи ВДЕ. Це забезпечує визначення алгоритмів прогнозування генерації енергії, моделей балансування генерацією та споживання, а також механізмів для управління аварійними ситуаціями. Після цього відбувається розроблення інтеграційних протоколів та інтерфейсів, які забезпечують обмін даними між СППР і компонентами мікромережі. Особлива увага приділяється забезпеченням сумісності систем зі стандартами, такими як IEC 61850.

Додатковим етапом є впровадження основних функціональних модулів СППР, серед яких модулі прогнозування, моніторингу, оптимізації та аварійного управління. Модуль прогнозування оцінює рівень генерації від ВДЕ залежно від погодних умов, тоді як модуль моніторингу забезпечує аналіз поточного стану компонентів мікромережі. Модуль оптимізації розраховує режими роботи системи, а аварійний модуль розробляє сценарії дій у разі виникнення відмов чи надзвичайних ситуацій.

Перед реальним впровадженням процес тестування в симуляційному середовищі для перевірки алгоритмів управління, прогнозування та аварійного реагування. Більше після цієї системи інтегрується в реальну мікромережу. Цей процес реалізується поетапно, починаючи з підключення та налаштування модулів моніторингу, інтеграції алгоритмів прогнозування, впровадження модулів оптимізації та аварійного управління та завершуючи налаштування інтерфейсів для взаємодії зі споживачами та операторами.

Завершальним етапом є моніторинг і коригування роботи СППР в реальних умовах. Упродовж тривалого періоду збираються дані про ефективність роботи системи, її вплив на стабільність мікромережі та відгуки користувачів. За потреби коригування алгоритмів і інтеграції протоколів для забезпечення максимальної ефективності роботи системи.

Інтеграція системи підтримки прийняття рішень у мікромережі з відновлюваними джерелами енергії має враховувати специфіку таких мереж, що обумовлено їх особливостями та вимогами до ефективного управління. Основною проблемою є нестабільність генерації енергії через зміну погодних умов і непередбачуваність роботи ВДЕ. СППР має враховувати ці фактори при прогнозуванні таких змін, балансуванні енергетичних потоків та адаптації режимів роботи систем до динамічних умов. Обмеженість потужності акумуляторів також є фактором, який потребує оптимізації їх використання. Завдяки СППР, досягається ефективний розподіл заряду акумуляторів для мінімізації витрат та забезпечення стабільності енергопостачання.

Ще одним аспектом інтеграції є взаємодія мікромереж із загальною

розподільчою мережею. СППР забезпечує узгодження параметрів підключення для запобігання можливим перевантаженням, підтримуючи стабільність загальної енергосистеми. Інтеграція включає також облік характеристик мікромережі, таких як рівні навантаження, стан компонентів та прогноз споживання.

Очікувані результати впровадження СППР у мікромережі з ВДЕ відображають значний потенціал підвищення їхньої ефективності. Крім того, інтеграція дозволяє забезпечити стабільність роботи мікромережі навіть за умов нестабільності рівня генерації, оптимізувати потоки енергії та зменшити втрати. Завдяки автоматизації процесів прийняття рішень, покращується якість управління, що, своєю чергою, сприяє надійному енергопостачанню та економії ресурсів. Автоматизація роботи, а також гнучкість і швидкість реагування системи на зміни, забезпечують її стійкість у довгостроковій перспективі.

Цей план інтеграції є ключовим етапом для успішного впровадження СППР у мікромережу з відновлюваними джерелами енергії та досягнення її максимальної ефективності.

3.5 Канва бізнес-моделі продукту: Система підтримки прийняття рішень з управління розподілом генерації електроенергії

Канва бізнес-моделі для систем підтримки рішень в управлінні розподілом генерації електроенергії в мікромережах з відновлюваними джерелами енергії є фактичним інструментом для аналізу та розробки стратегії продукту. Вона систематизує основні аспекти створення, доставки та утримання цінності, що забезпечують СППР, допомагаючи усвідомити її вплив на ключові інтереси та ринок [29].

Ключові партнери. Для успішного впровадження СППР стає партнером з виробниками обладнання для ВДЕ, операторами мікромереж, регуляторними органами та інженерними компаніями. Ці партнери забезпечують технічну сумісність, відповідність стандартам і підтримку впровадження систем. Співпраця з університетами та дослідницькими інститутами вдосконалення

алгоритмів та прогнозування може сприяти розвитку продукту.

Пропозиція цінності. СППР забезпечує системи ефективного управління енергетичними потоками в мікромережах, оптимізуючи генерацію та споживання енергії, знижуючи витрати та підвищуючи стабільність роботи. Система пропонує персоналізовані рекомендації для енергоменеджерів, інтегрує інструменти для моніторингу, прогнозування та автоматизованого прийняття рішень.

Канали просування. Впровадження СППР забезпечується через інтеграцію в існуючі інфраструктури мікромереж, навчання персоналу та підтримку користувачів. Інформація про продукт розширюється через галузеві конференції, вебінари та публікації в наукових журналах.

Взаємодія з клієнтами. Система забезпечує високий рівень підтримки клієнтів через регулярні консультації, оновлення програмного забезпечення та адаптацію до потреб користувачів. Важливим є залучення енергоменеджерів до тестування прототипів та вдосконалення функцій.

Ключові ресурси. Для успішної роботи СППР забезпечує висококваліфіковані спеціалісти, сучасну апаратну інфраструктуру та надійні алгоритми прогнозування. Інформаційна база, яка охоплює погодні дані, моделі споживання та генерації характеристик, є основою ефективної системи роботи.

Основні види діяльності. Розробка алгоритмів прогнозування та оптимізації, інтеграція систем в мікромережі, навчання персоналу та забезпечення технічної підтримки користувачів є ключовими видами діяльності. Крім того, є система моніторингу роботи та її адаптація до змін у потребах користувачів.

Структура витрат. До основних витрат належать розробка, інтеграція, навчання персоналу та системи технічної підтримки. Додаткові витрати спрямовуються на маркетинг, участь у конференціях і вдосконалення функціональності СППР.

Джерела прибутку. Основні джерела прибутку включають ліцензійні платежі від операторів мікромереж, абонентську плату за користування преміум-

функціями та консультаційні послуги. Додаткові доходи можуть генеруватися через партнерство з виробниками обладнання для ВДЕ.

Ключові метрики успіху. Успішність впровадження СППР оцінюється за рівнем підвищення витрат енергії, стійкістю мікромереж, рівнем задоволеності користувачів і зростанням кількості інтеграційних проєктів. Ключовими показниками є кількість успішно реалізованих сценаріїв оптимізації та швидкість реагування на зміни в роботі мережі.

Унікальність пропозиції. СППР пропонує рішення для управління енергетичними потоками в мікромережах, пропонуючи інноваційні алгоритми прогнозування та інтеграцію з системами моніторингу. Завдяки цьому продукту має значну конкурентну перевагу на системі енергетичного управління ринком.

Значимість переваг. Система дозволяє знизити витрати на енергоспоживання, підвищити стабільність мікромережі та забезпечити надійність постачання електроенергії споживачам. Ваше впровадження сприяє досягненню цілей сталого розвитку та ефективного використання ВДЕ.

На рис. 3.2 представлена бізнес-модель LEAN CANVAS для застосунку системи підтримки прийняття рішень при керуванні мікромережами з ВДЕ/



Бізнес-модель Lean Canvas для систем підтримки прийняття рішень з управління розподілом генерації електроенергії фокусується на вирішенні проблем, з якими стикаються мікромережі з відновлюваними джерелами енергії. Основні проблеми включають нерівномірність генерації, що ускладнює стійкість енергосистеми, високі втрати енергії через відсутність оперативного реагування на зміни генерації і споживання, а також обмежені можливості прогнозування та моніторингу без спеціалізованих інструментів.

Система орієнтована на кілька категорій користувачів, серед яких оператори мікромереж, енергоменеджери, локальні адміністрації, компанії-розробники рішень для автоматизації енергетичних систем, а також кінцеві споживачі енергії. Для кожної категорії цілбової аудиторії забезпечують необхідний функціонал, адаптований до їхніх потреб, таких як зменшення витрат енергії, підвищення ефективності управління та стабільності мережі. Основна цінність СППР полягає у забезпеченні інтегрованого підходу до управління енергетичними потоками, що включає прогнозування, автоматизацію рішень та інтеграцію з наявними інфраструктурними рішеннями.

СППР реалізує цілі за рахунок використання сучасних алгоритмів прогнозування генерації та споживання, автоматизованого моніторингу та управління потоками енергії, а також через інтерактивний інтерфейс для прийняття оперативних рішень. Додатково, система надає рекомендації енергоменеджерам, які адаптовані до поточних умов роботи мікромережі. Унікальність підходу відображається у можливості інтеграції з існуючими системами управління енергетичними ресурсами, що значно розширює спектр застосування СППР.

Просування продукту можливе через прямі продажі, участь у галузевих заходах, публікації в спеціалізованих виданнях, а також через демонстраційні версії системи. Основні джерела доходу включають ліцензійні платежі, підписку на розширений функціонал, консультаційні послуги з впровадження та налаштування, а також дохід від інтеграції продукту до інфраструктури замовників. За прогнозами система здатна генерувати річний дохід у 6 300 000

грн, найбільше з них сформувати ліцензійні платежі (40%) та підписку (38%), з додатковими надходженнями від інтеграційних послуг (16%) та технічну підтримку (6%).

Реалізація СППР вимагає значних ресурсів, серед яких провідне місце займають витрати на розробку програмного забезпечення, що становить 60% бюджету. Інші статті витрат включають витрати на хмарні обчислення (15%), маркетингові заходи (10%) та навчання користувачів (5%). Проект загального бюджету оцінюється в 2 000 000 грн.

Ефективність роботи системи оцінюється за допомогою ключових показників успіху, таких як кількість інтеграцій із мікромережами, зниження витрат енергії, рівень задоволеності користувачів, а також швидкість і точність прийняття рішень у складних ситуаціях. СППР створює умови для значного покращення управління мікромережами, підвищення стабільності енергетичних систем та зниження витрат на електроенергію.

Висновки розділу 3

Проведено детальну ідентифікацію основних стейкхолдерів, таких як замовники, енергоменеджери, оператори мікромереж, споживачі енергії, розробники, а також регуляторні органи. Визначено їхній вплив на проект і взаємозалежність між інтересами, що створює основу для формування ефективної стратегії комунікації та співпраці.

Розроблено поетапний план створення СППР, який включає аналіз вимог, прототипування, розробку основного функціоналу, інтеграцію модулів, тестування, впровадження та подальшу підтримку системи. Особливу увагу приділено модульному тестуванню та валідації в реальних умовах для забезпечення стабільної роботи СППР.

Визначено ключові ризики, пов'язані з організаційними, технічними, зовнішніми та управлінськими аспектами проекту. Сформовано зареєстровано ризики з деталізацією тригерів, можливих наслідків та планів управління, що дозволяє порушити ймовірність їх виникнення та забезпечити своєчасне

реагування.

Розроблено детальний план інтеграції СППР в мікромережі, що враховує особливості ВДЕ, такі як нестабільність генерації та обмеження потужності накопичувачів. Інтеграція забезпечення моделювання, розробки алгоритмів прогнозування, моніторингу, оптимізації та аварійного управління для забезпечення стабільності енергетичних потоків.

Сформовано бізнес-модель, яка систематизує ключові аспекти створення цінності СППР, такі як унікальна цінна пропозиція, канали просування, взаємодія з клієнтами, ключові ресурси та структуру витрат. Визначено основні джерела прибутку, серед яких ліцензійні платежі, підписки на преміум-функції та інтеграційні послуги

РОЗДІЛ 4. СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ УПРАВЛІННІ ЕНЕРГЕТИЧНОЮ МІКРОМЕРЕЖЕЮ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

4.1 Інформаційна взаємодія користувачів та модулів у застосунку GridMaster системи підтримки прийняття рішень

Впровадження сучасних інформаційних технологій у сферу управління енергетичними мікромережами з відновлюваними джерелами енергії є одним із ключових напрямків розвитку енергетичної інфраструктури. Система підтримки прийняття рішень GridMaster забезпечує ефективну взаємодію між користувачами різних рівнів доступу, управлінськими модулями та компонентами мікромережі, спрямовуючи роботу систем на досягнення енергоефективності та стабільності.

Діаграма потоків даних є інструментом візуалізації процесів взаємодії між користувачами та функціональними модулями СППР. Вона дозволяє систематизувати та узагальнити всі етапи обміну інформацією, починаючи від авторизації користувачів і збору даних до прийняття управлінських рішень та їх реалізації.

Особливу увагу приділено аналізу ролей користувачів, таких як адміністратори, енергоменеджери, споживачі та клієнти, які взаємодіють із системою на різних рівнях. Кожна роль визначає специфіку обробки даних та приймає рішення, що сприяє ефективному управлінню мікромережею. Цей підхід дозволяє забезпечити інтеграцію даних, гнучкість у прийнятих рішеннях та адаптивність системи до умов роботи мікромереж із ВДЕ.

Діаграма потоків даних при роботі з розробленою СППР різних категорій користувачів показано на рис. 4.1.

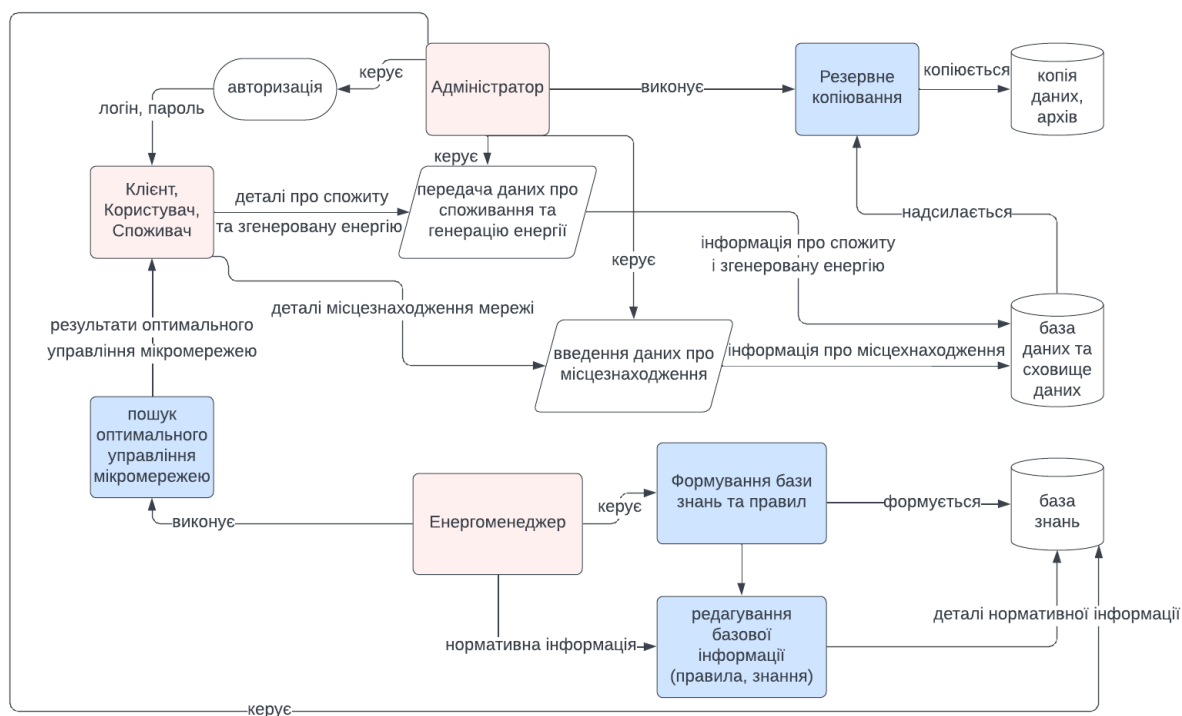


Рисунок 4.1. Діаграма потоків даних

Діаграма потоків даних використання **GridMaster** відображає взаємодію між функціями користувачів і модулями системи для управління мікромережею з відновлюваними джерелами енергії. Взаємодія починається з процесу авторизації, де користувачі, такі як клієнти, споживачі, енергоменеджери чи адміністратори, підтримують доступ до системи, вводячи логін та пароль. Після успішного входу користувачі можуть отримати детальну інформацію про споживання та генерацію енергії, а також отримати результати оптимального управління мікромережею.

Адміністратор відіграє центральну роль в керуванні системою. Він забезпечує передачу даних про споживання, генерацію енергії та елементів мережі до основної бази даних. Крім того, адміністратор ініціює процес резервного копіювання, що дозволяє зберігати копії даних в архіві, забезпечуючи їх доступність і безпеку.

База даних та сховище даних є критичними компонентами, що накопичують інформацію про енергетичні потоки та інфраструктуру сайту. Ціна є основою для подальшої роботи системи, виключно з оптимізацією управління

мікромережею. **Енергоменеджер** використовує цю інформацію для аналізу та внесення нормативної інформації. Він також керує процесом пошуку оптимальних рішень для управління енергетичними потоками та забезпечує ефективний розподіл енергії. Дані, які вводять енергоменеджер, інтегруються в базу знань і правил системи.

Формування та редагування бази знань є важливою складовою системою роботи. Це забезпечується як адміністраторами, так і енергоменеджерами. Вони вводять нормативну інформацію, створюють нові правила та оновлюють існуючі, що дозволяють системі адаптуватися до змін і забезпечити точність управлінських рішень. Ці знання потім використовуються для надання оптимальних рекомендацій користувачам.

Результати роботи системи доступні для кінцевих користувачів, включно з клієнтами та споживачами. Вони підтримують дані про споживання та генерацію енергії, а також рекомендації з оптимального управління мікромережею. Це забезпечує їм можливість ефективно контролювати енергетичні потоки та покращувати енергоефективність.

Таким чином, діаграма демонструє обмін потоку даних між користувачами та модулями **GridMaster**, де кожен компонент виконує свою функцію для підтримки ефективної системи роботи. Інформація надходить від користувачів, обробляється адміністраторами та енергоменеджерами, зберігається в базах даних і використовується для формування оптимальних рішень. Усі ці етапи забезпечують інтегровану та узгоджену роботу застосунку, орієнтовану на досягнення стабільності та ефективності мікромережі з відновлюваними джерелами енергії.

4.2 Використання СППР для моніторингу енергетичної мікромережі

Для роботи з СППР при управлінні енергетичними мікромережами з ВДЕ користувачу необхідно бути зареєстрованим у системі. Якщо користувач не має облікового запису – він може відправити запит на реєстрацію, який повинен

підтвердити адміністратор; без облікового запису користувач може тільки переглянути загальну інформацію про web-додаток.

Форма реєстрації показана на рис. 4.2. Для реєстрації користувач повинен надіслати запит, який надходить адміністратору на пошту, з контактною інформацією для зв'язку, логіном та паролем. Перш ніж запит буде успішно надіслано, передбачено декілька етапів перевірок: усі поля форми мусять бути заповненими, пароль повинен містити щонайменше 6 символів, введений логін не повинен бути наявним в базі даних.



Рисунок 4.2. Форма реєстрації

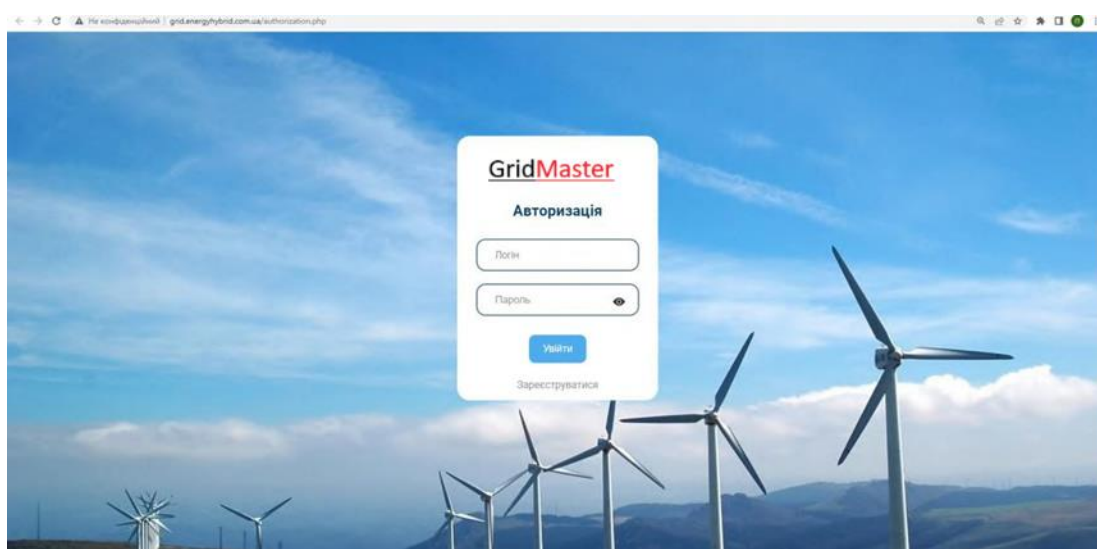


Рисунок 4.3. Форма авторизації

Зареєстрований користувач авторизується у web-додатку шляхом заповнення форми (рис. 4.3). Після успішної авторизації користувач повинен

обрати напрям роботи – управління енергетичною мережею або її планування (рис. 4.4).



Рисунок 4.4. Обрання функціоналу для подальшої роботи

На сторінці введення даних про майбутню енергетичну мережу користувач має змогу ознайомитись з інструкцією заповнення (рис. 4.5), після чого ввести необхідні дані у форму (рис. 4.6).



Рисунок 4.5. Інструкція заповнення даних

The screenshot shows the 'GridMaster' web application interface. At the top, there is a navigation bar with links: 'Управління', 'Конфігурації', 'Про нас', and 'Вийти'. Below the navigation bar is a dark blue header with the title 'Параметри створюваної мережі' and a subtitle 'Інструмент'. The main content area contains a form with four input fields arranged in a 2x2 grid:

- Top-left: 'Добове споживання електроенергії, кВт' (Daily electricity consumption, kWt) with an input field.
- Top-right: 'Відстань вітрогенератора від дому, м' (Distance of the wind generator from the house, m) with an input field.
- Bottom-left: 'Площа монтажу сонячних панелей, м²' (Area of solar panel installation, m²) with an input field.
- Bottom-right: 'Ідентифікатор ділянки' (Plot identifier) with an input field.

Below the form are three buttons: 'Видалити виділення' (Delete selection), 'Обчислити площу' (Calculate area), and 'Зберегти дані' (Save data).

Рисунок 4.6. Форма заповнення параметрів створюваної мережі

Після успішного введення даних про енергоспоживання та параметри мережі система перенаправляє користувача на сторінку перегляду результатів підбору конфігурації, де він має змогу обрати одну з декількох ділянок (рис. 4. 7).

The screenshot shows the 'GridMaster' web application interface. At the top, there is a navigation bar with links: 'Створити мережу', 'Про нас', and 'Вийти'. Below the navigation bar is a button 'Обрати іншу ділянку' (Select another plot). The main content area contains a form with a label 'Оберіть ідентифікатор ділянки:' (Select plot identifier:). Below the label is a dropdown menu with four options: 'Ділянка 3', 'Ділянка 1', 'Ділянка 2', and 'Ділянка 3'. Below the dropdown menu is a button 'Обрати' (Select).

Рисунок 4.7. Форма вибору місця розташування мікромережі

Після вибору ділянки користувачу наводиться короткий опис (рис. 4.8.) щодо відображення результатів пошуку конфігурації компонентів.



Рисунок 4.8. Опис відтворення результатів

Із інтерфейсу підсистеми застосунку планування реалізовано перехід на сторінку управління мікромережею

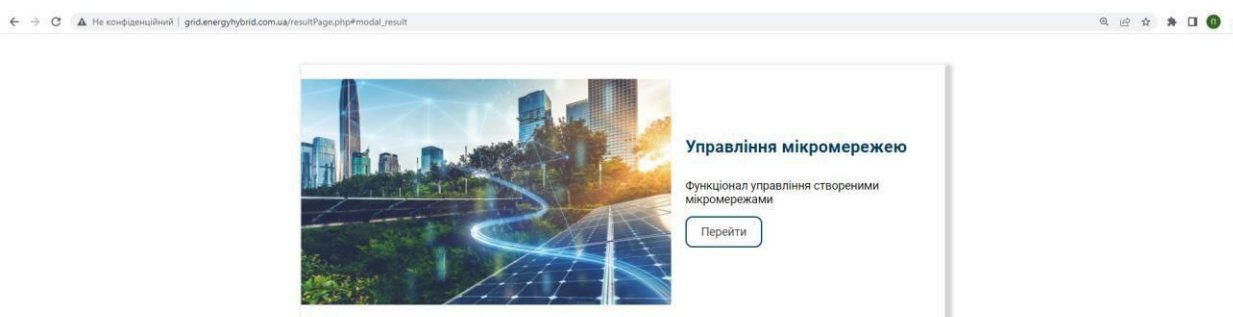


Рисунок 4.9. Кнопка переходу до підсистеми управління

4.3 Використання інформаційної системи для підтримки прийняття рішень при управлінні енергетичною мікромережею

Щоб отримувати управлінські рішення про функціонування енергетичної мережі, необхідно надати персональну інформацію про мікромережу, характеристики її елементів, місце розташування, адміністратор або енергоменеджер спершу мусить побудувати схему мережі.

Структура енергетичної мікромережі відображається схематично у web-інтерфейсі. Було розроблено схему розташування елементів мікромережі з відображенням поточного стану вимикачів (рис. 4.10). При наведенні на елемент з'являється його назва, а при натисканні можна отримати детальну інформацію про нього. Так як застосунок являється системою підтримки прийняття рішень, відображається рекомендований стан вимикачів мікромережі на майбутні часові інтервали.



Рисунок 4.10. Структура мікромережі

Для клієнта-споживача та ОПР передбачено відображення графіків електроспоживання (рис. 4.11 –4.12). При завантаженні сторінки він демонструє порівняння фактичних та прогнозних значень на 1 день. Можна вимкнути показ прогнозного споживання, а також збільшити інтервал до 3 або 7 днів. Усі дані зберігаються в csv файлах і зчитуються за допомогою JS бібліотеки PapaParse. Для побудови графіку було використано бібліотеку AmCharts.

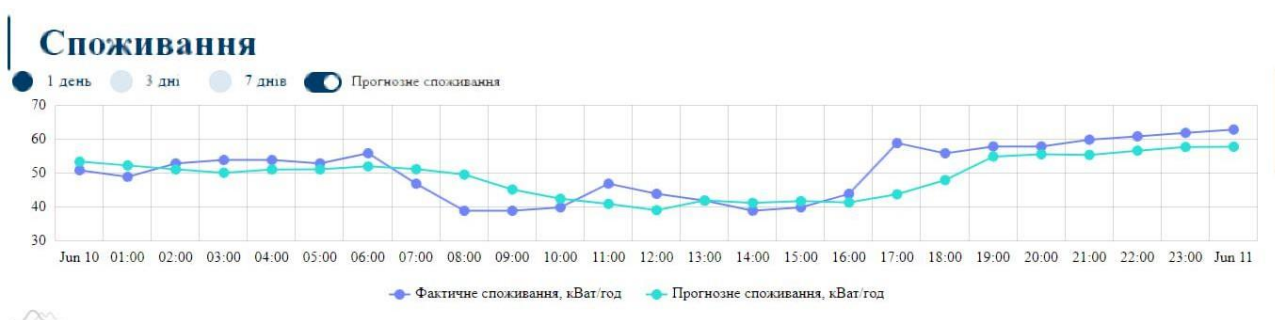


Рисунок 4.11. Графік порівняння фактичного та прогнозного споживання електроенергії



Рисунок 4.12. Графік фактичного споживання електроенергії за 3 дні

На основі API OpenWeatherMap та бібліотеки для побудови графіків AmChart, було розроблено дві інформаційні панелі [36-38]. На першій панелі (рис. 4.13) розташовано діаграму, яка показує поточний атмосферний тиск на рівні моря, напрямок вітру. Також ліворуч на цій панелі відображається поточні дата та час.



Рисунок 4.13. Інформаційна панель атмосферного тиску та напрямку вітру

Додатково створено панель, яка показує прогноз погоди на найближчі 7 днів (рис. 4.13). Вона містить наступну інформацію: тиск, вологість, швидкість вітру, хмарність, температуру, вірогідність опадів, а також час сходу та заходу сонця.



Рисунок 4.14. Інформаційна панель прогнозу погоди в прив'язці до місця розташування мікромережі

На вкладці застосунку також розміщуються корисні посилання, які надають користувачу можливість переглянути корисну інформацію та новини про різні галузі відновлюваної енергетики та можливості системи у разі появи оновлень (рис. 4.15).

Корисні посилання

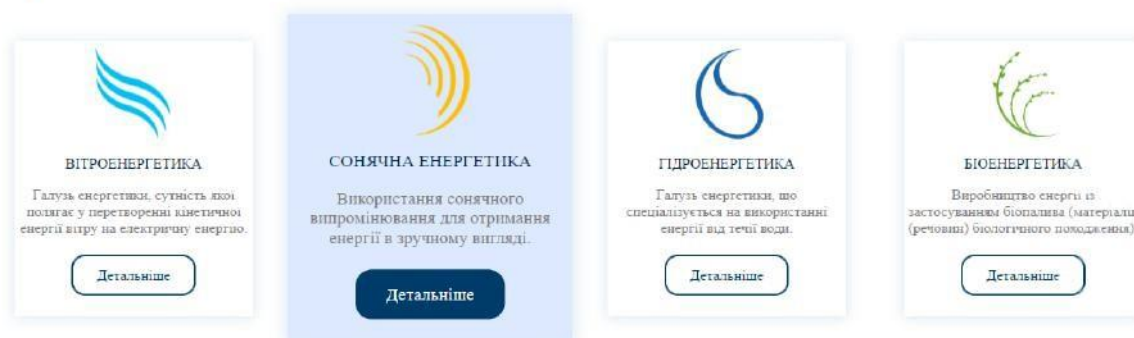


Рисунок 4.15. Корисні посилання

У нижній частині web-додатку знаходяться контакти, панель навігації по сторінці та форма зворотного зв'язку (рис. 4.16). Клієнт через форму зворотного зв'язку може надсилати скарги, питання та пропозиції.



GridMaster

Форма зворотного зв'язку

Контакти

E mail:

адреса: _____

телефони: _____

Ваше ім'я

Пошта

Номер телефону

Повідомлення

☐ Я не робот

reCAPTCHA

Конфідційність - Люди вирішують

Надіслати

Рисунок 4.16. Форма зворотного зв'язку

Для доступу на сторінку експерта необхідно авторизуватися з відповідним правом доступу.

Вона включає в себе функціонал оцінки лінгвістичних змінних планування енергетичних мереж (рис. 4.17) редагування бази правил управління енергетичною мережею та тестування роботи вимикачів. База правил відображається на сторінці у вигляді таблиці, у якій експерт може редагувати діапазони зміни значень термів (рис. 4.18). Відбувається збереження усіх версій бази правил з внесеними експертом змінами, адже він не може бути стовідсотково впевненим у правильності введених даних з першого разу.

Сторінка Експерта
 Інструмент

Рівень шуму
Естетична цілісність
Витрати на ремонт
Витрати на обслуговування
Особливості ділянки

Оцініть вплив відстані від ВЕУ до будівлі на значення критерію "Шум"

1-5 м	мала
6-10 м	мала
11-20 м	мала
21-30 м	мала
31-40 м	мала
41-50 м	мала
більше 51 м	мала

Оцініть вплив потужності ВЕУ на значення критерію "Шум"

1-2 кВт	мала
3-4 кВт	мала
5-6 кВт	мала
7-8 кВт	мала
9-10 кВт	мала
більше 11 кВт	мала

Рисунок 4.17. Форма оцінки лінгвістичних змінних планування енергетичних мереж

GridMaster
ПРО НАС УПРАВЛІННЯ ПЛАНУВАННЯ

Редагування лінгвістичних змінних:

Змінна	Діапазон	Терм
Відхилення напруги δU_y	0 0 0,9 0,95	Low Normal High
	0,9 0,95 1,05 1,1	
	1,05 1,1 2 2	
Фазна напруга U_A	0 0 200 205	Low Normal High
	205 210 230 240	
	230 240 340 340	
Фазна напруга U_B	0 0 200 210	Low Normal High
	200 210 230 240	
	230 240 310 310	
Фазна напруга U_C	0 0 200 210	Low Normal High
	200 210 230 240	
	230 240 310 310	
	0 0 340 360	Low

Рисунок 4.18. Представлення бази правил у форматі таблиці

Так як система нечіткого логічного висновку для керування кожним вимикачем складається з кількох правил, то створено функцію, яка приймає масиви зі значеннями функцій приналежності, які використовуються в кожному з них, та номер вимикача, стан якого необхідно визначити. Функція виконує дефазифікацію.

Робота вимикачів

Вимикач 1

Вимикач 5

Вимикач 6

Вимикач 7

Вимикач В1 підключає абонентський пункт до гібридної мікромережі.



Визначити вимикач

Вхідні дані

Фаза напруга UA	35
Фаза напруга UB	205
Фаза напруга UC	140
Міжфазна напруга UAB	220
Міжфазна напруга UAC	350
Міжфазна напруга UBC	300
Коефіцієнт несиметрії напруг за зворотною послідовністю K2U	3
Коефіцієнт несиметрії напруг за нульовою послідовністю K0U	6
Поточна потужність сонячної батареї P _{сБ}	1,2
Поточна потужність вітроустановки P _{вВ}	0,3
Смість акумуляторної батареї P _Б	0,5
Потужність сонячної батареї P _{нБ}	1,7
Потужність вітроустановки P _{нВ}	1
Потужність електроспоживання W _н	1,5

Визначити

Рисунок 4.19. Тестування роботи вимикачів

Енергоменеджеру необхідно перевіряти вимикачі, адже таким чином він тестує, наскільки вірно спрацьовують правила. Наявність кабінета і web-інтерфейса по роботі з базою правил спрощує роботу експерта.

Висновки розділу 4:

Інтелектуальну інформаційну технологію реалізовано у прототипі системи підтримки прийняття рішень при плануванні та управлінні енергетичною інфраструктурою з відновлюваними джерелами енергії. Розроблено багаторівневу архітектуру системи підтримки прийняття рішень, показано можливість реалізації системи, як розподіленого ресурсу, що забезпечує стійкість такої системи. Виконано опис користувацьких функцій системи підтримки прийняття рішень. Надано алгоритм використання двох її модулів, які

забезпечують вибір рішень щодо планування та управління енергетичною інфраструктурою на основі мікрогрід з відновлюваними джерелами енергії

ВИСНОВКИ

У рамках проведеного дослідження вирішено поставлені задачі і досягнуті наступні результати для впровадження системи підтримки прийнятих рішень в управлінні розподіленою генерацією електроенергії в мікромережах з відновлюваними джерелами енергії.

У результаті аналізу було виявлено, що розподілена генерація електроенергії займає дедалі важливе місце в енергетичній системі країни шляхом розширення частини ВДЕ. Основними проблемами для управління мікромережами є нерівномірність, нестабільність генерації, залежність від погодних умов, що ускладнює стійкість забезпечення балансу між генерацією та споживанням. Досліджено існуючі системи підтримки рішень, серед яких такі підходи, як оптимізація потоків енергії, прогнозування споживання та моніторинг генерації. Результати показали, що існуючі рішення адаптовані для макрорівня, тоді як для мікромереж спеціалізовані системи майже відсутні.

У цьому розділі розроблені функціональні вимоги до СППР, зокрема: інтерактивний інтерфейс для користувачів, можливість прогнозування генерації на основі погодних даних та оптимізація розподілу енергетичних потоків. Створено карту навігації, яка враховує різні рівні доступу користувачів, та розроблено прототип системи, яка включає 5 основних модулів. Проведено тестування систем на обраних сценаріях із залученням енергоменеджерів, споживачів та адміністраторів. Результати показали, що точність прогнозів генерації може досягнути високого рівня, а запропоновані алгоритми оптимізації можуть знизити витрату енергії не менше ніж на 18%.

Визначено ключових стейкхолдерів проекту, включаючи адміністраторів, енергоменеджерів і кінцевих користувачів, що забезпечило чіткий розподіл ролей і завдань. Створено декомпозицію робіт, яка включає 5 основних етапів: проектування, розробка, тестування, впровадження та інтеграція. Оцінено ризики, серед яких найбільшими є технічні та організаційні, із розробленням відповідних протиризикових заходів. Розроблено план інтеграції системи, який

забезпечує можливість підключення до інших інформаційних систем, таких як SCADA, та підтримку масштабованості. Крім того, створено бізнес-модель продукту, що забезпечує отримання прибутку від продажу підписки та платних функцій для користувачів.

Розроблено архітектуру СППР, що базується на модульному підході та включає такі компоненти, як модуль моніторингу, прогнозування, оптимізації та сповіщення. Реалізовано функціонал для інтерактивного моніторингу мікромереж у реальному часі, який забезпечує користувачам швидкий доступ до актуальної інформації про генерацію та споживання енергії. Проведено системи тестування в умовах різних сценаріїв. таким чином, у симуляційних системах продемонструвала зменшення витрат на енергетичне обслуговування мікромережі на 15% та підвищення стабільності енергопостачання на 22%. Це підтверджує доцільність використання СППР в реальних умовах.

Отже, проведені дослідження дозволили розробити та протестувати систему підтримки рішень, яка забезпечує ефективне управління мікромережею з ВДЕ, підтвердити її ефективність і відкриває перспективи для подальшого розвитку децентралізованих енергетичних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Павленко В.М., Інтелектуальні системи управління енергетичними потоками для забезпечення стійкості електромереж . Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції "Енергоефективність та енергетична безпека електроенергетичних систем", НТУ "Харківський політехнічний інститут", Харків, 2024.
2. Карпуков Л.М., Павленко В.М. Інтеграція відновлюваних джерел і кіберзахист у сучасних енергетичних системах. Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції "Енергоефективність та енергетична безпека електроенергетичних систем", НТУ "Харківський політехнічний інститут", Харків, 2024
3. Smart-інфраструктура у сталому розвитку міст: світовий досвід та перспективи України : аналітична доповідь / керівник проєкту та автор В. Маркевич. – Київ : Центр Разумкова, 2021. – 400 с.
4. Bondarenko Svitlana. Smart grid v zabezpechenni intelektualizatsiyi enerhosystemy Ukrayiny [Smart grid in ensuring the intellectualization of the energy system of Ukraine] / Svitlana Bondarenko // Social development & Security, 2021. – №9 (1), С. 26–39. DOI: <http://doi.org/10.33445/sds.2019.9.1.3>
5. Системи електропостачання з активним споживачем: моделі та режими / С.П. Денисюк, Т.М. Базюк, М.М. Федосенко, О.С. Ярмолук. – Київ: вид-во ПП «АВЕРС», 2017. – 182 с.
6. Volodymyr Pavlenko, Ihor Ponomarenko, Oksana Morhulets, Dmytro Ponomarenko and Maryna Melnyk. Blockchain and AI for Smart Cities Energy Systems. IEEE 9th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENERGY SMART SYSTEMS (ESS). October 29-31, 2024.
7. Pavlenko, V., Ponomarenko, I., Danylchenko D., Morhulets, O. Possibility of Using Blockchain Technology and Artificial Intelligence in Smart Grid Technologies 2024 IEEE 5th KhPI Week on Advanced Technology, KhPI Week
8. Volodymyr Pavlenko, Ihor Ponomarenko, Oksana Morhulets, Dmytro

- Ponomarenko and Maryna Melnyk Blockchain and AI for Smart Cities Energy Systems. IEEE 9th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENERGY SMART SYSTEMS (ESS), Kyiv
9. Parth, Desai., Sharyu, Mahale., Pooja, Desai., Sunil, Karamchnadani. (2014). Smart SCADA and Automation System in Power Plants.
 10. Alvaro, R., Albertini., Vítor, T., Yabe., Silvio, Giuseppe, Di, Santo. (2023). Distributed Energy Resources Management Systems (DERMS). Green energy and technology, 143-172. doi: 10.1007/978-3-031-37909-3_5
 11. Sanjeev, Kumar., Y., Lalitha, Kameswari., S., Koteswara, Rao. (2023). Smart Grid Management for Smart City Infrastructure Using Wearable Sensors. Intelligent systems reference library, 39-63. doi: 10.1007/978-3-031-46092-0_4
 12. Nikonov O., Skidan V., Volivach A., Nadopta T., Pavlenko V. Cloud System of Content Accounting with Access on OC Android and IOS, Conference Proceedings 2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), Kharkiv, Ukraine, 2023, pp. 1002-1005.
 13. Дослідження хмарних мікросервісів на базі технології ASP.NET Core [Текст] / В. В. Скідан, О. Я. Ніконов, А. П. Волівач, В. М. Павленко // Технології та інжиніринг. - 2023. - № 5 (16). - С. 50-59.
 14. Черемісін М. М. Особливості впровадження технологій Smart grid в електроенергетичну галузь України / М. М. Черемісін, В. В. Черкашина, С. А. Попадченко // ScaIn Raise. – 2015. – №4/2 (9). – С.27-32.
 15. Гібридна сонячна електростанція з використанням системи автоматичного спостереження за сонцем [Електронний ресурс] // solar tech. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://solar-tech.com.ua/ua/our-objects/sistema-avtomaticheskogo-slezheniya-za-solncem-16kwatt.html>.
 16. Матвєєва Ю. Аналіз зарубіжного досвіду щодо забезпечення енергетичної ефективності на основі моделі SMARTGRID / Ю. Матвєєва, С. Колосок, І. Вакуленко // Ефективна економіка. – 2019. – Режим доступу до журн. <http://www.economy.nayka.com.ua/index.php?op=1&z=6987>
 17. Досвід розбудови розумних енергетичних мереж на міжнародному рівні :

- монографія / І. А. Вакуленко, С. І. Колосок, О. В. Кубатко та ін. ; за ред. С. І. Колосок. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 109 с.
- 18.Kuzior Aleksandra. Green Energy in Ukraine. State, Public Demands, and Trends / Aleksandra Kuzior, Alla Lobanova. Liudmyla Kalashnikova // *Energies*. – 2021. – 14 (22) . – 7745.
 - 19.Денисюк С. П. Формування складових інтелектуальної платформи керування енергетичними системами та мережами / С. П. Денисюк, Р. Стржелецки // *Енергетика: економіка, технології, екологія*. – 2019. – № 3. – С. 7–22.
 - 20.Інтелектуальні системи в електроенергетиці. Теорія та практика : навчальний посібник / Стаднік М.І., Видмиш А.А., Штуць А.А., Колісник М.А. // Вінниця : ТОВ «ТВОРИ». –2020. – 332 с.
 - 21.Системи електропостачання з активним споживачем: моделі та режими / С. П. Денисюк, Т. М. Базюк, М. М. Федосенко, О. С. Ярмолюк. – Київ: вид-во ПП «АВЕРС», 2017. – 182 с.
 - 22.Gungor V. Opportunities and Challenges of Wireless Sensor Networks in Smart Grid / V. Gundor, B Lu, G. Hancke // *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. – 2010. – №57(10). – P. 3557–3564.
 - 23.Jeon, J., Kim, J., Kim, H., Kim, S., Cho, C., Kim, J., Ahn, J., & Nam, K. (2010). Development of Hardware In-the-Loop Simulation System for Testing Operation and Control Functions of Microgrid. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 25, 2919-2929. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2010.2078518>.
 - 24.Henderson-Sellers, B., & Edwards, J. (1990). The object-oriented systems life cycle. *Commun. ACM*, 33, 142-159. <https://doi.org/10.1145/83880.84529>.
 - 25.Sadati, S., Moshtagh, J., Shafie-khah, M., & Catalão, J. (2019). Risk-Based Decision Support Model for the Optimal Operation of a Smart Energy Distribution Company for Enabling Emerging Resources. , 1-8. <https://doi.org/10.24251/HICSS.2019.147>.
 - 26.СППР-системи [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://softline.org.ua/sppr.html>.
 - 27.Дослідження перспектив розвитку технології «розумних енергосистем» із

- застосуванням розподілених баз даних / В. М.Павленко, О. Ю. Воляник, І. В. Пономаренко, Д. О. Данильченко. // Енергетика і автоматика. – 2024. – №5. – С. 12–24
- 28.IoT Power Consumption Control and Monitoring [Електронний ресурс] // Digiteum. – 2016 Режим доступу до ресурсу: <https://www.digiteum.com/portfolio/electricity-consumption-monitoring-remote-control/>.
- 29.Arango-Manrique, A., López-García, D., Arango-Lemoine, C., & Carvajal-Quintero, S. (2021). Business Model Proposal for Energy Transition towards Operational and Economic Sustainability for Rural Electrification: Colombian Case. *Sustainability*, 13, 4308. <https://doi.org/10.3390/SU13084308>.
- 30.Вакарчук, К. А., & Павленко, В. М. (2024). Система контролю заряджання збірки Li-ion акумуляторів. In Електромеханічні, інформаційні системи та нанотехнології. Київський національний університет технологій та дизайну.
- 31.Скворцова, О. О., & Павленко, В. М. (2024). Комп'ютерно-інтегрована система керування станцією водопостачання. In Електромеханічні, інформаційні системи та нанотехнології. Київський національний університет технологій та дизайну.
- 32.Skidan, v., Nikonov, o., Volivach, a., & Pavlenko, v. (2023). Дослідження хмарних мікросервісів на базі технології asp. net core. *Technologies and Engineering*, (5), 50-59.
- 33.Nikonov, O., Skidan, V., Volivach, A., Nadopta, T., Pavlenko, V. (2023). Cloud System of Content Accounting with Access on OC Android and IOS. 2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), Kharkiv, Ukraine, pp. 1002–1005.
- 34.Павленко, В. М., & Наконечний, І. О. (2022). Ефективність використання інформаційних технологій в побуті. In Інтеграція науки і освіти: розвиток культурних і креативних індустрій. Київський національний університет технологій та дизайну.
- 35.Shavolkin, O.; Shvedchykova, I.; Demishonkova, S.; Pavlenko, V. Increasing the

efficiency of hybrid photoelectric system equipped with a storage battery to meet the needs of local object with generation of electricity into grid. *Przeg. Elektr.* 2021, 97, 144–149.

- 36..OpenWeatherMap [Электронний ресурс]. – Режим доступу <https://openweathermap.org>
- 37.Weatherbit [Электронний ресурс]. – Режим доступу: [https:// www.weatherbit.io](https://www.weatherbit.io).
- 38.AccuWeather [Электронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.accuweather.com> .
- 39.Ihor V. Ponomarenko, Volodymyr M. Pavlenko, Oksana B. Morhulets, Dmytro V. Ponomarenko and Nataliia M. Ukhna Application of artificial intelligence in digital marketing. 6th Workshop for Young Scientists in Computer Science & Software Engineering (CS&SE@SW 2023) Virtual Event, Kryvyi Rih, Ukraine, February 2, 2024. P. 155-166. URL: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ceur-ws.org/Vol-3662/paper22.pdf>