

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Розроблення інтелектуального модуля управління енергозабезпеченням
виробничого підприємства
(тема)

Виконав:
здобувач 4 року навчання, групи
АКТСІ-21-3
Максим Самойлов
(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва спеціальності)
Тип програми освітньо-професійна
Освітня програма Системна інженерія
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Ірина СЕЗОНОВА
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Завідувач кафедри _____
(підпис)

Ігор Невлюдов
(власне ім'я, прізвище)

2025 р.

Я, Самойлов Максим Андрійович, як здобувач вищої освіти ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Я не використовував штучний інтелект для підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

" 12 " червня 2025 р.



М. А. Самойлов

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

Кафедра Комп'ютерно–інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно–інтегровані технології
(код і повна назва)

Тип програми освітньо - професійна

Освітня програма Системна інженерія
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« 19 » травня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Самойлову Максиму Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення інтелектуального модуля управління енергозабезпеченням виробничого підприємства

затверджена наказом університету від 19.05.2025 р. № 391 Ст _____

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 15.06.2025р.

3. Вихідні дані до роботи _____

3.1 Мережа типу Smart Grid _____

3.2 Технологія PLC _____

3.3 Живлення: основне (мережа 220В), резервне (акумуляторна батарея), альтернативне (сонячна панель) _____

3.4 Середовище розробки: Visual Studio 2022 _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

4.1 Вступ _____

4.2 Аналіз предметної області _____

4.3 Розроблення моделі управління джерелами електропостачання виробничого підприємства _____

4.4 Вибір та обґрунтування програмних засобів для розробки програмно продукту _____

4.6 Програмна реалізація підсистеми управління енергозабезпеченням підприємства. Керівництво користувача. _____

4.7 Висновки _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) Графічний матеріал у вигляді презентації (12 с.)

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Строк / терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	28.04 – 04.05.2025	виконано
2	Опрацювання літератури за темою	05.05 – 10.05.2025	виконано
3	Розроблення моделі енергозабезпечення підприємства	11.05 – 17.05.2025	виконано
4	Вибір та обґрунтування програмного забезпечення	18.05 – 20.05.2025	виконано
5	Розроблення програмного продукту	21.05 – 25.05.2025	виконано
6	Тестування та опис програмного продукту	26.05 – 31.05.2025	виконано
7	Висновки та перелік джерел посилань	01.06 – 03.06.2025	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки	09.06 – 12.06.2025	виконано
9			
10			
11			

Дата видачі завдання 28.04.2025 р.

Здобувач _____
(підпис)

Максим Самойлов
(власне ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

професор Ірина Сезонова
(посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 61 с., 1 табл., 15 рис., 3 дод., 22 джерела.

ВИРОБНИЧЕ ПІДПРИЄМСТВО, АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.

Автоматизація управління електромережою виробничого підприємства дозволяє зменшити ризики від збоїв, поліпшити управління навантаженням, а також забезпечити стабільність і надійність електропостачання. Водночас, автоматизація може призвести до значного зниження енергетичних витрат, що є критично важливим в умовах воєнного стану та обмеження енергоресурсів.

Мета роботи – розробка моделі та програмно-апаратного рішення для автоматизації управління енергетичною системою підприємства.

Об'єкт – процес управління енергетичною системою виробничого підприємства, а саме, постачанням, генерацією та споживання генеруючими засобами.

Предмет – програмно-апаратний комплекс для інтелектуального управління енергетичною системою підприємства (генерація (власна, мережа, накопичувачі) та споживання) параметри і характеристики якої змінюються залежно від вимог режимів роботи в реальному часі.

В роботі проведено аналіз сучасних технологій автоматизації управління електромережою підприємства. Розроблено модель інтелектуального модуля управління енергозабезпеченням виробничого підприємства та програмний продукт для розробленого модуля.

ABSTRACT

Explanatory note: 54 p., 1 tabl., 15 fig., 3 adj., 22 sources.

PRODUCTION ENTERPRISE, AUTOMATED CONTROL, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, POWER SUPPLY SOURCES, ENERGY SUPPLY.

Automating the management of a manufacturing enterprise's power grid can reduce the risks of failures, improve load management, and ensure the stability and reliability of power supply. At the same time, automation can lead to a significant reduction in energy costs, which is critical in times of martial law and energy resource constraints.

Purpose – is to develop a model and software and hardware solution for automating the management of the enterprise's energy system.

Object – the process of managing the energy system of a production enterprise, namely, supply, generation and consumption.

Subject – software and hardware complex for intelligent control of the enterprise's energy system (generation (own, network, storage) and consumption), the parameters and characteristics of which change depending on the requirements of real-time operation modes.

The paper analyzes modern technologies for automating the management of an enterprise's power grid. A model of an intelligent module for managing the power supply of a manufacturing enterprise and a software product for the developed module have been developed.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	8
Вступ	10
1 Аналіз технічного завдання	12
1.1 Автоматизація управління енергетичним комплексом підприємства...	12
1.2 Аналіз концепції Smart Grid та можливості її використання для управління енергосистемою підприємства.....	15
1.3 Постановка завдання на розробку інтелектуального модуля управління енергозабезпеченням виробничого підприємства.....	21
2 Моделювання інтелектуального модуля управління енергосистемою.....	23
2.1 Аналіз методології побудови інтелектуальних технологій підтримки прийняття рішень при управлінні енергетичною інфраструктурою.....	23
2.2 Архітектура та засоби розробки системи.....	25
2.3 Моделі сховища даних та бази даних інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень при управлінні енергозабезпеченням підприємства.....	29
2.4 Інтелектуальні лічильники та датчики.....	32
3 Вибір програмного забезпечення та розробка проекту.....	41
3.1 Функціонал проекту.....	41
3.2 Реалізація методу оптимізації електропостачання.....	42
3.3 Охорона праці.....	52
Висновки	51
Перелік джерел посилань	56
Додаток А Код програми.....	58
Додаток Б Апробація роботи.....	63
Додаток В Демонстраційний матеріал.....	67

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АРМ – автоматизоване робоче місце;
- БД – база даних;
- ВДЕ – відновлювані джерела енергії;
- ІП – інформаційний процес;
- ІС – інформаційна система;
- ІС ІТС – інформаційна система ІТС (інформаційно-технічний супровід);
- ІТ – інформаційна технологія;
- ПЗ – програмне забезпечення;
- ПК – персональний комп'ютер;
- РДН – ринок «на добу наперед»;
- СППР – система підтримки прийняття рішень;
- СЕС – сонячна електростанція;
- СНЕ – система накопичення енергії;
- СУБД – система управління базами даних;
- CRP (Capacity Requirements Planning) – планування виробничих ресурсів (потужностей);
- DGMS (Decision Generation Management System) – розподілена система поточного контролю за генерацією;
- DMCS (Distribution Monitoring and Control System) – автоматизована система керування технологічним процесом, що характеризується побудовою розподіленої системи введення-виведення та децентралізацією обробки даних;
- DSS (Decision Support System) – система прийняття рішень;
- EDI (Electronic Data Interchange) – процес передачі структурованої цифрової інформації;
- ERP (Economic Requirements Planning) – інтегроване планування бізнесресурсів підприємства;

IoT (Internet of Things) – це мережа фізичних об'єктів, які мають вбудовані технології, що дозволяють здійснювати взаємодію з зовнішнім середовищем, передавати відомості про свій стан і приймати дані ззовні;

MES (Manufacturing Execution System) – виробнича виконавча система, реалізує оперативне планування та диспетчеризацію виробництва;

Microgrids – мікрогрід, мікромережі;

PLC (Power Line Communication) – зв'язок, побудований на лініях електропередач;

Smart Grids – «розумні» електромережі, які можуть одночасно генерувати та споживати електроенергію.

ВСТУП

У зв'язку з постійним зростанням попиту на електроенергію та необхідністю зменшення витрат впровадження інноваційних технологій, які дозволяють підвищити енергоефективність, є вкрай актуальним. Сучасні електромережі вимагають інтеграції автоматизованих рішень для оптимізації управління та контролю енергетичними потоками.

Автоматизація управління електромережою виробничого підприємства включає в себе використання передових технологій, таких як програмне забезпечення для моніторингу, регулювання та управління роботою електрообладнання. Автоматизація управління дозволяє зменшити ризики від збоїв, поліпшити управління навантаженням, а також забезпечити стабільність і надійність електропостачання. Водночас, автоматизація може призвести до значного зниження енергетичних витрат, що є критично важливим в умовах воєнного стану та обмеження енергоресурсів.

Мета роботи – розробка моделі та програмно-апаратного рішення для автоматизації управління енергетичною системою підприємства.

Об'єкт – процес управління енергетичною системою виробничого підприємства, а саме, постачанням, генерацією та споживання генеруючими засобами.

Предмет – програмно-апаратний комплекс для інтелектуального управління енергетичною системою підприємства (генерація (власна, мережа, накопичувачі) та споживання) параметри і характеристики якої змінюються залежно від вимог режимів роботи в реальному часі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз сучасних технологій автоматизації управління елементами електромереж;

- провести аналіз енергетичної структури підприємства для визначення модулів, які потребують інтелектуалізації управління;

- розробити модель інтелектуального модуля управління енергозабезпеченням виробничого підприємства;
- створити програмний продукт для розробленого модуля;
- оформити кваліфікаційну роботу згідно ДСТУ 3008:2015 [1], а також з методичними вказівками з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [2].

Результати кваліфікаційної роботи сприяють Цілям сталого розвитку, зокрема цілі 7 Доступна та чиста енергія, п. 7.в До 2030 року розширити інфраструктуру і модернізувати технології для сучасного та сталого енергопостачання всіх у розвинених країнах.

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Автоматизація управління енергетичним комплексом підприємства

Скорочення використання викопних видів палива, гнучке управління енергетичною інфраструктурою країни, забезпечення можливості безперебійного забезпечення споживачів та виробничих підприємств електроенергією є одним із найважливіших пріоритетів національної безпеки України.

Використання відновлюваних джерел енергії, імплементація їх у розумні мікромережі, розвиток кластерів таких мікромереж, дозволяють досягнути стійкості енергосистеми країни та підтримувати безперебійне електропостачання.

Разом з тим, ускладнення технічних систем для реалізації енергетичної інфраструктури вимагає розвитку нових підходів щодо планування, оперативного управління та оцінювання можливостей складних систем енергетичної інфраструктури у поєднанні з відновлювальними джерелами енергії, розвитку їх потенціалу відповідно до конфігурації, функціональних можливостей і наявності ресурсного забезпечення.

Таким чином, розробка нових методів оброблення інформації та побудови на цій основі інтелектуальних інформаційно-аналітичних технологій у вигляді моделей та методів інтелектуального аналізу, представлення і оцінювання даних, методів, що дозволяють систематизувати, формалізувати та удосконалити сучасні підходи та інструментальні засоби прийняття рішень при проектуванні, оперативному управлінні та оцінюванні можливостей складних систем

енергетичної інфраструктури, розвитку їх потенціалу відповідно до конфігурації, функціональних можливостей і наявності ресурсного забезпечення є актуальною науково-практичною проблемою.

У поточних умовах, через обмеженість енергоресурсів в Україні, можливостей генерації та розподілу електроенергії, гнучкість управління, що забезпечує безперебійно електричною енергією споживачів, балансування енергосистем перетворилися у один з переважних важелів керування енергетичною інфраструктурою країни. Стійкість енергомереж хоча б і опосередковано носить соціальний та державний характер, а також впливає на національну безпеку. Причому питання гнучкості управління за рахунок балансування важливо не залежно від форми власності джерел електроенергії та електричних мереж, а при розподіленій генерації та імплементації до енергосистем відновлюваних джерел енергії це питання стає складною проблемою, оскільки потребує збору та інтелектуальної обробки великих масивів інформації. При централізованій генерації електроенергії на електростанціях завжди постає питання планування або нормування втрат електроенергії під час її транспортування, оскільки такі втрати є неминучими при віддаленому розміщенні споживачів від джерел енергії. Крім того, таке розміщення, крім безпосередньо втрат електроенергії, має ще додаткові ризики пошкодження від зовнішніх втручань, диверсій та цілеспрямованого руйнування. Тому цим питанням завжди приділялась і приділяється значна увага. Проблему втрат при транспортуванні електроенергії традиційно розглядають як розв'язання взаємопов'язаних завдань, а саме, визначають втрати електроенергії як складової балансу електроенергії, визначають рівень відшкодування фінансових витрат на них і розроблюють програму заходів та методів їх зменшення. Але такі підходи не забезпечують гнучкість управління та стійкість рішень щодо управління стосовно безперебійного забезпечення споживачів. Сучасний розвиток технологій дозволяє відповідні методи адаптувати до змін у потребах управління за умов експлуатації апаратного, програмного та інформаційного забезпечення. На сьогодні склалися умови, які

вимагають чергового перегляду та вдосконалення методів контролю та управління енергетичною інфраструктурою.

Позитивний досвід впровадження розумних технологій у сфері енергетики зарубіжними країнами світу доводить необхідність їх використання у енергетиці України. Зокрема, у Європейському Союзі споживання первинної енергії за останні 10 років скоротилося на 10,2% завдяки впровадженню енергоефективних технологій та зростанню ролі інноваційної складової в енергетиці [3]. Імплементация Smart Grid у країнах Європейського Союзу здійснюється на основі проєктного підходу та характеризується оснащенням енергетичних систем розумними вимірювальними пристроями та приладами обліку, мікроконтролерами та каналами комунікацій з незалежним живленням.

При впровадженні Smart Grid в енергетичну систему України першочергово слід вирішити задачу пристосування розподіленої генерації до діючих енергосистем, що потребує точного вимірювання споживання та генерації електричної енергії на стороні кінцевого споживача. З досвіду країн Європейського Союзу, пріоритетними є проєкти з розгортання інтелектуальних систем обліку, впровадженні інтелектуальних систем обліку, моніторингу та управління [3].

Енергетична стратегія України до 2035 року передбачає перехід від застарілої моделі функціонування, де домінують великі виробники та викопне паливо, до нової моделі з розвиненою розподіленою структурою та наданою можливістю для розвитку всіх видів виробництва енергії. Частка відновлюваних джерел енергії в енергетичному балансі країни має складати до 25%. Перехід до «зеленої» енергетики потребує й зміни підходів до управління енергетичними мережами та взаємопов'язаний з імплементациєю Smart Grid [4].

Одним із завдань імплементациї Smart Grid в енергетичну систему України є необхідність адаптувати існуючі системи контролю та управління до концепції Smart Grid.

Поняття Smart Grid включає в себе «розумні» електричні мережі, які задовольняють вимоги ефективного функціонування енергосистеми завдяки

інтелектуальному управлінню засобами двосторонніх комунікацій між елементами електричних мереж, генеруючими джерелами та кінцевими споживачами. Концепція Smart Grid визначає електричні мережі як інтелектуальні електричні мережі, що побудовані з використанням комплексу сучасних інформаційних технологій та технологічних рішень, які створюються для підтримки електронних комунікацій нового покоління.

1.2 Аналіз концепції Smart Grid та можливості її використання для управління енергосистемою підприємства

Енергетична smart-інфраструктура має ряд інновацій порівняно з традиційною енергетикою:

- розподілене виробництво з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ);
- «розумні» електромережі (Smart Grids), які можуть одночасно генерувати та споживати електроенергію;
- мікромережі (microgrids);
- локальні мережі з місцевими джерелами енергії, що можуть працювати як частина загальної мережі, але також і в острівному режимі;
- використання пристроїв технології «розумного будинку», що економно споживають електричну енергію енергоспоживання, наприклад, знижуючи споживання у пікові години;
- інтелектуальне вимірювання, що дозволяє споживачам контролювати витрати;
- віртуальний аудит (наприклад, методом гейміфікації);
- дані, згенеровані “розумними” лічильниками, можуть бути використані для визначення профілів електроспоживання та їх аналізу;
- інтелектуальні системи прогнозування та підтримки прийняття рішень;
- впровадження систем автоматизованого управління енергетичними мережами.

Мікромережа (іноді мікрогрід) – це локальна електрична мережа з визначеними електричними межами, яка діє як єдиний керований об'єкт. Вона здатна працювати в загальній мережі та поза мережею. Автономна або ізольована мікромережа працює лише поза загальною мережею і не може бути під'єднана до ширшої енергосистеми.

Архітектура Smart Grid складається із взаємопов'язаних шарів, опис яких наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Архітектура Smart Grid

Шар архітектури	Опис
Бізнес-логіка	Бізнес-моделі суб'єктів електроенергетики, сценарії управління енергетичною
Функціональний	Функції та сервіси, що їх забезпечують, з архітектурної точки зору
Інформаційний	Інформація, яка передається між різними сервісами, у тому числі в системах підтримки прийняття рішень при управлінні енергетичною інфраструктурою. Моделі подання інформації, даних та знань, що забезпечують сумісність різних
Комунікаційний	Мережеві протоколи та механізми інтеграції різних сервісів при обміні даними
Компонентний	Енергетичне обладнання, вимірювальні пристрої, мережева інфраструктура

Інтелектуалізація енергетичних мереж досягається завдяки поєднанню інструментальних засобів моніторингу, контролю та управління, що дозволяє підвищити продуктивність і надійність енергетичної мережі та якості надання

послуг з електрозабезпечення.

Застосування технології Smart Grid передбачає фундаментальну реорганізацію електроенергетичної галузі, у тому числі і збільшення задач, вирішення яких потребує застосування інформаційних технологій, зокрема:

- обліку споживання електричної енергії, якості електричної енергії та обмеження навантаження;
- розвитку мережі комунікацій для забезпечення безперебійної передачі інформації в системах Smart Grid;
- застосування інтелектуального управління роботою енергетичних мереж.

Використання концепції Smart Grid дозволяє детально аналізувати причини втрат електроенергії та виконувати їх повне структурування, а також сприяє можливостям отримувати оперативну інформацію про стан об'єктів енергетичної інфраструктури. Тому для подальшого вдосконалення оперативності та гнучкості управління, актуальним є розвиток методичного, інформаційного і технічного забезпечення експлуатації об'єктів енергетичної інфраструктури. Важливим в цьому напрямку є комплексність та методологічна єдність в прийнятті рішень щодо покращення експлуатаційних характеристик електричних мереж.

Ключовими аспектами використання концепції Smart Grid є:

- гнучкість, тобто можливість налаштовуватися під потреби в електроспоживанні;
- можливість підключення нових споживачів, які у свою чергу можуть розглядатися також як джерела енергії;
- якість електропостачання Smart Grid забезпечує постачання чистої електроенергії;
- захищеність послуг, що надаються, відповідно до вимог цифрової економіки;
- підвищення енергоефективності роботи мережі та економічність;
- екологічність, тобто досягається за рахунок зменшення генеруючих

потужностей при задоволенні попиту усіх споживачів та зменшенню викидів шкідливих речовин в атмосферу при збільшенні частки відновлюваної енергетики [5,6].

Інноваційні технології Smart Grid спільно з ефективним управлінням мають забезпечувати стійкість мереж до фізичного та кібернетичного втручання.

Модернізація енергетичної інфраструктури на основі концепції Smart Grid може суттєво покращити керованість процесів генерації, транспортування, розподілу та споживання електроенергії. Такий підхід є ефективним не лише для великих енергомереж, а також для мікромереж, а особливо для мікромереж з різними типами джерел генерації. Також впровадження концепції Smart Grid щодо розвитку енергетичної інфраструктури країни дозволяє енергетичній галузі адаптуватися до умов використання ринку електроенергії та забезпечує безпечне та надійне інтегрування до об'єднаної енергосистеми Європи. Застосування нової технологічної платформи дає змогу підняти на вищій щабель загальну енергоефективність систем енергопостачання, підвищити їх надійність, забезпечити якість, стійкість та економічність електрозабезпечення споживачів.

Як показує аналіз, на практиці існує пряма залежність ефективності експлуатації електричних мереж від повноти інформаційного забезпечення процесу управління. Основним засобом ефективного управління енергетичними системами Smart Grid є інформація. ключовим фактором розвитку енергетичних мереж, побудованих з використанням концепції Smart Grid, є управління як основний фактор розвитку та спосіб забезпечення керованості як окремих елементів, так і енергетичної системи в цілому.

Одночасне використання технологічної платформи, яка базується на принципах Smart Grid та використання математичного моделювання для процесів прийняття управлінських рішень та прогнозування надає можливість сформувати достатній рівень інформаційного забезпечення, що дозволяє вдосконалити оптимальне керування потоками електроенергії та підвищити енергоефективність енергетичної інфраструктури.

Дослідники відмічають, що вплив пандемії та загальна перебудова

суспільства призвела до значних змін структури споживачів та характеру електроспоживання, яке на даному етапі розвитку економіки характеризується збільшенням частки побутових споживачів у загальній структурі споживання. Широкого розповсюдження досягло використання локальних енергетичних мереж Microgrid. Такі мережі можуть бути виділені в окремі кластери, які здатні працювати незалежно від загальної електричної мережі або у поєднанні з нею, комбінуючи в собі різні розподілені засоби генерації, у тому числі й від альтернативних джерел енергії, оснащені власною системою автоматизованого регулювання. При цьому виникає задача підтримання балансу в енергетичній системі при підключенні малих виробників енергії до загальної мережі, яка вирішується застосуванням технологій інтелектуального управління. Для ефективного забезпечення потреб та планування заходів з балансування енергомереж важливу роль відіграють точність прогнозування можливостей генерації та споживання електроенергії, у тому числі й від альтернативних джерел. Вітрова та сонячна енергетика є провідними напрямками розвитку альтернативної енергетики в як в Україні, так і на світовому ринку. Ефективність впровадження альтернативних джерел енергії оцінюється за інтегральним показником, що має економічну, соціальну та екологічну складову [7].

Завдяки технології Smart Grid підвищується ефективності управління процесами генерування, транспортування, розподілу та споживання електроенергії у мікромережах, локальних електричних системах, з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ). Як стверджують спеціалісти, модернізація сучасних систем електропостачання за рахунок впровадження ВДЕ і обмеження централізованого електропостачання можлива лише за рахунок Smart Grid технологій. Ефективність розподіленої гібридної генерації може бути досягнута шляхом узгодження в часі та оптимізації процесів вироблення, транспортування, розподілу та споживання електроенергії. Мікромережі з відновлюваними джерелами енергії за рахунок локальних систем керування заснованих на концепції Smart Grid, що забезпечують самоналагодження та самодіагностування, можуть здійснювати регулювання постачання

електроенергії в залежності від режиму її споживання, але за умови достатнього інформаційного забезпечення на основі моделей прогнозування та підтримки прийняття рішень. За допомогою сучасних інформаційно-комунікаційних технологій «розумні» мережі також здатні забезпечити збалансоване поєднання та інформаційне сполучення користувачів мікрогрід з ВДЕ з централізованим електропостачанням від традиційних електростанцій у випадку недостатності потужності. Забезпечення оптимальності процесу генерування, розподілу та споживання електроенергії у мікросистемах з урахуванням особливостей та можливостей генерації ВДЕ у реальному часі крім потужних комунікаційних можливостей розосередженої системи керування вимагає залучення відповідних підходів щодо формування керувальних впливів та законів керування окремими джерелами електроенергії з урахуванням специфіки їх керованості та спостережності. Саме набуття енергетичною системою адаптивного характеру є однією з ключових цілей розбудови інтелектуальних енергетичних мереж майбутнього, задля яких необхідне впровадження новітніх інформативних технологій [8].

До елементів Smart Grid у загальній структурі відносять:

- інтелектуальні датчики, вимірювальні пристрої та пристрої керування для магістральних та розподільчих мереж;
- IT-рішення, що являють собою інтелектуальні інформаційні системи моніторингу, прогнозування, оцінки якості електричної енергії, управління, або такі, що спрямовані на вирішенні комплексу задач;
- інтегровані засоби контролю і керування – комплексні рішення в області автоматизації керування електроспоживанням;
- інтелектуальні лічильники споживання електричної енергії.

Smart Grid розвивається як Інтернет-подібна інфраструктура, що забезпечує підтримку енергетичних, економічних та інформаційних взаємовідносин між суб'єктами енергетичного ринку. Енергетична система, розглядається як об'єкт управління, що має на меті її модернізацію та створення нових функціональних можливостей та досягнення ключових цілей, визначених усіма зацікавленими

сторонами. Впровадження систем енергетичного менеджменту на стороні споживача з використанням автоматизованих технологій для управління та зменшення споживання енергії та витрат у житлових приміщеннях, дозволяє розширити межі використання Smart Grid до побутових споживачів.

Отже, на підставі проведеного аналізу можна підсумувати, що ефективність імплементації технології Smart Grid в енергетичну систему країни визначається автоматизацією прийняття управлінських рішень, що збільшить ефективність управління енергетичною системою в нормальному та аварійному режимах. Суттєве ускладнення завдань структур організації та управління в електроенергетиці, що реформується, зростання потреби в енергетичних послугах в кількісному та якісному вимірах, зміна статусу споживача як активного суб'єкта на енергетичному ринку, нові вимоги до екологічних та соціальних аспектів енергетики, зумовлюють необхідність розроблення та впровадження інтелектуальних інформаційних систем підтримки прийняття рішень при управлінні енергетичною інфраструктурою.

1.3 Постановка завдання на розробку інтелектуального модуля управління енергозабезпеченням виробничого підприємства

Враховуючи те що, метою кваліфікаційної роботи є розробка комп'ютерно-інтегрованої системи автоматизації приладобудівного виробничого підрозділу, для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз сучасних технологій автоматизації управління елементами електромереж;
- провести аналіз енергетичної структури підприємства для визначення модулів, які потребують інтелектуалізації управління;
- провести аналіз методології побудови інтелектуальної підтримки прийняття рішень при управлінні енергетичною інфраструктурою;

- розробити модель інтелектуального модуля управління енергозабезпеченням виробничого підприємства;
- створити програмний продукт для розробленого модуля.

2 МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОДУЛЯ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМОЮ

2.1 Аналіз методології побудови інтелектуальних технологій підтримки прийняття рішень при управлінні енергетичною інфраструктурою

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 інтелектуальні технології підтримки прийняття рішень.

Важливим є актуальність та гнучкість 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.

Загалом в процесах управління Smart Grid розглядається двосторонній потік електроенергії та даних між постачальниками та споживачами, інформацію щодо навантаження та прогнозування відновлюваного виробництва. В загальному процес інформаційної підтримки для різних рівнів роботи Smart Grid можна подати у вигляді схеми представленої на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Задачі інформаційної підтримки в системах Smart Grid

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 [9]. Вони можуть бути розподілені на групи, які здійснюють управління даними, аналіз даних та прийняття рішень (рис. 2.2).

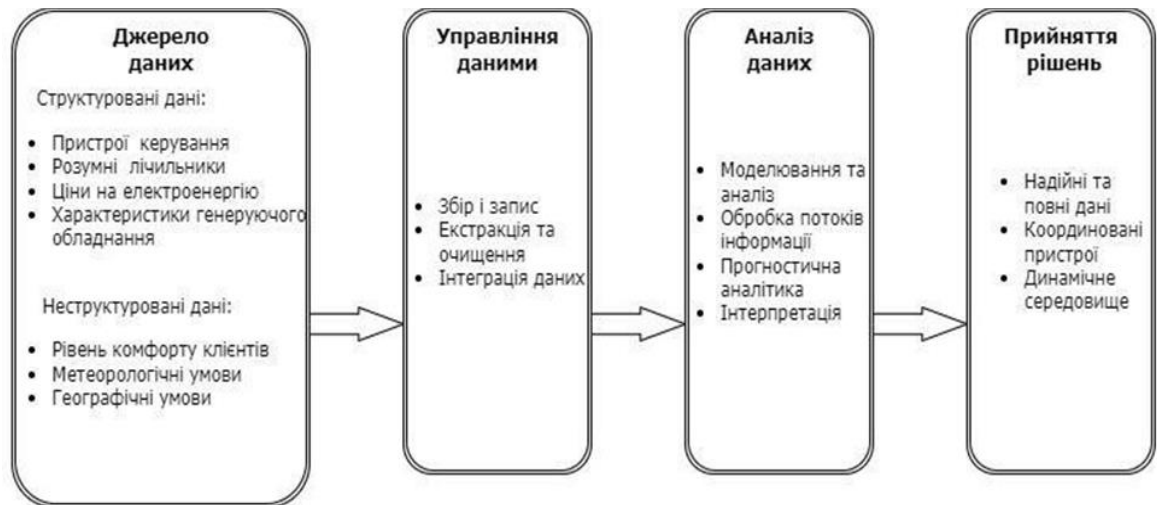


Рисунок 2.2 – Конфігурація та типи даних в системі типу Smart Grid

В процесі прийняття рішень на основі даних стосовно керування Smart Grid виникають наступні задачі.

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.

Для вирішення цих фундаментальних задач використовуються системи підтримки прийняття рішень при управлінні Smart Grid. Основна роль такої системи полягає в підвищенні ефективності та відмовостійкості мережі [10–12].

2.2 Архітектура та засоби розробки системи

СППР – це 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. 2.3).

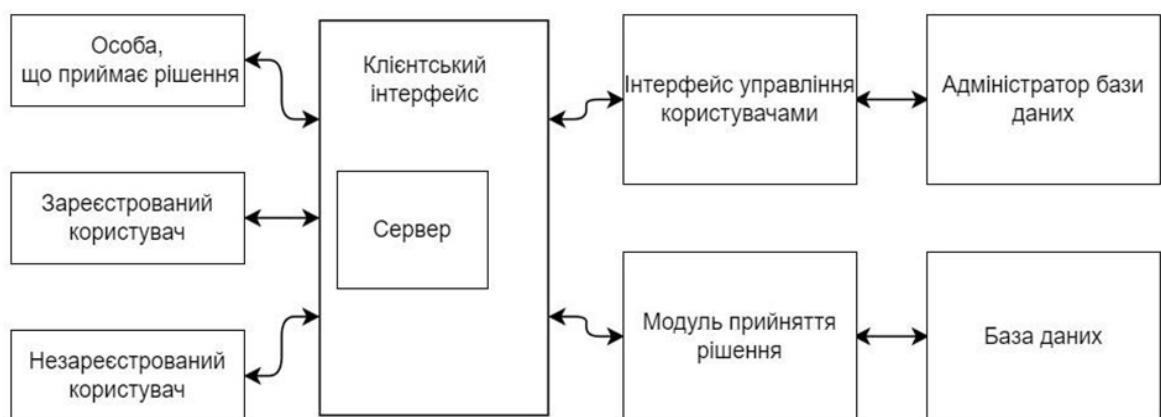


Рисунок 2.3 – Архітектура системи підтримки прийняття рішень (DSS)

Платформа Smart DSS, представлена в роботі, 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 надає чотири різних типи користувачів:

- гостьовий користувач, який не потрібний для аутентифікації;
- зареєстрований / просунутий користувач: після реєстрації просунутий користувач може змінювати моделі і екземпляри;
- особа, яка приймає рішення, є зареєстрованим користувачем, якому були надано можливості прийняття рішень адміністратором. Особи, які приймають рішення, можуть створювати нові моделі і екземпляри, змінювати і зберігати їх, збереження і видалення існуючих і імпорт даних у клонованих примірниках з іншого примірника тієї ж моделі;
- адміністратор, який може виконувати ті ж дії, що і особа, яка приймає рішення, і, крім того, що володіє повним управління всіма зареєстрованими користувачами, можливість призначати і змінювати всі ролі користувачів.

Сервер функціонально розділений на два основних модуля: модуль DSS і інтерфейс у правління користувачами. Перший відповідає за управління модулями та екземплярами DSS, а також операції, виконувани 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 складаються 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 [14].

До переваг системи моніторингу можна віднести динамічність, 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 спостереження використання енергії з сонячних батарей чи зарядної станції. А особливо при використанні спеціальних трекерів для спостережанні 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% , так як рухають батареї за сонцем [15].

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 [16]. 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.

2.3 Моделі сховища даних та бази даних інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень при управлінні енергозабезпеченням підприємства

При прийнятті рішень при управлінні енергозабезпеченням підприємства потрібно оброблювати великі масиви інформації, саме тому необхідні дані потрібно правильно організовувати та зберігати. У роботі розглянута можливість використання як баз даних, так і сховища даних [17, 18].

Перевага надається останньому, адже для ефективного виконання аналітики над інтегрованими даними, сховище даних проектується як шар поверх розроблених баз даних. З визначення бази даних маємо, що це набір даних, організований для зберігання, доступу та пошуку, а сховище даних – це предметно-орієнтований, інтегрований, енергонезалежний набір даних, який змінюється з часом і підтримує можливість керування прийняттям рішень.

У роботі Кардона [19] наведено порівняльну таблицю баз та сховищ даних. Базуючись на результатах аналізу, було побудовано архітектуру сховища даних над базами даних. Дані отримуються з «надавачів даних» (датчиків, лічильників та ін. пристроїв) і зберігаються у операційній базі даних. Завдяки процесам витягу інформації важливі накопичені дані передаються у сховище, а потім використовуються для вироблення правил прийняття рішень.

На рисунку 2.4 показана архітектура сховища даних.

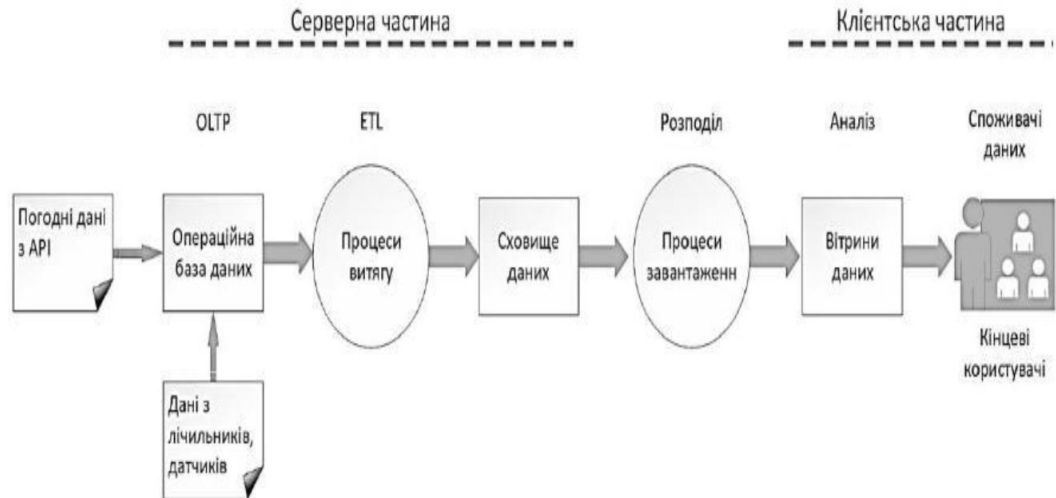


Рисунок 2.4 – Архітектура сховища даних

Архітектура складається з наступних компонентів:

- операційна система, з якою у реальному часі працюють користувачі, до якої надходять дані з сонячних панелей, електроакумуляторів, вітроелектроустановок та погодних API, тобто усі дані, необхідні для підтримки прийняття рішень;
- зовнішні джерела інформації: включають дані, що отримуються з зовнішніх джерел, як от дані про погоду з API, дані про споживання та генерацію з датчиків;
- процеси витягу, які щотижнево постачають інформацію до сховища даних;
- сховище даних;
- процеси завантаження;
- вітрини даних, які представляють дані для аналізу в зручній для користувача формі;
- кінцеві користувачі.

Для представлення логічних зв'язків між межами системи, процесами та об'єктами даних на рисунку 2.5 наведено діаграму потоку даних у нотації DFD. DFD нульового рівня, або контекстна діаграма це логічна модель потоку даних

через систему, яка є чудовим інструментом для узагальнення та організації детальної інформації для забезпечення логічної карти системи.



Рисунок 2.5 – Діаграма потоку даних

Елементи діаграми потоків даних ведуть безпосередньо до фізичного проектування, де процеси відповідають програмам та процедурам, зовнішні сутності – системам з яких поступають чи куди надходять дані, а сховища даних – об'єктам, файлам та базам даних.

Для формування більш детального представлення про систему, на рисунку 2.6 наведено декомпозицію діаграми потоку даних. Розбиття узагальненого процесу контекстної діаграми на підпроцеси надає змогу виділити основні функції системи, адже ефективність і чіткість процесів є одним з основних елементів будь-якої бізнес-операції. Діаграми потоків даних є надзвичайно корисними інструментами для підтримки цих аспектів операції.

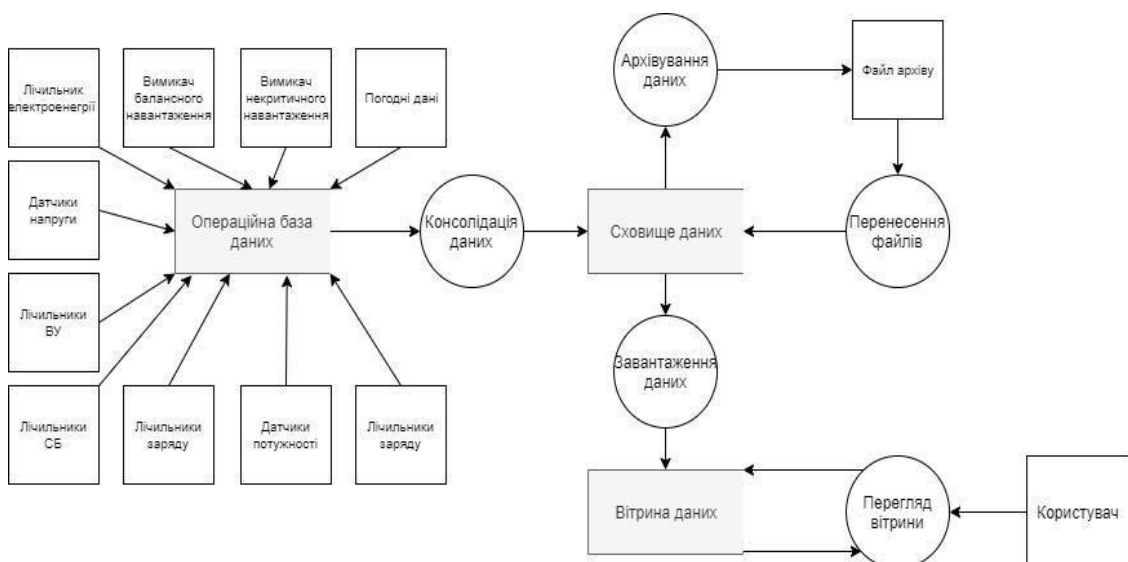


Рисунок 2.6 – Декомпозиція діаграми потоку даних

Дані до операційної бази надходять з різноманітних джерел енергомережі. З інтервалом у три години записуються прогнозовані погодні дані для надання прогнозів генерації енергії пристроями на день, три дні чи тиждень уперед. Щогодини надходять дані з приладів мікромережі.

Інформація, яка потрібна для функціонування системи підтримки прийняття рішень щотижнево наповнює сховище даних. Процедура наповнення сховища повинна проходити опівночі за Грінвічем для того, щоб мінімізувати затримки у роботі усієї системи.

З метою швидкодії та збереження дискового простору дані зі сховища щорічно проходять процес архівації та записуються до .csv файлів. Правильне найменування файлів надасть змогу швидко знайти потрібний та розархівувати його за потребою. Для обслуговування діяльності певного користувача, дані постачаються до окремих вітрин даних.

2.4 Інтелектуальні лічильники та датчики

Інтелектуальні лічильники (смарт-лічильники) зустрічаються зараз всюди. Ці пристрої займаються обліком і моніторингом ресурсів. Наприклад, світло, вода і газ. Їх функціональні можливості набагато перевершують традиційні методи обліку. Вони забезпечують точність, зручність і ефективність управління споживанням.

Дистанційний моніторинг є однією з основних функцій інтелектуальних лічильників. Він допомагає збирати дані автоматично, що сильно економить час і забезпечує більш оперативний доступ до інформації для постачальників послуг. А це, в свою чергу, допомагає швидше реагувати на зміни в споживанні.

Точний облік споживання – ще одна ключова перевага інтелектуальних лічильників. За допомогою нього відбувається менше помилок, ніж при звичайному знятті показань. Споживачі бачать детальні рахунки і це сприяє більш прозорому відношенню до фінансових витрат на споживані ресурси.

Важливо зазначити, що час використання впливає на ціну. А це означає, що споживач може знизити витрати за рахунок вибору часу для використання енергії.

Моніторинг в реальному часі теж вкрай важливий. Споживач може стежити за витратами, що допомагає помітити аномалії в споживанні. Наприклад, витік або зловживання ресурсами. Споживачеві майже відразу приходить повідомлення про подібні відхилення, що допомагає уникнути великих витрат.

Аналіз даних відіграє не менш важливу роль у функціональності інтелектуальних лічильників, він допомагає споживачам приймати обґрунтовані рішення щодо оптимізації споживання. Завдяки аналізу люди можуть побачити, як витрачаються ресурси і отримувати звіти за різні терміни. Такі звіти дають шанс виявити тенденції використання ресурсів .

Інтелектуальні лічильники можуть працювати з іншими пристроями, це відбувається через інтегрування в інтелектуальні системи (Smart Grids). Наприклад, вони можуть працювати з термостатами, освітленням і технікою. Це дозволяє автоматизувати управління витратами.

Величезною перевагою є те, що постачальники пропонують додатки зі зручним доступом до даних. Ці програми дозволяють стежити за витратами, перевіряти рахунки. А про особливо важливі події приходять повідомлення, що сильно спрощує управління своїм споживанням.

Ще інтелектуальні лічильники сприяють енергетичній ефективності. Вони показують, скільки витрачається енергії і іноді дають поради щодо економії, що сильно знижує витрати на ресурси. Таким чином споживачі отримують можливість оптимізувати свої витрати на ресурси, що в свою чергу сприяє зменшенню навантаження на енергетичні мережі.

Однофазні інтелектуальні електролічильники – це пристрої, які використовуються для обліку споживаної електроенергії в будинках або квартирах, де підключення однофазне (тобто, використовується тільки одна фаза для споживання).

Інтелектуальні лічильники з функцією підтримки енергетичних мереж (Smart Grids) дуже важливі для мереж, вони допомагають управляти енергією. Ці лічильники здатні взаємодіяти з іншими пристроями в мережі, що знижує навантаження і ризик перевантажень. Вони також можуть взаємодіяти з сонячними панелями, а це дозволяє ефективніше використовувати ресурси.

Комерційні та промислові електролічильники з аналітичною функцією вважаються важливими для підприємств. Вони можуть контролювати витрати на електроенергію, що дозволяє підприємствам виявляти неефективності та знаходити можливості для економії. Також споживачі отримують доступ до детальних звітів, які допомагають приймати обґрунтовані рішення щодо управління споживанням.

Таким чином, можна сказати, що лічильники для обліку електроенергії бувають дуже різні, вони допомагають точно вимірювати споживання електроенергії. Ці пристрої можна контролювати віддалено, а ще вони можуть працювати з розумними мережами. Все це покращує ефективність роботи енергетичних систем, такі прилади допомагають знизити витрати і підвищують енергоефективність.

Сучасні інтелектуальні лічильники електроенергії оснащені різноманітними технологіями та протоколами. За для передачі даних через електричні мережі використовують технологію Power Line Communication (PLC). Лічильники, що використовують цю технологію, можуть обмінюватися інформацією з центром обліку без необхідності прокладання додаткових комунікаційних ліній.

Інтелектуальні лічильники використовують бездротові технології, такі як Zigbee або LoRaWAN.

ZigBee – це бездротовий стандарт передачі даних. Підтримується і розвивається однойменним альянсом ZigBee™, який був створений в 2002 році з метою об'єднання зусиль з розроблення найефективніших протоколів і забезпечення сумісності пристроїв різних виробників.

LoRaWAN – це технологія, яка використовується в комплексних рішеннях

IoT для збору та обробки даних з розподілених датчиків.

Вони працюють на радіозв'язку та дозволяють лічильникам взаємодіяти з центральними системами в режимі реального часу.

Для передачі даних через стільникові мережі використовують лічильники, що оснащуються модулями GSM/GPRS. Це стає необхідно для збору інформації в віддалених або важкодоступних місцях.

Існують різного роду інтелектуальні лічильники і з кожним роком використання цих пристроїв стає дедалі популярнішим.

На рисунку 2.7 представлено трьохфазний лічильник Z-Wave Plus Qubino 3-Phase Smart Meter.

Z-Wave Plus Qubino 3-Phase Smart Meter стануть у пригоді для компаній, що потребують гнучкість доступу. Мобільні додатки й веб-портали надають зручний доступ до інформації, а функції аналізу якості енергії оптимізують роботу мереж. Такі рішення корисні для виробничих підприємств.



Рисунок 2.7 – Z-Wave Plus Qubino 3-Phase Smart Meter

На рисунку 2.8 представлено лічильник Elster A1700.



Рисунок 2.8 – Elster A1700

Elster A1700 стане оптимальним рішенням для підприємств, які прагнуть надійності. Він забезпечує точний облік і підтримує популярні протоколи зв'язку. Підходить для систем, які потребують підвищення продуктивності та ефективності.

Ці моделі забезпечують індивідуальний підхід до різних потреб. Обираючи відповідний пристрій, підприємства зможуть досягти більш ефективного управління енергетичними ресурсами.

Smart energy management controller.

Смарт контролер мікрогрід мережі від компанії “S.P.E.” призначений для мінімізації експлуатаційних витрат завдяки керуванню пріоритетом споживання електроенергії залежно від ціни на оптовому ринку РДН, скорочення споживання електроенергії завдяки генерації сонячної електростанції (СЕС), поліпшення якості енергії та автономний режим роботи підприємства в разі вимкнення електроенергії.

При постійному зростанні вартості на електроенергію в Україні, економічно доцільним рішенням стає європейська модель роботи підприємства

під управлінням смарт грид мережі в складі гібридної СЕС і системи накопичення електроенергії (СНЕ).

Найбільший недолік мережевих СЕС – це обмеження генерації електроенергії потужністю споживання підприємства та відсутністю можливості зберігання енергії. Гібридна СЕС та СНЕ є ідеальним рішенням для балансування генерації СЕС та обсягів споживання підприємства. Таким чином ми оптимізуємо роботу СЕС майже на 100%, та значно покращуємо обсяг компенсації споживання підприємством електрики.

Завдяки наявності мікрогريد мережі на підприємстві із застосуванням нашого контролера мікрогريد мережі для управління промисловою гібридною СЕС і СНЕ у підприємства з'являються додаткові можливості економії на рахунках за електрику як “споживача класу А” на оптовому ринку електроенергії РДН:

- закупівля обсягу електроенергії поза годиною пік (за найнижчою ціною з 0:00 до 6:00 ранку);
- споживання накопиченої електроенергії в СНЕ та генерації СЕС (не купуючи дорогу електрику в ранкову годину пік на ринку РДН з 7:00 до 10:00);
- споживання електрики від СНЕ накопиченої енергії в обідній пік генерації СЕС у вечірній час пік (з 16-00 до 19-00).

Контролер мікрогريد мережи на підприємстві допоможе зекономити 20-30% витрат на електроенергію (тільки за рахунок різниці вартості електрики на оптовому ринку РДН). Контролер microgrid використовується як центральний елемент керування мікрогريد мережею з системою онлайн-моніторингу та підключених до неї декількох інверторів і СНЕ. Цей контролер керування сонячної станцій та СНЕ буде цікавий тим виробництвам, які хочуть модернізувати вже встановлену СЕС або тільки планують її будівництво (рис. 2.9).



Рисунок 2.9 – Smart energy management controller

Запропонований контролер смарт грид мережі аналізує обсяг споживання енергії підприємством та автоматично вмикає додаткові навантаження (холодильне обладнання, бойлери тощо) опівдні під час максимального обсягу генерації СЕС.

Окрім того, ви можете керувати та стежити за обсягом споживання підприємства та режимом більш ефективного споживання через платформу моніторингу з можливістю онлайн керування з пріоритетом обсягів генерації та споживання її підприємства, що також можна робити в будь-який час за допомогою мобільного додатку до цього пристрою.

Забезпечена технічна можливість зміни налаштувань СНЕ та інверторів, діагностики та віддаленого сервісного обслуговування комплекту обладнання в онлайн-режимі.

У підсумку, інтелектуальні лічильники надають широкі можливості. Вони допомагають контролювати витрати, дають можливість оптимізувати споживання.

Ці пристрої вкрай важливі для роботи енергомереж, вони ілюструють дані і можуть давати хороші поради, спираючись на отриману інформацію. Такі пристрої відіграють велику роль у розвитку розумних мереж.

3 ВИБІР ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА РОЗРОБКА ПРОЕКТУ

3.1 Функціонал проекту

Новий інтелектуальний підхід до енергозабезпечення передбачає наявність на підприємстві п'яти груп ключових інноваційних технологій :

- вимірювальні прилади та пристрої, в першу чергу, smart-лічильники та smart-датчики;

- вдосконалені методи управління: розподілені інтелектуальні системи управління та аналітичні інструменти для підтримки комунікацій на рівні об'єктів енергосистеми, що працюють в режимі реального часу і дозволяють реалізувати нові алгоритми та методики управління енергосистемою, включаючи управління її активними елементами. Цей компонент загальної системи розглядається в даній роботі;

- вдосконалені технології і компоненти електричної мережі: гнучкі передачі змінного струму FACTS, надпровідні кабелі, напівпровідникова, силова електроніка, накопичувачі;

- інтегровані інтерфейси і методи підтримки прийняття рішень, управління попитом, розподілена система моніторингу і контролю (DMCS), розподілена система поточного контролю за генерацією (DGMS), а також нові методи планування і проектування як розвитку, так і функціонування енергосистеми та її елементів;

- інтегровані комунікації, які дозволяють елементам перших чотирьох груп забезпечувати взаємозв'язок і взаємодію один з одним.

Властивості інтелектуального модуля управління енергозабезпеченням підприємства наступні:

- управління алгоритмами роботи мікрогрід мережі для підприємства;
- система диспетчеризації даних і дистанційного керування режимами генерації СЕС для роботи на оптовому ринку РДН;

- управління пріоритетом режиму роботи СНЕ залежно від прогнозу вартості електрики на оптовому ринку РДН;
- оптимізація режимів споживання електроенергії підприємства залежно від генерації СЕС на основі метеопрогнозу;
- система управління режимами споживання електрики на підприємстві (demand response – вимкнення енергоємних навантажень у годину пік/за командою оператора).

3.2 Розробка проекту інтелектуального модуля

Рішення знаходження оптимального співвідношення використання в реальному часі РДН, СЕС та СНЕ розглянемо як задачу лінійного програмування:

Цільова функція:

$$Z=C_1x_1+C_2x_2+C_3x_3 \rightarrow \max. \quad (3.1)$$

Давайте розглянемо, як описати коефіцієнти C_1 , C_2 та C_3 у функції Z для задачі розподілу потужностей між трьома джерелами електропостачання.

Припустимо, що x_1 , x_2 та x_3 – це потужності, які постачаються від джерел 1(РДН), 2(СЕС) та 3(СНЕ) відповідно. Функція Z описує загальну цільову функцію, яку ми хочемо оптимізувати. Залежно від мети, коефіцієнти C_1 , C_2 та C_3 можуть мати різний сенс.

Варіант 1. Мінімізація витрат.

Якщо метою є мінімізація загальних витрат на електроенергію, то c_1 , c_2 , та c_3 представляють вартість одиниці потужності для кожного джерела.

Наприклад:

- $C_1 = 0,1$ грн за 1кВт/год (вартість одиниці потужності від джерела 1);
- $C_2 = 0,15$ грн за 1кВт/год (вартість одиниці потужності від джерела 2);
- $C_3 = 0,2$ грн за 1кВт/год (вартість одиниці потужності від джерела 3).

У цьому випадку функція Z матиме вигляд:

$$Z = 0,1x_1 + 0,15x_2 + 0,2x_3. \quad (3.2)$$

Задача полягатиме в мінімізації Z , тобто знаходженні такого розподілу потужностей, щоб загальна вартість була мінімальною.

Варіант 2. Максимізація надійності.

Якщо метою є максимізація надійності системи електропостачання, то C_1 , C_2 та C_3 можуть представляти коефіцієнти надійності для кожного джерела. Вищі значення c вказують на більшу надійність i -го джерела.

Наприклад:

– $C_1 = 0,95$ (коефіцієнт надійності джерела 1);

– $C_2 = 0,9$ (коефіцієнт надійності джерела 2);

– $C_3 = 0,85$ (коефіцієнт надійності джерела 3).

У цьому випадку функція Z матиме вигляд:

$$Z = 0,95x_1 + 0,9x_2 + 0,85x_3. \quad (3.3)$$

Задача полягатиме в максимізації Z , тобто знаходження такого розподілу потужностей, щоб загальна надійність була максимальною.

Варіант 3. Комбінована цільова функція.

Можна також створити комбіновану цільову функцію, яка враховує як витрати, так і надійність.

Наприклад:

$$Z = 0,1x_1 + 0,15x_2 + 0,2x_3 - 0,05(0,95x_1 + 0,9x_2 + 0,85x_3). \quad (3.4)$$

У цьому випадку мінімізуються витрати, але з врахуванням певної втрати за нижчу надійність.

Конкретні значення C_1 , C_2 та C_3 залежать від конкретних умов задачі та

критеріїв оптимізації. Їх необхідно визначати на основі економічних, технічних та інших факторів підприємства.

Умови записані системою рівнянь:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 \leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 \leq b_2 \\ a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 \leq b_3 \end{cases} \quad (3.5)$$

Врахуємо, що

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0. \quad (3.6)$$

Опишемо коефіцієнти a_{11} , a_{12} , a_{13} , a_{21} , a_{22} , a_{23} , a_{31} , a_{32} , a_{33} для задачі оптимізації системи електропостачання. Ці коефіцієнти, як правило, входять до обмежень задачі лінійного програмування, які визначають допустимі значення для потужностей, що генеруються кожним джерелом.

У задачах лінійного програмування обмеження зазвичай виражаються у вигляді лінійних нерівностей. Для трьох джерел електропостачання (x_1 , x_2 , x_3 – потужності від джерел 1, 2, 3 відповідно) обмеження можуть мати загальний вигляд, заданий системою нерівностей (3.5). Праві частини нерівностей b_1 , b_2 , b_3 – це праві частини нерівностей (граничні значення).

Інтерпретація коефіцієнтів наступна. Кожен коефіцієнт a_{ij} , де i – номер обмеження, j – номер джерела, вказує на вплив потужності від джерела j на i -те обмеження. Розглянемо типові приклади обмежень та їх коефіцієнти.

Обмеження на загальну потужність (навантаження).

Якщо система повинна задовольняти певне загальне навантаження (попит) P , то можна записати обмеження:

$$x_1 + x_2 + x_3 \geq P \quad (3.7)$$

або

$$x_1 + x_2 + x_3 - s_1 = P, \quad (3.8)$$

де s_1 – додаткова змінна.

В цьому випадку:

- $a_{11} = 1$ (вплив x_1 на обмеження, кожний кВт від джерела 1 враховується);
- $a_{12} = 1$ (вплив x_2);
- $a_{13} = 1$ (вплив x_3);
- $b_1 = P$ (загальний попит).

Обмеження на максимальну потужність кожного джерела.

Кожне джерело має обмеження на максимальну потужність, яку воно може генерувати.

Наприклад:

- $x_1 \leq P_{1_max}$ (максимальна потужність джерела 1);
- $x_2 \leq P_{2_max}$ (максимальна потужність джерела 2);
- $x_3 \leq P_{3_max}$ (максимальна потужність джерела 3).

В цьому випадку:

- для обмеження на x_1 : $a_{21} = 1, a_{22} = 0, a_{23} = 0, b_2 = P_{1_max}$;
- для обмеження на x_2 : $a_{31} = 0, a_{32} = 1, a_{33} = 0, b_3 = P_{2_max}$;
- для обмеження на x_3 : $a_{41} = 0, a_{42} = 0, a_{43} = 1, b_4 = P_{3_max}$.

Обмеження на мінімальну потужність (наприклад, для базових станцій).

Деякі джерела можуть мати мінімальну потужність, яку вони повинні генерувати для ефективної роботи.

Наприклад:

- $x_1 \geq P_{1_min}$ (мінімальна потужність джерела 1);
- $x_2 \geq P_{2_min}$ (мінімальна потужність джерела 2);
- $x_3 \geq P_{3_min}$ (мінімальна потужність джерела 3).

В цьому випадку:

- для обмеження на x_1 : $a_{51} = -1, a_{52} = 0, a_{53} = 0, b_5 = -P_{1_min}$;
- для обмеження на x_2 : $a_{61} = 0, a_{62} = -1, a_{63} = 0, b_6 = -P_{2_min}$;
- для обмеження на x_3 : $a_{71} = 0, a_{72} = 0, a_{73} = -1, b_7 = -P_{3_min}$.

Обмеження можуть мати негативний знак.

Обмеження, пов'язані з передачею електроенергії.

Якщо існують обмеження на пропускну здатність ліній електропередачі, то ці обмеження також можуть бути представлені у вигляді лінійних нерівностей, де коефіцієнти a_{ij} будуть відображати вплив генерації від кожного джерела на навантаження ліній.

Приклад рішення задачі з конкретними значеннями.

Припустимо, у нас є наступна задача.

Загальний попит: $P = 1000$ кВт.

Максимальна потужність джерела 1: $P_{1_max} = 500$ кВт.

Максимальна потужність джерела 2: $P_{2_max} = 400$ кВт.

Максимальна потужність джерела 3: $P_{3_max} = 600$ кВт.

Мінімальна потужність джерела 1: $P_{1_min} = 100$ кВт.

Тоді обмеження будуть:

$$- x_1 + x_2 + x_3 \geq 1000;$$

$$- x_1 \leq 500;$$

$$- x_2 \leq 400;$$

$$- x_3 \leq 600;$$

$$- x_1 \geq 100.$$

І коефіцієнти:

$$- a_{11} = 1, a_{12} = 1, a_{13} = 1, b_1 = 1000;$$

$$- a_{21} = 1, a_{22} = 0, a_{23} = 0, b_2 = 500;$$

$$- a_{31} = 0, a_{32} = 1, a_{33} = 0, b_3 = 400;$$

$$- a_{41} = 0, a_{42} = 0, a_{43} = 1, b_4 = 600;$$

$$- a_{51} = -1, a_{52} = 0, a_{53} = 0, b_5 = -100.$$

Можна зробити висновок:

– кількість обмежень та їх вид залежить від конкретної задачі та цілей оптимізації;

– необхідно уважно визначити всі обмеження, які впливають на роботу системи електропостачання;

- кожен коефіцієнт a_{ij} повинен бути правильно інтерпретований та визначений на основі фізичних характеристик системи;

- завжди перевіряйте розмірність та значення коефіцієнтів, щоб уникнути помилок.

Отже, щоб описати коефіцієнти a_{ij} , потрібно спочатку визначити всі обмеження, які діють в вашій системі електропостачання. Потім, для кожного обмеження, визначте, як потужність від кожного джерела впливає на це обмеження.

3.3 Реалізація методу оптимізації електропостачання

Реалізації симплекс-методу для розв'язання задачі оптимізації електропостачання підприємства як задачі лінійного програмування з трьома змінними здійснювалась на мові C++.

Проект, який отримав назву ЕНЕРГО, розділений на кілька етапів:

- ініціалізація таблиці симплекс-методу;
- вибір вхідного та вихідного базису;
- перетворення таблиці до оптимального рішення;
- виведення результату.

Підключення заголовних модулів та оголошення глобальних змінних відображено на рисунку 3.1.

```
#include <iostream>
#include <vector>
#include <iomanip>
#include <cmath>
#include <algorithm>
#include <limits>
#include <string>
#include <cstdlib>
#include <windows.h>
using namespace std;

const int MAX = 10;
const double EPS = 1e-8;
```

Рисунок 3.1 – Підключення заголовних модулів проекту ЕНЕРГО

Програмування інтерфейсу програми та визначення основних параметрів задачі (кількість джерел електропостачання та їх потужність) відображена на рисунку 3.2.

```

int main() {
    setlocale(LC_ALL, "");
    SetConsoleCP(1251);
    int m, n;
    // m - кількість обмежень
    // n - кількість змінних
    cout << "=====Розподіл потужностей на 11.30 10.05.2025 між РНД, СЕС та СНЕ===== "<< endl;
    cout << "Введіть кількість обмежень: ";
    cin >> m;
    cout << "Введіть кількість змінних: ";
    cin >> n;
    vector<vector<double>> tableau(m + 1, vector<double>(n + m + 1, 0.0));
    cout << "Введіть коефіцієнти обмежень (a_ij) та вільні члени (b_i):" << endl;
    for (int i = 0; i < m; i++) {
        for (int j = 0; j < n; j++) {
            cin >> tableau[i][j];
        }
        tableau[i][n + i] = 1.0; // Додаємо slack змінну
        cin >> tableau[i][n + m]; // Вільний член
    }

    cout << "Введіть коефіцієнти цільової функції c_j:" << endl;
    for (int j = 0; j < n; j++) {
        cin >> tableau[m][j];
        tableau[m][j] = -tableau[m][j]; // Переводимо в стандартну форму
    }
}

```

Рисунок 3.2 – Введення основних параметрів системи електропостачання підприємства

Рішення оптимізаційної задачі симплекс–методом в програмі ЕНЕРГО відображено на рисунках 3.3 та 3.4.

```

while (true) {
    // Знаходження стовпця з найбільш негативним коефіцієнтом в останньому рядку
    int pivot_col = -1;
    double min_val = 0.0;
    for (int j = 0; j < n + m; j++) {
        if (tableau[m][j] < min_val) {
            min_val = tableau[m][j];
            pivot_col = j;
        }
    }
    // Якщо всі коефіцієнти позитивні, оптимальне рішення знайдено
    if (pivot_col == -1) {
        break;
    }
    // Знаходження строки для пивота (мінімального відношення b_i / a_ij)
    int pivot_row = -1;
    double min_ratio = 1e9;
    for (int i = 0; i < m; i++) {
        if (tableau[i][pivot_col] > EPS) {
            double ratio = tableau[i][n + m] / tableau[i][pivot_col];
            if (ratio < min_ratio) {
                min_ratio = ratio;
                pivot_row = i;
            }
        }
    }
}

```

Рисунок 3.3 – Фрагмент коду рішення оптимізаційної задачі

На рисунку 3.4 окремо виділено фрагмент півотування.

Півот – це ключове поняття в симплекс-методі, який використовується для розв'язання задач лінійного програмування. Півотування є процесом, що дозволяє переходити від одного базисного рішення до іншого, покращуючи значення цільової функції.

Півотний елемент – це елемент матриці, який використовується для перетворення таблиці симплекс-методу. Він обирається на основі критерію, що дозволяє максимізувати або мінімізувати цільову функцію.

Зазвичай, півотний стовпець вибирається як стовпець з найбільшим від'ємним коефіцієнтом (для максимізації) або найбільшим позитивним (для мінімізації).

Приклад.

Припустимо, у вас є таблиця симплекс-методу, і ви вибрали півотний елемент у позиції 2.3. Ви поділите другий рядок на значення цього елемента, а потім скоригуєте інші рядки, щоб відобразити зміни.

Півотування є критично важливим для досягнення оптимального рішення в задачах лінійного програмування, оскільки воно дозволяє систематично досліджувати простір рішень, покращуючи значення цільової функції на кожному кроці.

```
// Якщо немає підходящої строки, задача не обмежена
if (pivot_row == -1) {
    cout << "Задача не обмежена." << endl;
    return 0;
}

// Півотування
double pivot = tableau[pivot_row][pivot_col];
for (int j = 0; j <= n + m; j++) {
    tableau[pivot_row][j] /= pivot;
}

for (int i = 0; i <= m; i++) {
    if (i != pivot_row) {
        double factor = tableau[i][pivot_col];
        for (int j = 0; j <= n + m; j++) {
            tableau[i][j] -= factor * tableau[pivot_row][j];
        }
    }
}
}
```

Рисунок 3.4 – Фрагмент коду півотування в симплекс-методі

Керівництво користувача.

Введення даних:

- користувач вводить кількість обмежень m та кількість змінних n ;
- потім вводяться коефіцієнти обмежень та вільні члени;
- далі вводяться коефіцієнти цільової функції.

Ініціалізація таблиці:

- створюється таблиця розміром $m+1$ на $n+m+1$, де m – кількість обмежень, n – кількість змінних;
- в таблицю додаються слайдові змінні (slack variables) для перетворення

нерівностей в рівності.

Симплекс-метод:

– вибирається вхідний стовпець з найбільшим від'ємним коефіцієнтом в цільовій функції;

– для цього стовпця вибирається вихідний рядок з мінімальним відношенням вільного члена до коефіцієнта вхідного стовпця;

– півотування (приведення) таблиці для переходу до нової базисної системи;

– процес повторюється до тих пір, поки в цільовій функції не залишаться від'ємні коефіцієнти.

Виведення результату (рис. 3.5):

– визначаються значення змінних з базисних змінних таблиці;

– виводиться оптимальне значення цільової функції.

```
// Вивід результатів
cout << fixed << setprecision(2);
vector<double> solution(n, 0.0);
for (int i = 0; i < m; i++) {
    // Знайти базисну змінну
    int var = -1;
    for (int j = 0; j < n + m; j++) {
        if (abs(tableau[i][j] - 1.0) < EPS) {
            bool is_basis = true;
            for (int k = 0; k < m; k++) if (k != i && abs(tableau[k][j]) > EPS) { is_basis = false; break; }
            if (is_basis) {
                var = j;
                break;
            }
        }
    }
    if (var >= 0 && var < n) {
        solution[var] = tableau[i][n + m];
    }
}
cout << "Оптимальне рішення:" << endl;
for (int j = 0; j < n; j++) {
    cout << "x" << j + 1 << " = " << solution[j] << endl;
}
cout << "Максимальне значення цільової функції Z = " << tableau[m][n + m] << endl;
return 0;
}
```

Рисунок 3.5 – Виведення результату

Приклад рішення задачі за допомогою ЕНЕРГО відображено на

рисунку 3.6.

```

Консоль отладки Microsoft Vi X + v
=====Розподіл потужностей на 11.30 10.05.2025 між РНД, СЕС та СНЕ=====
Введіть кількість обмежень: 3
Введіть кількість змінних: 3
Введіть коефіцієнти обмежень (a_ij) та вільні члени (b_i):
12 11 12
30
12 11 13 40
34 12 14 40
Введіть коефіцієнти цільової функції c_j:
2
3
4
Оптимальне рішення:
x1 = 0.00
x2 = 0.00
x3 = 2.50
Максимальне значення цільової функції Z = 10.00

```

Рисунок 3.6 – Приклад роботи програми

3.3 Охорона праці

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних, лікувально-профілактичних, реабілітаційних та інших заходів і засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини в процесі трудової діяльності [21].

Коефіцієнт умов праці характеризує відповідність фактичних умов праці нормативним. Не всі матеріально-виробничі елементи умов праці визначаються кількісною оцінкою. Тому при розрахунку коефіцієнта умов праці необхідно брати ті з них, які можна виразити певною числовою величиною і для яких є нормативне значення. Такими елементами можуть бути освітленість, температура, вогкість, шум, вібрація тощо [22].

Коефіцієнт умов праці K визначається як середньо геометрична величина показників, які характеризують умови праці, за такою формулою

$$K = \sqrt[n]{a_1 a_2 \cdots a_n}, \quad (3.9)$$

де a_1, a_2, \dots, a_n – індекс відхилення фактичних елементів умов праці від нормативних за відповідними показниками;

n – кількість показників, які характеризують елементи умов праці, за якими проводилися виміри [22].

Охорона праці включає в себе такі аспекти як:

- законодавчі заходи;
- організаційно-технічні заходи;
- санітарно-гігієнічні заходи;
- лікувально-профілактичні заходи;
- навчання та інструктажі [21].

Охорона праці в інтелектуальному керуванні енергозабезпеченням включає в себе використання автоматизованих систем і програмного забезпечення для оптимізації процесів на виробництві. Охорона праці в цьому контексті має особливе значення, оскільки пов'язана з безпекою роботи людей і обладнання.

Основними аспектами, які потрібно враховувати при роботі з даною системою, є:

- використання сенсорів та аварійних вимикачів в виробничих приміщеннях забезпечує безпеку під час роботи автоматизованої системи та знижує фізичні навантаження на працівників, підвищуючи загальний рівень безпеки;
- забезпечення працівників переносними пристроями та іншими інноваційними засобами, що дають змогу відстежувати фізичний стан у реальному часі. Це дозволить запобігти перевтоми та інших ризиків для здоров'я працівників, а також провести аналіз даних, за допомогою яких можливо вчасно виявляти потенційні проблеми;
- використання роботизованих підйомників, транспортних засобів, конвеєрних стрічок та інших автоматизованих рішень задля оптимізації процесів

на виробництві, що дозволяє зменшити фізичне навантаження на працівників і підвищує ефективність роботи;

– використання онлайн-платформ, інтерактивних інструментів, таких як віртуальна реальність, задля навчання працівників безпеки при роботі з новими технологіями, дозволяє зменшити ризики травмування працівників та отримання знань про безпечні практики та процедури в будь-який зручний час при навчанні;

– використання інтелектуальних систем керування будівлями, що автоматично регулюють умови праці, такі як освітлення, температура та вентиляція, дозволяють забезпечити комфортні умови для працівників та запобігти небезпечним умовам праці;

– використання великих даних та аналітики задля аналізу інцидентів, трендів і впровадження нових технологій, що дає змогу прогнозувати можливі ризики та розробляти превентивні заходи для їх запобігання задля поліпшення умов праці.

ВИСНОВКИ

Проведено аналіз сучасних досліджень та підходів щодо застосування інтелектуальних систем та модулів для оцінювання та управління енергопостачанням підприємства в парадигмі технології Smart Grid.

Раціональне управління залежить від ефективного вибору режиму функціонування енергосистеми в залежності від поточних та можливих майбутніх станів та внутрішніх і зовнішніх факторів впливу.

Актуальність створення інтелектуальних модулів підтримки прийняття рішень при управлінні енергетичною інфраструктурою, які комплексно розглядають процес планування та управління з урахуванням можливого розвитку ситуації, взаємного впливу енергетичних об'єктів та можливості стабільно забезпечувати енергією підприємство не викликає сумнівів.

Були виконані наступні завдання:

- проведено аналіз концепції Smart Grid та можливості її використання для управління енергосистемою підприємства;
- проведено аналіз методології побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень при управлінні енергопостачанням підприємства;
- визначені параметри та засоби розробки системи;
- обрано програмний засіб та сформульовано функціонал проекту;
- проаналізовані апаратні (технічні) засоби, які складають технічну основу проекту. Сформулювати оптимальні варіанти для реалізації проекту;
- розроблено інтелектуальний модуль управління енергозабезпеченням підприємства.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. - 29 с.
2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, С.П. Новоселов, О.В Сичова. Харків: ХНУРЕ, 2022. – 55 с.
3. Матвєєва Ю. Аналіз зарубіжного досвіду щодо забезпечення енергетичної ефективності на основі моделі SMARTGRID [Електронний ресурс] /– Режим доступу
4. Kuzior Aleksandra. Green Energy in Ukraine. State, Public Demands, and Trends / Aleksandra Kuzior, Alla Lobanova. Liudmyla Kalashnikova // Energies. – 2021. – 14 (22) . – 745 p.
5. Мелконова І. В. Аналіз стану та перспективи впровадження Smart Grid в енергетиці України / І. В. Мелконова, Ю. А. Романченко // Сучасні електромеханічні та інформаційні системи: монографія / за заг. ред. І. В. Панасюка. – Київ : КНУТД, 2021. – С. 39-43.
6. 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.
7. Smart Grid Concept as a Perspective for The Development of Ukrainian Energy Platform [Електронний ресурс] /– Режим доступу: [www / URL:https://ibimapublishing.com/articles/IBIMABR/2019/923814/](http://www/URL:https://ibimapublishing.com/articles/IBIMABR/2019/923814/).
8. Черкашина В. В. Комплексний аналіз розвитку українських електричних

мереж відповідно концепції Smart Grid / В. В. Черкашина. В. М. Баклицький // Sciences of Europe. – 2021. – № 66. – С. 32-35.

9. Mohamed A. A Review on Big Data Management and Dcecision-making in Smart Grid / A. Mohamed, S. S. Refaat, H Abu-Rub // Power Electronics and Drives. – 2019. – Vol. 4 (39). – P. 1-13.

10. Information Technology of Decision-Making Support on the Energy Management of Hybrid Power Grid // S. Shendryk, V. Shendryk, S. Tymchuk, Y. Parfenenko // Communications in Computer and Information Science. – 2021. –Vol. 1486. – P. 72-83.

11. Shendryk Vira. Decision Making for Energy Management in Smart Grid // Vira Shendryk, Olha Boiko, Yuliia Parfenenko, Sergii Shendryk, Sergii Tymchuk // Research Anthology on Clean Energy Management and Solutions. – 2021. – P. 1742-1776.

12. Shendryk S. Decision Support System for Efficient Energy Management of MicroGrid with Renewable Energy Sources / S. Shendryk, V. Shendryk, Y. Parfenenko, O. Drozdenko and S.Tymchuk // The 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2021). IEEE, 2021. – P. 225-230.

13. СППР-системи [Електронний ресурс] /– Режим доступу: www / URL: <https://softline.org.ua/sppr.html>.

14. Talaat M. Hybrid-cloud-based Data Processing for Power System Monitoring in Smart Grids / M. Talaat, A. S. Alsayyari, A. Alblawi, A. Y. Hatata // Sustainable Cities and Society. – 2020. – Vol. 55.

15. Гібридна сонячна електростанція з використанням системи автоматичного спостереження за сонцем [Електронний ресурс] /– Режим доступу: www / URL: <https://solar-tech.com.ua/ua/our-objects/sistema-avtomaticheskogo-slezheniya-za-solncem-16kwatt.html>.

16. Shendryk V., Parfenenko Y., Tymchuk S., Kholiavka Y., Bielka Y. Modeling techniques of electricity consumption forecasting. AIP Conference Proceedings. – 2022. – Vol. 2570. DOI: 10.1063/5.0100123.

17. Shendryk Vira. Subsystem of collection, storage and visualization of operating data of the decision support system for microgrid management / Vira Shendryk, Yuliia Parfenenko, Valentyn Maikovskiy, Denys Yurchenko, Sergii Shendryk // Computer systems and information technologies. – 2022. – Vol. 2. – P. 69-77.

18. Sokruta A. Information System for Support of Energy Microgrid with Renewable Energy Sources Management / A. Sokruta, Yu. Parfenenko, V. Shendryk // Informatics, Mathematics, Automatics : Proceedings of the International Scientific Conference of Young Scientists : Sumy State University, 2022. – P. 76-77.

19. Cardon D. Database vs. Data Warehouse: A Comparative Review. Health Catalyst. Healthcare Data and Analytics Technology and Services. [Електронний ресурс] /– Режим доступу: www / URL: <http://www.healthcatalyst.com/wpcontent/uploads/2014/05/Database-vs-Data-Warehouse-A-Comparative-Review.pdf>.

20. Самойлов М.А., Сезонова І.К. Автоматизація управління енергозабезпеченням підприємства // VIII Міжнародна студентська конференція «Пріоритетні напрямки та вектори розвитку світової науки», 6 червня 2025 р., Суми, Україна. – С. 337-340.

21. Про охорону праці. Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ [Електронний ресурс] / – Режим доступу: www / URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#>.

22. Комплекс навчально-методичного забезпечення навчальної дисципліни «Організація керування умовами праці» підготовки освітнього рівня бакалавр усіх спеціальностей та усіх напрямів університету / ХНУРЕ [Електронний ресурс] / – Режим доступу: www / URL: <https://catalogue.nure.ua/document=218933>.