

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА**  
**ДИЗАЙНУ**  
**Факультет Навчально-науковий інститут інженерії та інформаційних**  
**технологій**  
**Кафедра комп'ютерної інженерії та електромеханіки**

*Дипломна бакалаврська робота*

на тему: **Математичне моделювання енергоефективності в локальних енергетичних островах гібридного типу**

Виконав: студент групи БКІ-18  
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»  
освітньої програми «Комп'ютерні системи та мережі»  
\_\_\_\_\_ Олег ПОНОМАРЬ \_\_\_\_\_  
Керівник: д.т.н., проф. Володимир ОСИПЕНКО \_\_\_\_\_  
Рецензент: \_\_\_\_\_

Київ 2022

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Інститут інженерії та інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютерної інженерії та електромеханіки  
Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»  
Освітня програма «Комп'ютерні системи та мережі»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри КІЕМ

\_\_\_\_\_ проф. Злотенко Б.М.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2022 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

**Пономарю Олегу Анатолійовичу**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дипломної бакалаврської роботи Математичне моделювання енергоефективності в локальних енергетичних островах гібридного типу

Науковий керівник роботи Осипенко Володимир Васильович  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

\_\_\_\_\_ д.т.н., професор

затверджені наказом вищого навчального закладу від 15.03.2022 № 75-уч.

2. Строк подання студентом роботи 1 червня 2022 року

3. Вихідні дані до дипломної бакалаврської роботи: прилад для вимірювання ступені твердості металів за трьома основними шкалами Роквелла; навчальна та методична література; державні стандарти.

4. Зміст дипломної бакалаврської роботи (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Провести аналітичний огляд енергоефективності локальних енергетичних островів. 2. Виконати розрахунок параметрів та характеристик енергоефективності. 3. Описати роботу системи.

5. Дата видачі завдання 10.03.2022

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломної бакалаврської роботи  | Терміни виконання етапів | Примітка про виконання |
|-------|--|--------------------------|------------------------|
| 1     | Вступ  | 15.04.2022               |                        |
| 2     | Розділ 1. Управління енергоефективністю в локальних системах                                     | 20.02.2022               |                        |
| 3     | Розділ 2. Математичне моделювання енергоефективності   | 25.03.2022               |                        |
| 4     | Розділ 3. Програмне серидовище для управління в локальних енергетичних об'єктах                  | 06.05.2022               |                        |
| 6     | Висновки   | 10.05.2022               |                        |
| 7     | Оформлення дипломної бакалаврської роботи (чистовий варіант)                                     | 06.06.2022               |                        |
| 8     | Здача дипломної бакалаврської роботи на кафедру для рецензування (за 14 днів до захисту)         | 10.06.2022               |                        |
| 9     | Перевірка дипломної бакалаврської роботи на наявність ознак плагіату (за 10 днів до захисту)     |                          |                        |
| 10    | Подання дипломної бакалаврської роботи на затвердження завідувачу кафедри (за 7 днів до захисту) |                          |                        |

**Студент**

\_\_\_\_\_  
( підпис ) Пономарь О.А.  
(прізвище та ініціали)

**Науковий керівник роботи**

\_\_\_\_\_  
( підпис ) Осипенко В.В.  
(прізвище та ініціали)

**Рецензент**

\_\_\_\_\_  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

**Пономарь О. А. Математичне моделювання енергоефективності в локальних енергетичних островах гібридного типу. – Рукопис.**

Дипломна бакалаврська робота за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія – Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, 2022 рік.

Дипломну бакалаврську роботу присвячено вирішенню важливої технічної проблеми – оптимізацію роботи системи та моделювання енергоефективності в локальних гібридних островах.

У роботі запропоновано використання Багатоагентного моделювання яке згідно з літературними даними, є методом динамічного моделювання складних і адаптивних систем. Такі системи часто здатні самоорганізуватися і сформувати наступний порядок. Багатоагентні моделі часто включають моделі поведінки для спостереження за сукупними ефектами поведінки агента та взаємодії агентів. Розвиток інструментів багатоагентного моделювання, доступність мікроданих і досягнення в області обчислювальних технологій збільшили кількість програмних додатків, які використовують багатоагентний підхід. А також використання OracleApplicationExpress — це власне середовище швидкої розробки прикладного програмного забезпечення на основі OracleDatabase, яке повністю реалізовано у вигляді веб-додатка.

## ANNOTATION

**Ponomar O. A. Mathematical modeling of energy efficiency in local energy islands of hybrid type. - Manuscript.**

Bachelor's thesis in 123 Computer Engineering - Kyiv National University of Technology and Design, Kyiv, 2022.

Bachelor's thesis dedicated to solving an important technical problem - system optimization and energy efficiency modeling in local hybrid islands.

The paper proposes the use of Multi - Agent Modeling, which, according to the literature, is a method of dynamic modeling of complex and adaptive systems. Such systems are often able to self-organize and form the following order. Multi-agent models often include behavior models to observe the cumulative behavioral effects of agents and interacting agents. The development of multi-agent modeling tools, the availability of microdata and advances in computing technology are more software add-ons that use a multi-agent approach. And the use of OracleApplicationExpress is OracleDatabase's own application software development environment, which is fully implemented as a web application.

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| ВСТУП .....   | 7  |
| РОЗДІЛ 1. УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ В ЛОКАЛЬНИХ СИСТЕМАХ .....                    | 9  |
| 1.1. Енергоефективність в Україні .....   | 9  |
| 1.2. Microgrid та Hybrid Microgrid .....  | 9  |
| 1.3. Компоненти управління системою енергоефективності .....                          | 19 |
| Висновки до розділу 1 .....   | 22 |
| РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ .....                            | 25 |
| 2.1. Енергетичне моделювання .....  | 25 |
| 2.2. Прогнозування роботи енергетичних систем .....                                   | 27 |
| 2.3. Методи моделювання системи .....   | 36 |
| Висновки до розділу 2 .....   | 42 |
| РОЗДІЛ 3. Програмне середовище для управління в локальних енергетичних об'єктах ..... | 40 |
| 3.1. Архітектура та складові частини інформаційної системи управління ..              | 40 |
| 3.2. Знайомство з середовищем для розробки системи управління .....                   | 42 |
| 3.3. Робота та розробка програми .....  | 47 |
| Висновки до розділу 3 .....   | 52 |
| ВИСНОВКИ .....  | 53 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....   | 54 |

## Вступ

За останнє десятиліття схема використання загальнодоступної мережі поступово перейшла від класичної централізованої мережі з односпрямованою передачею енергії (від первинної енергії до споживачів через розподільчу мережу) до локальної мережі з розподіленими малопотужними джерелами енергії. Однак до сьогодні, завдяки впровадженню інтелектуальних систем управління, ці системи набули нових властивостей, які дозволяють їм не тільки отримувати енергію, а й постачати її в загальну мережу. На тлі безпрецедентного зростання обсягів невідновлюваних вуглеводневих джерел енергії особливо помітною є актуальність активного розвитку відновлюваних джерел енергії.

Сучасний стан розвитку локальних систем малої електроенергетики (обмежений чинним законодавством) дозволяє вирішувати нові задачі оптимального управління комбінованими енергосистемами, на які припадає значна частка всіх ресурсів децентралізованої генерації електроенергії. Сьогодні існуючі в Україні та світі мережі створюються на основі застарілих конструкцій минулого століття. Це одна з основних причин труднощів у розширенні існуючої електромережі. Враховуючи зростання попиту на електроенергію та зростання цін на електроенергію, розумна мережа є необхідною.

Розумні мережі можуть працювати окремо або в поєднанні з існуючими мережами. MicroGrid використовує інноваційні продукти та послуги, а також інтелектуальні технології для моніторингу, управління, комунікації та самовідновлення. MicroGrid також може працювати ізольовано від комунального електропостачання у разі збою або катастрофи, покращуючи якість електроенергії, забезпечуючи якість обслуговування та безперебійне обслуговування. Така мережа екологічно чиста і мінімізує шкідливі викиди в повітря. Найефективнішим способом виробництва електроенергії є сонячна енергія. Необхідно використовувати найбільш вигідні системи енергоменеджменту та очищення. Аналіз та обробка даних у режимі реального

часу є найбільш підходящим методом для підвищення ефективності управління мікромережами.

**Метою роботи** Розробити метод управління ефективністю енергетичної системи децентралізованого виробництва електроенергії, а також програмне та апаратне забезпечення, як засіб управління ефективністю локальної мікроенергетичної системи відновлюваної енергії на основі технології інтелектуального зондування системної інформації та аналізу.

**Об'єкт дослідження** Локальні енергетичні острова гібридного типу

**Предмет дослідження** Оптимізація математичного моделювання енергоефективності в локальних енергетичних островах гібридного типу

**Методи досліджень.** Методологія індуктивних методів дослідження системного аналізу в інноваційних проблемах проектування, методи групової аргументації, індуктивні методи прогнозування поведінки складних багатовимірних систем, сучасні методи комп'ютерного програмування в системах підтримки прийняття рішень.

**Інформаційною базою досліджень** є навчальна та методична література, державні стандарти, а також відкриті джерел Internet.



## **1.Управління енергоефективністю в локальних системах**

### **1.1 Енергоефективність в Україні**

За останні роки в Україні спостерігається стрімкий розвиток енергетичних систем з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ) [1]. На цей час вітрові турбіни займають друге місце за швидкістю введення в експлуатацію після сонячних панелей - в межах 1.3 ГВт.

При цьому інтеграція об'єктів ВДЕ зокрема сонячних та вітрових електростанцій в об'єднану енергосистему України. Також ця енергосистема має бути збалансована додатковими заходами, які забезпечують стабільну роботу та підвищують гнучкість усієї енергосистеми держави. На думку авторів публікації, одним із дійсно ефективних рішень може стати збільшення розподіленої генерації енергії ВДЕ шляхом створення коаліції споживачів і так званих просьюмерів (споживачів-виробників енергії). Проте станом на 2021 рік частка електроенергії, виробленої вітровими та сонячними системами, досить мала, хоча необхідно віддати належне їх швидкому зростанню. Також слід зазначити, що в сектор відновлюваної енергетики в Україні працюють десятки тисяч інвесторів з України та інших країн. Сектор відновлюваної енергетики є найбільш диверсифікованим за формою власності та найменш монополістичним в енергетичному секторі.

### **1.2 Microgrid та Hybrid Microgrid**

Система з розподіленими енергетичними ресурсами її структура та принципи побудови.

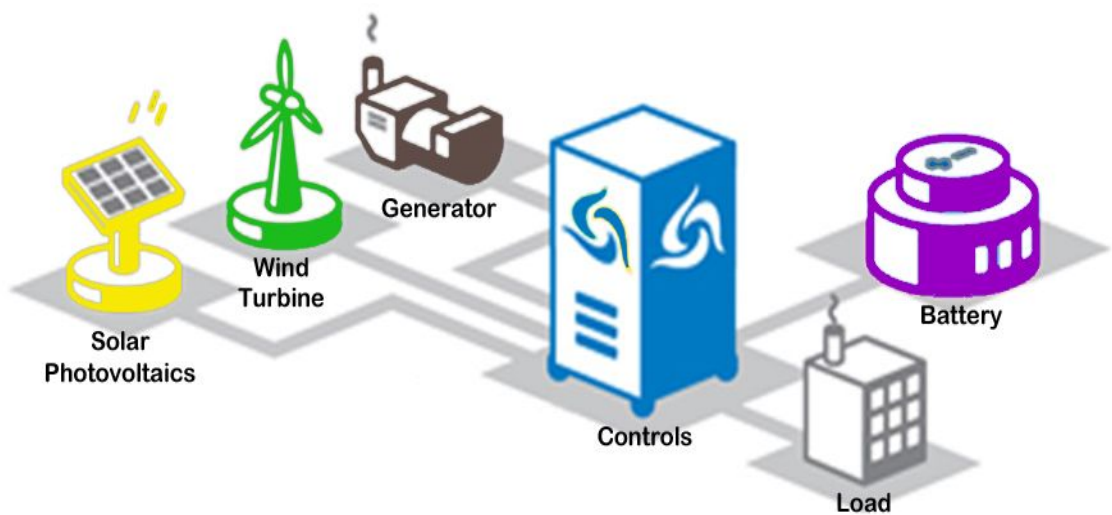


Рис. 1.1 Система з розподіленими енергетичними ресурсами

На малюнку 1.1 зображена Структура системи MicroGrid. Ця система об'єднує в собі традиційні джерела енергії такі як (дизельні генератори, паливні елементи, та інші), альтернативні джерела енергії (сонячні панелі, вітроустановки, та інші), акумуляторні батареї та керовані навантаження для забезпечення потреб споживачів. Найважливішими задачами системи це робота в автономному режимі та економія енергії. В системі є алгоритми динамічного управління вони використовуються для оптимізації та контролю ресурсів. Кожен РЕР керується і контролюється локально. В центральній системі керування робота всіх РЕР координується. Також алгоритми працюють в режимі реального часу, для того щоб оптимізувати навантаження мережі для надійного енергопостачання енергії [1].

Принцип по яким побудовані системи MicroGrid це:

1. Розподілена ієрархія. Це коли є зовнішнє живлення (сонячні панелі, вітрогенератори, АКБ, Резервні генератори, та тощо). За допомогою програмного забезпечення яке є на кожному рівні мережі, забезпечується масштабованість системи. В кожному вузлі є логіка, і кожен має здатність працювати автономно або через сигнали централізованого управління. Через те що мережа виходить за межі традиційної командно-контрольної архітектури

існуючої електричної мережі, це дозволяє вирішувати більш складні проблеми оптимізації та контролю. Через те що система розподілена це забезпечують координацію та інтеграцію великої кількості РЕР ніж через централізовані системи.

Теорія фракталів. Фрактал це складна система яку отримують шляхом повторення простих моделей які подібні до неї самої. Система MicroGrid побудована з вузлів та з'єднань на базі фрактальної теорії. Кожен з вузлів включає в себе оптимізовані РЕР та навантаження, також кожен вузол незалежний від інших та здатен працювати автономно або в координації з макро-системами. Спрощення побудови системи відбувається через концепцію, що електрична мережа складається з комбінацій стабільних та оптимізованих блоків, які працюють в координації. Ця архітектура може за допомогою окремих компонентів розширяться та утворювати все складніші і більші системи.[2]

### **Огляд Hybrid MicroGrid**

Hybrid MicroGrid змінного/постійного струму є одним з найцікавіших підходів до розробки концепції інтелектуальних мереж у існуючій розподільчій мережі. Типова структура Hybrid MicroGrid показана рис. 1.2, де можна розрізнити мережі змінного і постійного струму. Насхемі можна побачити кілька пристроїв: блоки DG та ESS, дизель-генератор, частотно-регульовані приводи (VSD), навантаження змінного та постійного струму та ін.

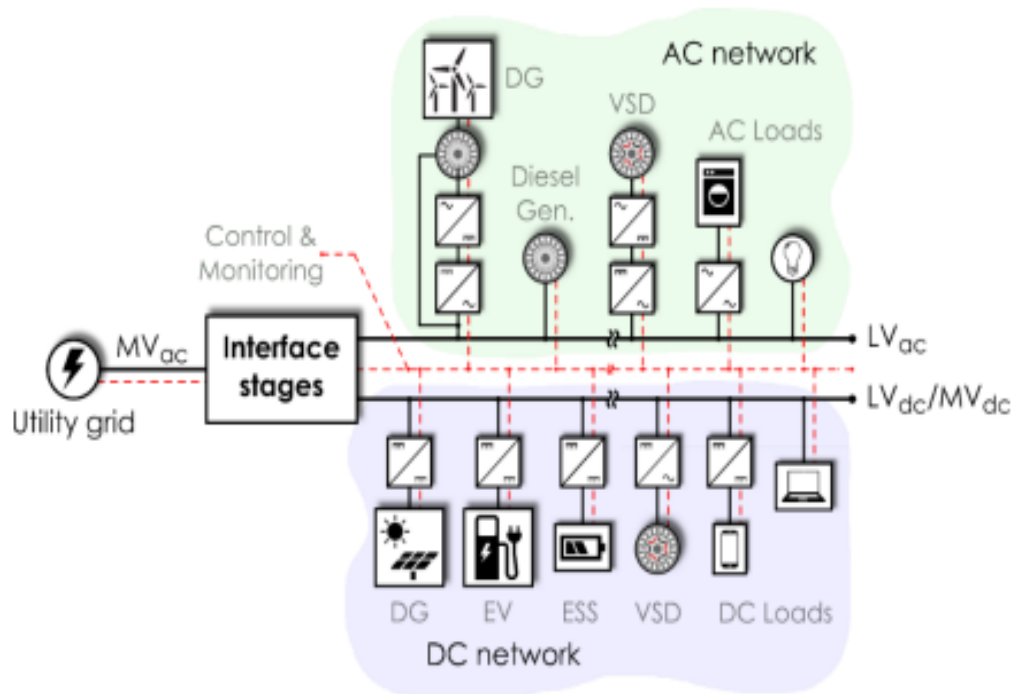


Рис. 1.2 Приклад конфігурації Hybrid MicroGrid

Найважливішими перевагами цих MicroGrid є:

*Інтеграція:* пристрої на основі змінного або постійного струму безпосередньо підключаються до мережі з мінімальною кількістю інтерфейсних елементів, що скорочує етапи перетворення і, отже, втрати енергії. Ця функція робить Hybrid MicroGrid придатними для інтеграції дедалі більшої кількості блоків постійного струму, наприклад, EV, фотоелектрична генерація, паливні елементи, ESS, ноутбуки, мобільні телефони тощо – при збереженні пристроїв на основі змінного струму, підключених до мережі змінного струму.

*Синхронізація:* не потрібно синхронізувати блоки генерації та зберігання, оскільки вони безпосередньо підключені до мережі змінного і постійного струму. Отже, стратегія управління цих пристроїв спрощується. Перетворення напруги: зміна рівнів напруги може бути виконана простим способом на стороні змінного струму за допомогою трансформаторів. На стороні постійного струму перетворення виконується за допомогою перетворювачів постійного струму. Економічна доцільність: Hybrid MicroGrid може бути створена шляхом додавання перетворювача потужності до існуючої розподільної мережі та зв'язку

для підключених пристроїв. Це робить загальну вартість вищою, ніж у MicroGrid змінного струму через основний перетворювач потужності. Однак, якщо кількість підключених пристроїв збільшиться, інвестиції окупляться швидше, оскільки загальна кількість перетворювачів інтерфейсів зменшиться.

З іншого боку, ця архітектура має різні недоліки, які потребують подальшого вивчення:

*Захист:* можна знайти широкий спектр пристроїв захисту для мереж на основі змінного струму, оскільки вони широко вивчені та використовуються у існуючій комунальній мережі. Проте пристрої захисту від постійного струму були настільки глибоко досліджені. Крім того, у мережах змінного струму виявлення несправностей здійснюється більш простим способом завдяки переходу струму через нуль, тоді як у мережах постійного струму цей метод не може бути використаний.

*Надійність:* надійність Hybrid MicroGrid нижче, ніж у мереж змінного струму, оскільки в розподільчу мережу вводиться інтерфейсний перетворювач потужності для створення ланки постійного струму. Однак надійність підключених пристроїв підвищується у міру зменшення кількості щаблів перетворювача.

*Складність управління:* управління Hybrid MicroGrid складніше, ніж їх аналоги. Це пов'язано з тим, що необхідно виконувати керування пристроями, підключеними до мереж змінного та постійного струму, та перетворювачем потужності інтерфейсу між ними. Отже, обидві мережі мають бути забезпечені стабільним та надійним електропостачанням, і це завдання ускладнюється, особливо коли MicroGrid працює в автономному або ізольованому режимі.

Архітектури Hybrid MicroGrid. У літературі можна знайти кілька мережевих конфігурацій, що відрізняються з'єднанням з комунальною мережею або структурою внутрішніх каскадів перетворення струму. Як видно на малюнку 1.2, можна виділити дві основні групи інтерфейсних пристроїв, розміщених між

мережами змінного та постійного струму та інженерною мережею: конфігурації зі зв'язаним змінним струмом та з розв'язаним змінним струмом.

У зв'язаних топологіях змінного струму мережа змінного струму MicroGrid безпосередньо підключається до електромережі за допомогою трансформатора, а перетворювач змінного струму в використовується для мережі постійного струму. Як альтернатива, конфігурації змінного струму з розв'язкою складаються, принаймні, з каскаду змінного постійного струму і постійного струму; це означає, що немає прямого зв'язку між електромережею та мережею змінного струму MicroGrid. На малюнку 1.3 показані найважливіші конфігурації, визначені для обох топологій.

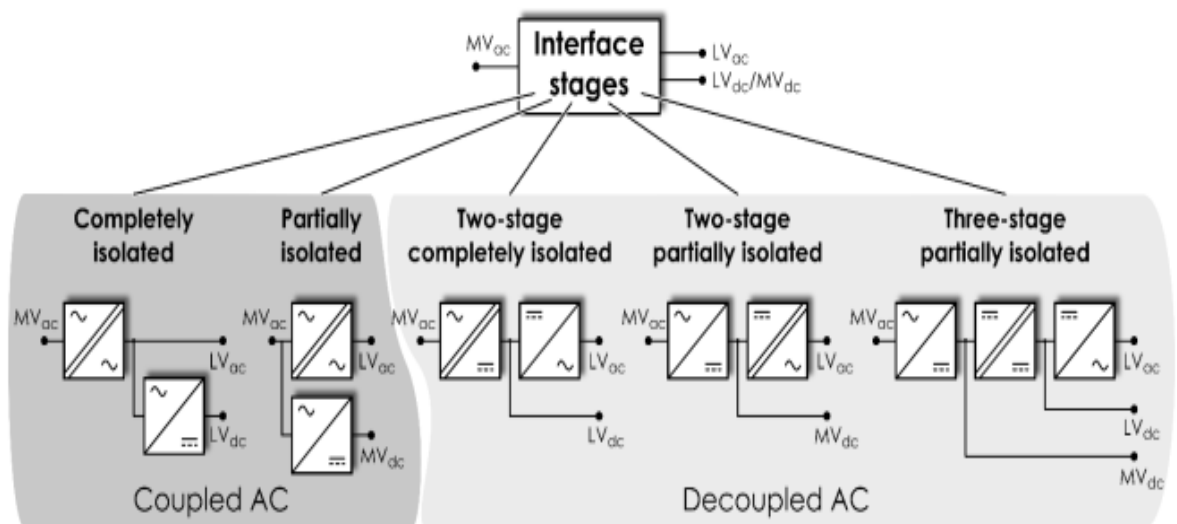


Рис. 1.3 Класифікація архітектури гібридних MicroGrid.

#### Пов'язані MicroGrid змінного струму.

Основна особливість цієї конфігурації полягає в тому, що мережа змінного струму безпосередньо підключається до електромережі за допомогою трансформатора. Перевага полягає в тому, що мережа змінного струму MicroGrid фіксується комунальною мережею у нормальному робочому режимі. Крім того, розробка зв'язаної MicroGrid змінного струму дешевша, ніж розв'язана. Це пов'язано з меншим розміром перетворювача змінного струму постійний, який необхідний для управління потоком потужності між комунальною мережею і мережею постійного струму.

Було знайдено два основних методи розташування каскадів перетворення у зв'язаних MicroGrid змінного струму. У першому випадку, як видно на рисунку 1.4, трансформатор знаходиться у точці підключення до електричної мережі. Це забезпечує гальванічну розв'язку всієї MicroGrid та знижує рівень напруги, так що генеруються низьковольтні мережі змінного та постійного струму.

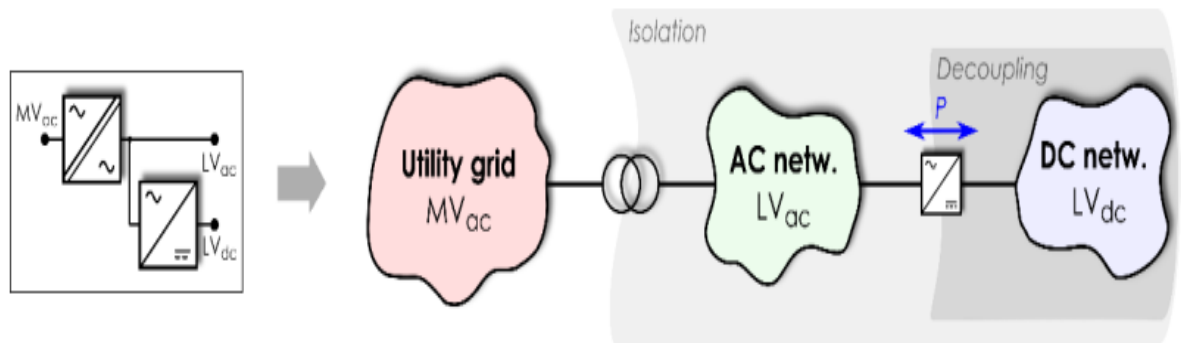


Рис. 1.4 Повністю ізольована гібридна конфігурація MicroGrid з підключенням змінного струму.

В іншій конфігурації (Рис. 1.5) перетворювач змінного струму на постійний, який створює MicroGrid постійного струму, безпосередньо підключається до комунальної мережі, а не після силового трансформатора. Отже, номінальна потужність трансформатора нижче, ніж у попередньому підході, оскільки він має обробляти потік потужності мережі змінного струму. Однак це означає відсутність гальванічної розв'язки для мережі постійного струму MicroGrid, якщо не вбудований другий трансформатор.

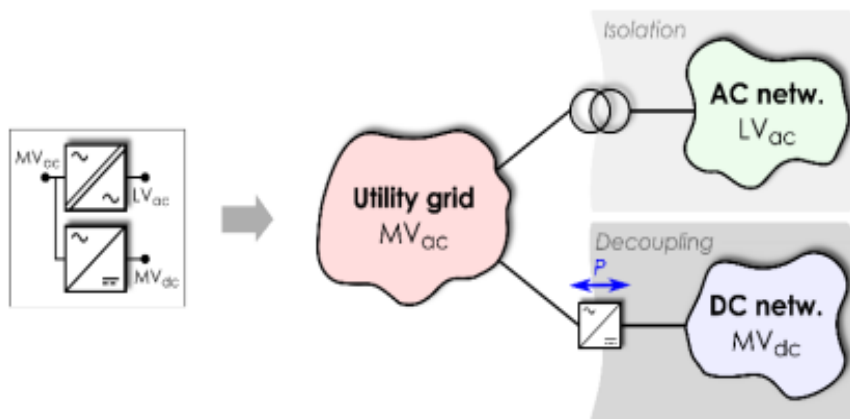


Рис. 1.5 З'єднаний змінний струм, частково ізольована гібридна MicroGrid.

У випадку поєднаних гібридних MicroGrid змінного струму з повною ізоляцією (Рис. 1.4), Цзян пропонує ієрархічну налаштовану MicroGrid з каналами змінного і постійного струму [4]. Архітектура розділена на три основні рівні: рівень мікроджерела, де розташовані блоки зв'язку постійного струму, DG та ESS; комбінований рівень джерела, де AC-link і інвертор для підключення між ланками розташовується і рівень MicroGrid, де проходять взаємозв'язки об'єктів нижнього рівня і електромережі мережі виконуються. На думку авторів у [4], ця архітектура покращує гнучкість та надійність розподільна мережа в порівнянні зі звичайними конфігураціями. Крім того, передбачена система на основі plug-and-play, яка є корисно для інтеграції майбутніх пристроїв генерації, зберігання або завантаження [4].

Хоча ця топологія підходить для інтеграції блоків DG в енергосистему, не всі можливості гібридних використовуються мікросітки, тобто. кількість інтерфейсних перетворювачів не оптимізована, оскільки блоки DG на основі змінного струму підключені до

dc-link замість ac-link. Більш ефективним підходом було б безпосереднє підключення цих генеруючих блоків до мережі змінного струму мережі.

Роз'єднані мікромережі змінного струму

Цей тип конфігурації набирає інтересу в останнє десятиліття через переваги, які він надає перед поєднаними. По-перше, мережа змінного струму мікромережі відокремлена від комунальної мережі каскадом постійного струму, що забезпечує ізоляцію несправності та незалежні стратегії контролю для обох сторін мікромережі. Крім того, контроль потоку потужності та управління microgrid притаманна пристрою з інтерфейсом, що корисно для координації з платформами управління верхнього рівня, такими як системи наглядового контролю та збору даних (SCADA), якими керують електричні компанії.

Для розробки конфігурацій під цією категорією передбачається інтеграція твердотільних трансформаторів (SST) які є одними з найбільш перспективних альтернатив [5]–[8]. Ключова особливість цих пристроїв полягає в тому, що вони



можуть безпосередньо замінити пасивні трансформатори струму, дозволяючи керувати потоком потужності. Крім того, вони забезпечують роз'єднання між ними електричну мережу та електричну мережу, а також забезпечити зв'язок постійного струму, необхідний для розвитку гібридної мікромережі. Ці пристрої підходять в основному для застосування в тягових і розподільних мережах. Вона та ін., наприклад, вивчають інтеграція SST в середовищах мікромереж, де їхня можливість працювати як у мережевому, так і в острівному режимі є продемонстровано [9].

SST складаються зі ступінчастих силових трансформаторів і можуть мати безліч конфігурацій. Проте три архітектури, які охоплюють найважливіші топології SST, були визначені в дослідженнях, проведених у [6], [7], [8], [10], [11]: двоступінчасті SST з мережею постійного струму НН, двоступеневі SST з мережею постійного струму середнього напруги та триступінчасті SST мережі з мережами постійного струму НН і СН (Рис. 1.6а, b і с відповідно).

Відмінності між трьома конфігураціями полягають у розташуванні трансформатора та ступенів перетворювача. У першому підході (Рис. 6а) трансформатор розташований на вході SST, забезпечуючи гальванічну розв'язку всього мікромережа. Однак у другій конфігурації (Рис. 1.6b) цей трансформатор розміщений у мережі змінного струму НН, що забезпечує ізоляція для цієї сітки однозначна. Нарешті, у третьому підході (Рис. 1.6а) вводиться каскад постійного і постійного струму, де висока частота (ВЧ) трансформатор встановлений. Це забезпечує ізоляцію для мереж змінного та постійного струму низького струму, одночасно вмикаючи зв'язок постійного струму.

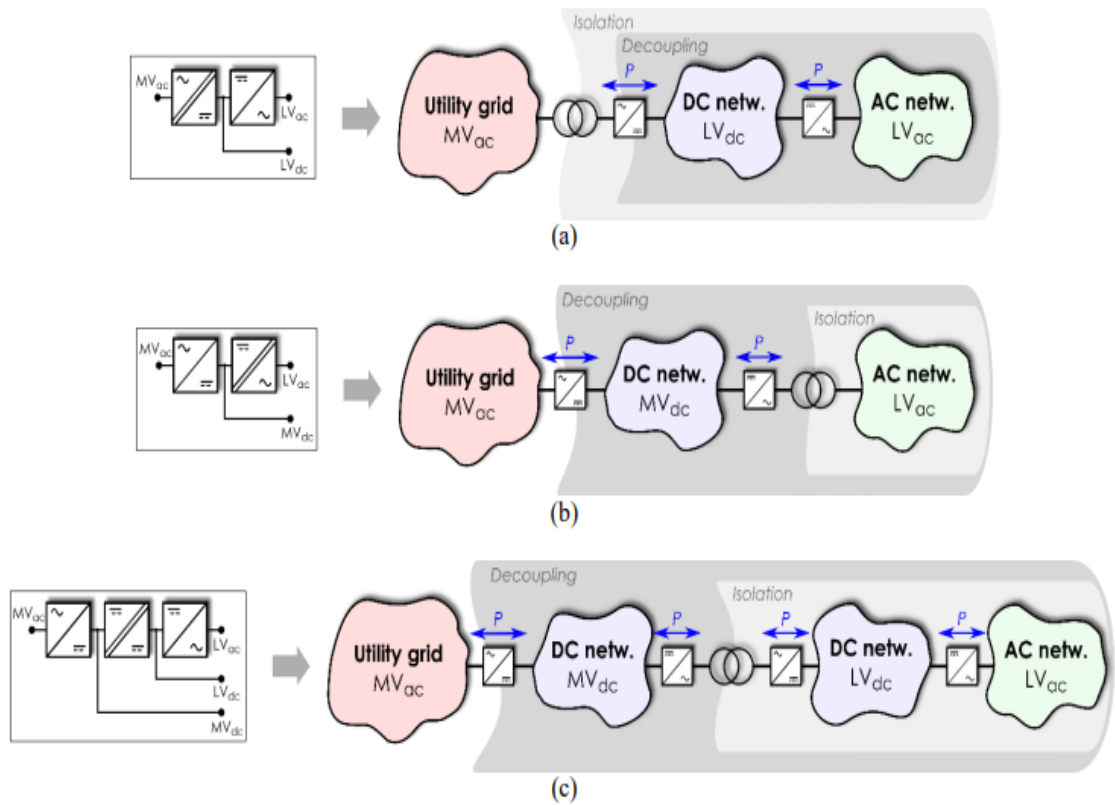


Рис. 1.6 – Гібридна мікромережа з роз’єднаною мережею змінного струму: (a) двоступенева повністю ізольована конфігурація, (b) двоступенева частково ізольована конфігурація і (c) треступенева частково ізольована конфігурація.

### 1.3 Компоненти управління системою енергоефективності

Однією з ключових складових оптимального використання енергоресурсів є створення корпоративної системи енергоефективності. Сама система передбачає наявність певних елементів і взаємозв'язку між ними, а також принципів і конкретних завдань, які вона повинна виконувати. На нашу думку, поняття «енергозберігаючі підприємства» відноситься не тільки до підприємств, які в процесі своєї діяльності споживають найменше енергії, а й до підприємств, які оптимізують використання енергоресурсів. Якщо використовувати цей метод, то головне завдання керівництва підприємства — знайти оптимальний варіант (оптимальний) за вартістю енергії. З огляду на системний підхід основними елементами управління енергоефективністю підприємства є: мета управління, завдання (мета) управління, принцип управління, суб'єкт управління та об'єкт

управління. Тому вхідні параметри, що впливають на формування та функціонування таких систем, визначені на рис. 1.6.

Аналіз вітчизняних стандартів енергоефективності показує, що він характеризується відсутністю комплексного та уніфікованого методу управління енергоефективністю підприємства. клас. Єдиним законодавством, у якому згадується система управління у сфері енергоефективності, є Закон про енергозбереження, прийнятий в Україні в 1994 році, а в 2005 році введено поняття «менеджмент енергозбереження». Поняття трактується законодавцями як система управління, призначена для забезпечення раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів споживачами.

Вважаю, що такі кроки у сфері законодавства з енергоменеджменту потребують суттєвих доповнень та вдосконалень. Вважаємо, що результати є важливими для законодавчої діяльності у сфері енергоменеджменту, коли на основі міжнародних стандартів будуть сформульовані та впроваджені рекомендації щодо формування систем енергоефективності. Це підтверджує чітке розуміння того, що це система з багатьма елементами, численними процесами управління та чітким розмежуванням правил і процедур. Результатом такої системи буде енергоефективність, а не просто раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів.

З точки зору принципів і завдань класичного менеджменту, енергоефективність є особливим об'єктом управління. Його особливість полягає в тому, що в процесі управління задіяні різноманітні ресурси підприємства, а також різні рівні управління системою управління підприємством, а також інноваційно-фінансовий потенціал підприємства. Однак принципи та цілі енергетичного менеджменту впливають як на стратегічне, так і на тактичне та оперативне управління. Виходячи з цього, для створення системи управління енергоефективністю підприємства необхідно передбачити специфіку її принципів і завдань. Ми вважаємо, що розробка таких принципів і завдань, безсумнівно, повинна враховувати класичні підходи до управління.

Відповідно до теорії менеджменту Ф. Тейлора, система базується на чотирьох принципах індивідуального управління працівниками, зокрема - впровадження наукових методів для кожного елемента праці (досягти узгодженості між вимогами керівників і очікуваннями працівників можна лише вивченням окремих елементів трудового процесу); - відбір, навчання та управління. науковий метод працівників (це означає, що для кожного виду робіт необхідно підібрати відповідного працівника з необхідними навичками); - співпраця з робітниками (обидві сторони, залучені до трудового процесу, повинні орієнтуватися на підвищення продуктивності праці); Розподіл обов'язків між керівниками та працівниками за результатами роботи означає, що керівники зобов'язані давати працівникам наукове й раціональне завдання та постійно контролювати їх виконання. Принцип Ф. Тейлора передбачає взаємозв'язок між суб'єктами управління. Для формування системи менеджменту енергоефективності дуже важливо розподілити та перерозподілити відповідальність на кожному рівні управління, виходячи з людських ресурсів компанії, щоб: - кожен мав високий рівень компетентності, незалежно від рівня управління; - орієнтація на кінцевий результат і співпраця всього керівництва (за Ф. Тейлором) - чіткий розподіл обов'язків (за Ф. Тейлором) і моніторинг процесу. З огляду на підхід Г. Емерсона, підсистему інформаційного забезпечення процесу управління мають формувати нормативно-правові акти. Будуть дотримані принципи регулювання діяльності, швидкого, надійного, точного обліку, планування, нормування та пошуку резервів (за Г. Емерсоном). В енергоменеджменті ця підсистема повинна виконувати такі функції: - Збирати інформацію для планування основних параметрів енергоефективності підприємства; - надавати об'єктивну та повну інформацію для аналізу та оцінки факторів, що впливають на енергоефективність підприємства; - Знайти додаткову інформацію для коригування процесу управління енергоефективністю підприємства (енергетичний ризик, макрофактори, ринкова кон'юнктура,

інновації) - аналіз та оцінка інформації за результатами моніторингу процесу управління енергоефективністю підприємства.

Тому, завдяки існуванню такої підсистеми, може бути реалізований принцип надання повної, актуальної та об'єктивної інформації для всіх процесів управління енергоефективністю в компанії. У свою чергу французький інженер А. Файоль запропонував 14 досить загальних принципів управління: поділ праці; влада і відповідальність; дисципліна; єдине управління; єдність дій; підпорядкування індивідуальних інтересів загальним; працівник компенсація; централізація; оплата праці; централізація; ієрархія; порядок; справедливість; стабільність персоналу; ініціатива; підприємливість. У той же час ці принципи не виключають, а доповнюють методи, за допомогою яких Ф. Тейлор і Г. Емерсон повинні розробити механізми, які мотивують і мотивують усіх, хто бере участь у процесі управління. На нашу думку, це один із основоположних механізмів у системі менеджменту енергоефективності підприємства, оскільки дозволяє максимально сконцентрувати управлінські зусилля та відкрити можливості для людських ресурсів у сфері енергоменеджменту. При цьому стимулювання та механізми стимулювання відіграють величезну роль у забезпеченні енергоефективності підприємства, незалежно від того, чи є виробничий процес енергоємним, чи підприємство є енергопостачальником. Саме в таких сферах діяльності кожен співробітник, незалежно від рівня керівництва, повинен розуміти причини конкретних управлінських дій і як їх результат вплине на його результативність і яка буде за це винагорода. Це дозволяє сформулювати ще один принцип – забезпечення ефективності енергоменеджменту в процесі управління енергоефективністю. Слід зазначити, що обрані нами теорії управління як теоретична основа формування принципів управління енергоефективністю підприємства не претендують на універсальний варіант.

У процесі формування політики енергоефективності підприємства або концептуальні основи ISSN 1993-0259. ISSN 2219-4649. Економічний аналіз.

2016. Том 25. № 2. 177 функціонального розподілу повноважень, обов'язків та відповідальності, теоретичні основи можуть бути доповнені іншими фундаментальними науковими досягненнями в галузі менеджменту. Вважаємо, що така тріада понять формує досить чітке розуміння того, на якій основі має функціонувати така специфічна складова управління, як система управління енергоефективністю підприємства. Враховуючи міжнародні стандарти, національне законодавство та концептуальні принципи процесів управління, як системи в галузі енергоменеджменту, можна сформулювати такі цілі системи менеджменту енергоефективності, зокрема: - Формування планових параметрів енергоефективності з урахуванням врахувати внутрішні та зовнішні фактори; - аналіз та оцінку процесу використання енергоресурсів підприємства та можливості використання альтернативних джерел енергії як джерел підвищення енергетичного потенціалу підприємства; усіх рівнів підприємства, та реалізувати концепцію кадрового забезпечення управління енергоефективністю. - Створити ефективну підсистему моніторингу та контролю використання енергоресурсів та енергоємності виробничих процесів. Ці цілі разом складають основну мету управління енергоефективністю на підприємствах – оптимізацію витрат на споживання електроенергії.

## **Висновки до 1 розділу**

Після огляду найбільш актуальних переваг і недоліків гібридних мікромереж змінного/постійного струму, проведено класифікацію найбільш використовуваних топологій на основі типу з'єднання мереж змінного та постійного струму та їх підключення до електромережі.

У цьому контексті виділяють дві основні групи, які називаються зв'язаними змінними струмами та роз'єднаними змінними конфігураціями.

Щодо архітектур зв'язаного змінного струму було визначено два підходи: повністю ізольована топологія та частково ізольована топологія. Як обговорювалося раніше, конфігурація включає в себе повнорозмірну потужність трансформатор і перетворювач змінного і постійного струму мають деякі цікаві особливості: він забезпечує гальванічну розв'язку для всієї мікромережі та перетворювач змінного і постійного струму має менший розмір, ніж його аналог, оскільки він повинен обробляти лише потік потужності між змінним і мережа постійного струму.

## **Розділ 2. Математичне моделювання енергоефективності**

### **2.1 Енергетичне моделювання**

Процес який будує віртуальну модель енергетичної системи з подальшою метою аналізу називається Енергетичне моделювання. Для таких моделей притаманне використання аналізу сценаріїв для вивчення різних припущень для різних економічних та технічних умов під час експлуатації. Використовується достатній діапазон методів які можуть відрізнитись від виключно економічних до повністю розроблених. Дані які ми отримуємо з цих моделей можуть вказати нам на викиди парникових газів, використання природних ресурсів, загальні фінансові витрати та енергоефективність даної системи. Часто для отримання найнижчої вартості системи використовують математичні моделі. Моделі поділяються на міжнародні, регіональні, національні, міські та автономні. Національна енергетична модель для державної підтримки формування енергетичної політики.

Використовуються різні типи моделей. Загалом, моделям може знадобитися фіксувати складну динаміку, наприклад:

- Роботу енергетичної системи

- Поведінка домашнього господарства та компанії

- Енергетичні та не енергетичні інвестиції та динаміка коригування ринку праці, що веде до відбудови економіки

- технологія обігу запасів

Більшість енергетичних моделей використовуються для аналізу сценаріїв. Сценарій - це послідовний набір припущень щодо можливої системи. Перевірте нові сценарії, щоб порівняти їх із базовими сценаріями – часто поширеними – і помітите відмінності в результатах

Важливим фактором є часовий горизонт моделі. Однорічна модель — зараз чи в майбутньому (наприклад, 2050 р.) — не передбачає розвитку структури капіталу, а натомість зосереджується на операційній динаміці системи. Однорічні моделі часто мають значний час (зазвичай погодинний дозвіл) і



технічні деталі (наприклад, окремі фабрики та лінії електропередач). Довгострокові моделі – тривалістю від одного чи кількох десятиліть (відтепер до 2050 року) – намагаються узагальнити структурну еволюцію системи та використовуються для вивчення питань розширення потужності та трансформації енергосистеми.

Деякі з використаних методів є результатом операційного дослідження. Більшість покладається на лінійне програмування (включаючи змішане цілочисельне програмування), хоча деякі використовують нелінійне програмування. Комп'ютери можуть використовувати класичну або генетичну оптимізацію, наприклад КМА-СЕ (Коваріаційна матриця Адаптації — стратегія еволюції, від англ. СМА-ЕС — Covariance Matrix Adaptation — Evolution Strategy). Моделі можуть бути рекурсивно динамічними, тому їх можна вирішувати послідовно для кожного інтервалу часу  $i$ , таким чином, розвиватися з часом. Або їх можна визначити як майбутню міжчасову проблему, що веде до ідеальних прогнозів. Однорічні інженерні моделі мають тенденцію мінімізувати короткострокові фінансові витрати, тоді як однорічні ринкові моделі використовують оптимізацію для визначення клірингу ринку. Довгострокові моделі, як правило, охоплюють десятиліття і намагаються мінімізувати короткострокові та довгострокові витрати на тимчасову проблему.

#### Моделі електроенергетичного сектора

Для моделювання енергосистеми використовуються моделі енергетичного сектору. Залежно від випадку, масштаб може бути національним та регіональним. Наприклад, західноєвропейську енергосистему можна повністю змоделювати, враховуючи наявність міжнародних зв'язків. Інженерні моделі зазвичай містять хороший опис використовуваної технології, включаючи, якщо необхідно, високовольтну мережу передачі змінного струму. Деякі моделі (наприклад, німецькі) можуть мати загальну шину або «мідну пластину», в якій решітка є суцільною. Попит у сфері моделювання енергетичного сектору часто представляється фіксованою кривою навантаження. Крім того, ринкова модель

— це первинний ринок електроенергії, який може включати ціноутворення на вузлах. Теорія ігор і моделі на основі агентів використовуються для збору та вивчення стратегічної поведінки на ринках електроенергії.

#### Модель енергосистеми

Крім електроенергетики, модель енергосистеми включає теплову, газову, транспортну та інші галузі (за потреби). Моделі енергетичних систем зазвичай мають національний характер, але можуть бути також муніципальними (міськими) або міжнародними.

Так звана модель занепаду повністю економічного походження і базується на частковій або повній рівновазі. Моделі загальної рівноваги мають спеціалізовані види діяльності, які вимагають чітко визначених алгоритмів. Частіше зустрічаються моделі часткової рівноваги.

Так звана висхідна модель охоплює інженерію і, як правило, спирається на метод маніпулювання дослідженням. Кожна установка характеризується своєю кривою ефективності (також відомою як коефіцієнт введення/випуску), номінальною потужністю, капітальними витратами (CAPEX) та експлуатаційними витратами (OPEX). У деяких моделях ці параметри залежать від зовнішніх умов, наприклад, температури навколишнього середовища.

## **2.2 Прогнозування роботи енергетичних систем**

В даний час компанії накопичують історичні значення економічних і фізичних показників в базі даних, що значно збільшує вхідний обсяг для прогнозування. У той же час розвиток апаратного та програмного забезпечення надає все більш потужну обчислювальну платформу для реалізації складних алгоритмів прогнозування. Крім того, сучасні методи управління вимагають все більш суворої точності прогнозів. Тому з розвитком інформаційних технологій завдання прогнозування часових рядів також ускладнилося.

Зараз завдання прогнозування різних часових рядів є пов'язаною і невід'ємною частиною MicroGrid. Завдання прогнозування часових рядів

вирішується на основі створення моделі прогнозування, яка адекватно описує процес дослідження. На даний момент існує багато моделей прогнозування часових рядів: найбільш популярні та широко використовуються моделі авторегресії та нейронної мережі. Істотним недоліком класу моделі нейронної мережі є те, що проміжні обчислення, що виконуються в «чорному ящику», недоступні, що ускладнює інтерпретацію результатів моделювання. Крім того, ще одним недоліком цієї моделі є складність у виборі алгоритму навчання нейронної мережі.

### Методи прогнозування та класифікація моделей

Метод прогнозування — це низка кроків, які необхідно виконати для отримання моделі прогнозування. Залежно від наявності інформативних даних методи прогнозування поділяють на фактичний (формальний), експертний (інтуїція) та комбінаторний, Рис. 2.1.

Фактичний (формальний) підхід базується на добре поінформованому матеріалі про прогнозований об'єкт та його минулий розвиток. Формальні методи засновані на математичних моделях і поділяються на моделі дисциплінарної області, такі як механіка, термодинаміка, електротехніка тощо, і моделі часових рядів, які шукають залежності в самому процесі. Моделі предметної області характеризується індивідуалізованими підходами до розвитку. Моделі часових рядів є спільними для різних предметних областей.

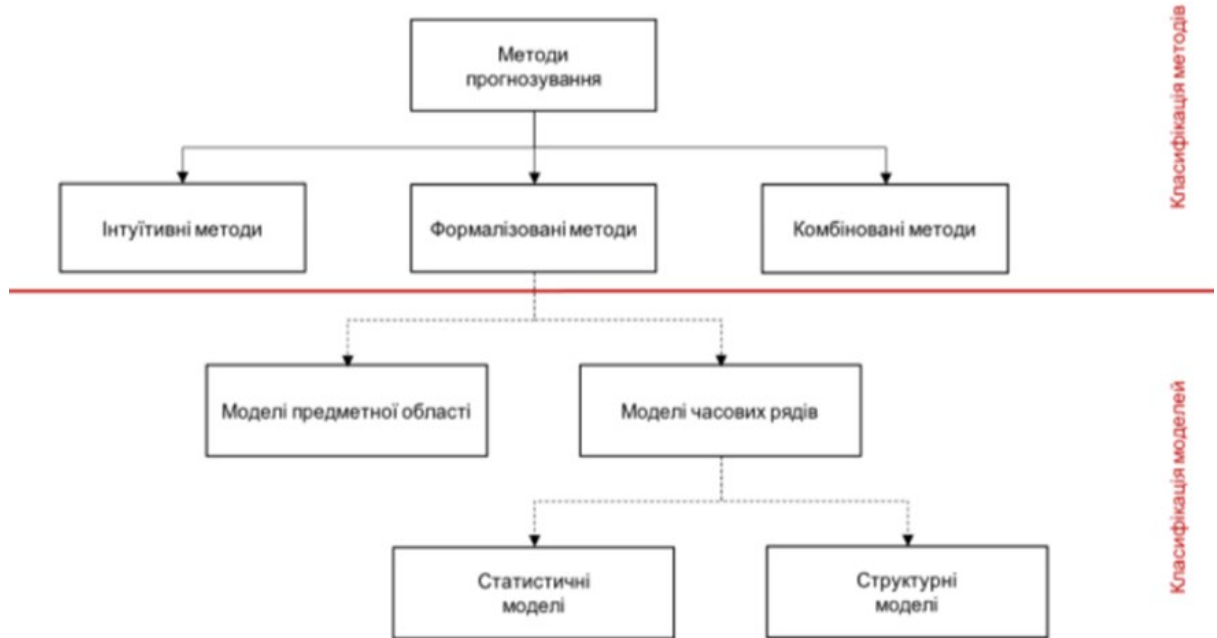


Рис. 2.1 – Класифікація методів і моделей прогнозування

Експертні методи використовуються для характеристики ситуацій, коли минулий розвиток суб'єкта має недостатній інформативний матеріал. Вони засновані на інформації, отриманій експертами.

Комбіновані методи прогнозування поєднують експертні та фактологічні методи. Прикладом такого підходу є підхід зіставлення зразків, у якому експерти формулюють колективні судження за принципом «дерева цілей». Іноді в цю групу входять моделі, засновані на нечіткій логіці.

Нечітка логіка є розширенням експертних систем і тому потребує перетворення досвіду в нечіткі правила.

Серед методів, які розглядаються для прогнозування споживання енергії мікро Амережевою системою, найбільш доцільним є формальний метод, оскільки він може створити автоматичну систему прогнозування. Крім того, поведінка кривої споживання енергії описується як функція часу, тому ми вибрали набір моделей часових рядів. Вибір конкретних моделей потребує подальшого дослідження та порівняння точності прогнозів у конкретній задачі прогнозування споживання електроенергії.

Моделі часових рядів можна розділити на дві групи: статистичні моделі та структурні моделі. Після аналізу історичних даних за допомогою статистичних методів можна отримати рівняння, що відображають взаємозв'язок між споживанням енергії та відповідними зовнішніми факторами. Як правило, статистичні методи хороші для прогнозування споживання енергії в звичайний день, але вони недостатньо гнучкі, щоб аналізувати свята та інші нерегулярні дні. У структурній моделі залежність майбутніх цінностей від минулого задається у вигляді деякої структури і правил переходу до неї.

### Лінійне прогнозування УДТ

Умовний динамічний тариф (УДТ) – це інтегральний показник вартість електроенергії на головній шині, що являє собою інтервал, утворений з фактичної вартості електроенергії в даний момент часу для кожного джерела, що міститься в енергетичних модулях мікромережі, до її розподілу між споживачами на місцевому об'єкті.

Вартість електроенергії буде змінюватися в певному діапазоні в залежності від добової площі тарифів CES (визначальний фактор), наявного природного генераційного потенціалу ВСУ (коефіцієнт ймовірності), ємності накопичувача та рівня його заряду в будь-який момент (коефіцієнт ймовірності) .

Зібрані в різні моменти часу значення одного значення утворюють часовий ряд. Кожне значення такого часового ряду називається вимірюванням.

Наступний крок: давайте визначимо, що враховувати під час створення наших прогнозів. Коли ми вивчаємо наші дані, ми повинні враховувати наступні фактори:

Зміни нашої оціночної вартості (наприклад, продажі) регулюються певними законами. Іншими словами, певну тенденцію можна відстежити у часовому ряді. У математиці цю тенденцію називають трендом.

Зміна значення в часовому ряді може залежати від інтервалу часу. Іншими словами, при побудові моделі необхідно враховувати фактор сезонності.

Зміна значення в режимі часу постійно повторюється, спостерігається деяка циклічність.

Ці три точки разом відповідають регулярному компоненту часового ряду.

Однак, крім звичайної складової, в часовому ряді є деяке випадкове відхилення.

Висновок: для вичерпного опису часового ряду необхідно розглянути два основні компоненти: регулярний склад (тренд + сезонність + циклічність) і випадковий склад.

Під час курсової роботи використовувалася класична адитивна модель для прогнозування побудови за лінійним трендом.

Щоб передбачити використання таких інструментів:

Вартість електроенергії, спожитої із зовнішньої мережі.

Середня вартість електроенергії від СЕС потужністю 3 кВт.

Перший критерій даний за замовчуванням, два наступні розраховуємо за формулами:

Потужність генерації СЕС  $*0,035/2/1000$ ;

потужність генерації ВЕС  $*0,032/2/1000$  – відповідно.

Для прогнозування УДТ використовуємо стандартну функцію Excel – «СУММ».

Агентний підхід до моделювання складних систем У фізичному сенсі, модель – це спрощене уявлення реального об'єкта з відокремленими первинними ознаками та відхиленими вторинними ознаками. Програмну модель можна розглядати як метафору фізичної моделі. Зазвичай це концептуальні моделі — моделі, представлені не конкретними фізичними репрезентаціями, а у вигляді абстрактних описів реальності, яку необхідно представити. Використовуючи комп'ютери, моделі можуть представляти реальні об'єкти у віртуальному обчислювальному просторі та реалізовувати їх за допомогою спеціально розроблених інструментів, таких як формалізми або мови програмування. Це, в свою чергу, дозволяє виконувати розрахунки, які надто

важко виконати вручну. Імітаційна модель — це особливий тип моделі, яка може розвиватися з часом. У цьому випадку моделювання змушує модель змінювати свій стан з часом. Не кожна модель готова до таких завдань.

Метою цієї роботи є побудова імітаційної моделі для покращення існуючих подібних систем на ринку. Загалом, багатоагентні системи (MAS) і відповідне багатоагентне моделювання (ABM) виявилися основними інструментами для створення імітаційних моделей складних систем. Багатоагентні системи дозволяють відображати більшість динамічних змін, які відбуваються в реальних системах, і досліджувати їх вплив у віртуальних середовищах.

Багатоагентні системи Багатоагентні системи є найбільш поширеною концепцією багатоагентного підходу до моделювання системи. Зазвичай це системи з кількох агентів з різним ступенем інтелекту, які мають обмежені знання про середовище і можуть певним чином взаємодіяти один з одним (Рис. 2.2).

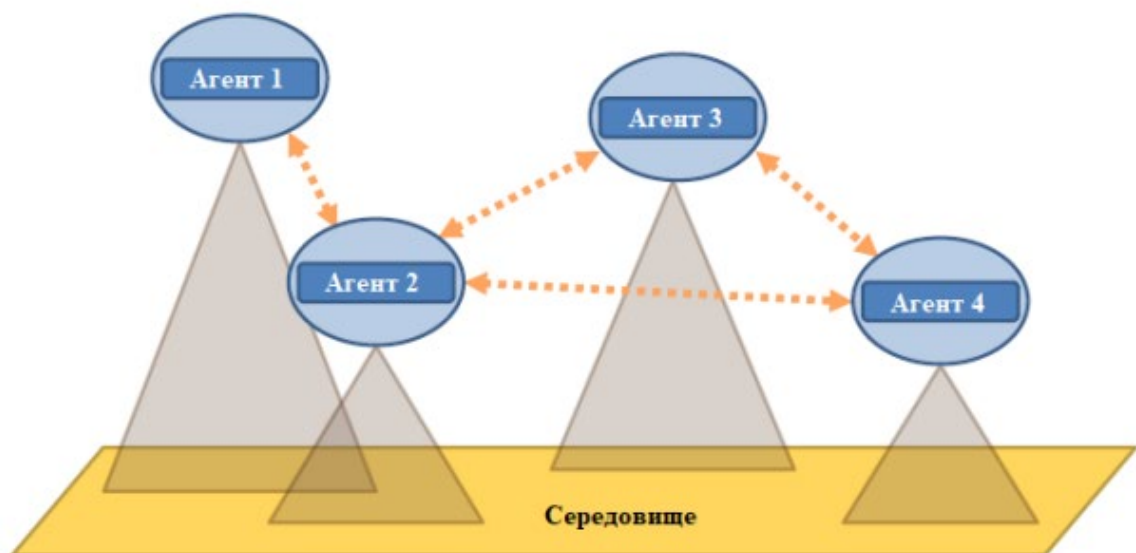


Рис. 2.2 - Типова мультиагентна схема MAS

Такі схеми можна розглядати як систему, що складається з наступних елементів:

- середовище з певним простором і потужністю;

- сукупність об'єктів, розташованих у середовищі, тобто в будь-який момент може бути встановлена відповідність між об'єктом і його положенням у середовищі;

- як підтип об'єкта і діяльність у системі група агентів сутності; - набір рядків, які з'єднують об'єкти (та агенти);

- набір доступних операцій, які дозволяють агенту відстежувати, створювати, використовувати і маніпулювати об'єктами;

- операції, які відображають застосування цих операцій і реакція середовища на нього, тобто закони системи Всесвіту [16]. Ці особливості свідчать про те, що MAS має безпосереднє відношення до складних систем завдяки своїм загальним характеристикам.

#### Багатоагентне моделювання

Багатоагентна модель є основою розробки програмного забезпечення моделювання комплексної системи. Вони не залежать від конкретної предметної області, в якій застосовуються.

Згідно з літературними даними, агентно-орієнтоване моделювання є методом динамічного моделювання складних і адаптивних систем. Такі системи часто здатні самоорганізуватися і сформувати наступний порядок. Мультиагентні моделі часто включають моделі поведінки для спостереження за колективними ефектами поведінки агента та взаємодії між агентами. Розвиток інструментів багатоагентного моделювання, доступність мікроданих і досягнення в області обчислювальних технологій дозволили збільшити кількість програмних додатків, які використовують багатоагентний підхід [17].

Фактично, АВМ зосереджується на моделюванні систем на локальному рівні шляхом визначення їхніх основних підрозділів (агентів) та взаємодій між ними. Тому АВМ можна розглядати як форму моделювання багатоагентної системи. Основні елементи системи моделюються максимально просто, а складність системи впливає із взаємодії між ними. Дії, які може здійснювати базова одиниця (агент), можна розділити на три групи: спостереження за



навколишнім середовищем, прийняття рішень і реакція на зміни в навколишньому середовищі.

Оскільки агенти визначаються локальною інформацією, важливою відмінністю між мультиагентами та іншими типами моделей є їхня гетерогенність. Кожен агент моделюється однаково, але вхідні параметри та їх локальне середовище можуть відрізнятися. Тому, незважаючи на те, що процес міркування та цілі їхнього проектування однакові, рішення, прийняті агентами, можуть бути різними. Це важлива відмінність від традиційних моделей, де кілька об'єктів одного типу часто використовують однакові вхідні дані. АВМ розроблено для виявлення проксі найпростішим способом, щоб їх можна було легко відтворити. Таким чином, навіть під час моделювання структура системи може динамічно змінюватися за рахунок додавання або видалення окремих агентів або груп агентів.

Визначення агента-агента є найважливішою частиною MAS і АВМ, особливо в порівнянні з іншими підходами, не орієнтованими на особистість. Агенти — це автономні обчислювальні об'єкти, які можна розглядати як датчики, які відчують навколишнє середовище та маніпулюють ним за допомогою ефекторів [18]. На рис. 2.2 показана проксі-схема відповідно до цього визначення. Агенти – це реальні або віртуальні сутності, що працюють у поведінково автономних середовищах. Агенти здатні сприймати, діяти та взаємодіяти з іншими агентами [19]. Для того, щоб віртуальну чи реальну сутність можна було назвати агентом, вона повинна задовольняти принаймні основним властивостям: незалежність своєї поведінки (рішення про поведінку приймаються агентом, а не передаються ззовні) і здатність взаємодіяти з іншими або агентами.



Рис. 2.3 - Принципова схема програмного агента.

Крім того, агент має лише локальну інформацію, пов'язану певним чином з навколишнім середовищем. Інші атрибути, такі як активність або інтелект, є загальними для агентів, але не є обов'язковими. Важливо, що агент призначений для надання цих розширених функцій на вимогу. Розширення визначення проксі таким чином важливо, оскільки воно дозволяє представляти складні об'єкти реального світу у формі проксі навіть у випадку досить простих завдань.

### 2.3 Методи моделювання системи

Самоорганізація моделей, наприклад регресійний аналіз, є експериментальним методом моделювання, оскільки базується на обробці даних спостережень, отриманих пасивними і активними середовищами, технологіями тощо. експеримент. Пасивні експерименти — це спостереження за нормальним функціонуванням об'єкта (зазвичай ручні, неавтоматичні, керовані). В активному експерименті зміни зовнішніх взаємодій здійснюються за спеціальною процедурою (планом експерименту).

При індуктивному відборі моделей основна увага приділяється визначенню структури моделі оптимальної складності порівняно з регресійним аналізом, який встановлює структуру моделі. Відповідно до принципу самоорганізації, з поступовим ускладненням структури моделі (наприклад, зі збільшенням

кількості членів і ступеня поліноміальної моделі) значення так званого зовнішнього критерію спочатку зменшується, а потім збільшується, тобто існує мінімальне значення, яке визначає оптимальний ступінь складності моделі.

Враховуючи відому аналітичну залежність стандартних значень від показників складності, типову задачу нелінійного програмування (ZNLP) можна сформулювати та розв'язати відомими дедуктивними (аналітичною математикою) методами, такими як градієнтний метод, метод найшвидшого спуску тощо.

Однак аналітична залежність критерію вибору оптимальної моделі від її складності невідома, тому задача пошуку мінімального критерію вирішується індукцією, тобто повним або неповним цільовим пошуком багатьох моделей-кандидатів. Ця парадигма втілена в підході масової аргументації (MSAA) [14-17] як потужна інтелектуальна інформаційна технологія для вирішення ідентифікації структурних параметрів складних моделей об'єктів або за допомогою експериментальних даних у задачі моделювання невизначеності та інтелекту. проблема, аналіз даних. Сьогодні найчастіше вживається термін «індуктивне моделювання складних систем» (ІКС).

Індуктивне моделювання складних систем як задача оптимізації

$$\Omega = (Z, y), \quad \dim Z = n \times r, \quad \dim y = n \times 1, \quad (1)$$

є клас моделей лінійний за параметрами:

$$y = \sum_{i=1}^m \theta_i \varphi_i(z), \quad (2)$$

де  $\varphi = (\varphi_1(z), \dots, \varphi_m(z))^T$  – вектор базисних функцій, наприклад одночленів полінома:

$$x_i = \varphi_i(z) = \prod_{j=1}^r z_j^{p_{ij}}, \sum_{i=1}^m p_{ij} \leq p \quad (3)$$

Структура частинної моделі

$$y_f = f(X, \theta_f) = \sum_{i=1}^{s_f} \theta_i x_i \quad (4)$$

де  $\theta_f$  – вектор  $s_f$  невідомих параметрів,  $s_f$  – складність моделі  $f$ ,

$$W = [X, y], \dim X = n \times m, \dim y = n \times 1 \quad (5)$$

робоча вибірка,  $\Phi = \{f(X, \theta_f)\}$  – множина структур моделей в обраному базисі.

Треба знайти розв'язок двох оптимізаційних задач:

задача неперервної оптимізації для оцінювання параметрів  $\forall f \in \Phi$ :

$$\hat{\theta}_f = \arg \min_{\theta_f \in QR} QR(y, X, \theta_f) \quad (6)$$

де  $QR(\cdot)$  – критерій параметричної параметричної ідентифікації кожної окремої моделі;

задача дискретної оптимізації для вибору моделі:

$$\hat{y}_f^* = f^*(X, \hat{\theta}_f) = CR \arg \min_{f \in \Phi} (y, X, \hat{\theta}_f) \quad (7)$$

де  $CR(\cdot)$  – заданий критерій якості конкретної моделі.

Критерії селекції моделей в ІМСС

Надзвичайно важливим елементом комп'ютерного моделювання ICMS є конкретні критерії оцінки якості розв'язання змодельованої задачі. Ця особливість проявляється в тому, що ці стандарти вимагають, щоб таблиця експериментальних даних була поділена щонайменше на дві підвибірки. У подальшому процесі моделювання виконується розрахунок оцінок параметрів і стандартних значень для різних частин вибірки. Для застосування алгоритму MSUA розроблено три основні набори критеріїв: регулярність, послідовність та збалансованість. При подальших дослідженнях даної роботи планується використовувати аналоги перших двох типів стандартів MSUA.

Розглянемо їх.

Нехай вихідна вибірка  $W = [XMy]$  поділена на дві непересічні підвибірки А і В [14]:

$$W = [XMy] = \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_A M y_A \\ X_B M y_B \end{bmatrix} \quad (8)$$

де  $n = n_A + n_B$ ,  $n_A$  – число спостережень у підвибірці А,  $n_B$  – число спостережень у підвибірці В,  $n$  – загальне число спостережень у  $W = [XMy]$ ,  $X = \{x_{ij}, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m\}$  – матриця входів,  $y = (y_1, \dots, y_m)^T$  – вектор виходів.

Якщо на А оцінюються параметри  $\theta_{As}$ , то на В обчислюється помилка моделі складності  $s$ , яка у МГУА називається критерієм регулярності і зазвичай записується як:

$$AR(s) = \|y_B - y_{Bs}\| = \|y_B - X_{Bs}\theta_{As}\|^2 \quad (9)$$

При малих вибірках застосовується усереднений критерій регулярності (УКР). Цей критерій обчислюється на  $W$  наступним чином [20]: на точках спостережень  $W$  без першої з них оцінюється  $\hat{\theta}_{W1}$  (це – вибірка А) і обчислюється помилка на першій точці (вибірка В). Далі з  $W$  “вирізається” друга точка і т.д. Отримані  $n$  значень помилок потім усереднюються, а критерій у такій процедурі має вид:

$$AJN(s) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i^T \theta_{W_{is}})^2 \quad (10)$$

де  $x_i^T = (x_{i1}, \dots, x_{is})$ ,  $W_i$  – вибірка без  $i$ -ї точки:  $W_i = W \setminus i$ .

Серед групи критеріїв узгодженості найбільш уживаним є критерій несуперечливості, або незміщеності [17], який у прийнятих позначеннях записується:

$$CB(s) = \|X_{W_s} \hat{\theta}_{A_s} - X_{W_s} \hat{\theta}_{B_s}\|^2 = (\hat{\theta}_{A_s} - \hat{\theta}_{B_s})^T X_{W_s}^T X_{W_s} (\hat{\theta}_{A_s} - \hat{\theta}_{B_s}). \quad (11)$$

У разі точних вихідних даних вибір найкращої моделі може здійснюватися за будь-якою з її характеристик, тобто за зовнішніми чи внутрішніми критеріями. Однак неточні, зашумлені дані вимагають вибору моделі на основі багатьох критеріїв. Тут вступає в силу так званий принцип зовнішнього доповнення (з точки зору теореми про неповну неповноту Геделя [15, 16]), згідно з яким лише зовнішні критерії (тобто синтез обчислювальної моделі на основі невикористаних «свіжих» даних) слідує моделі через збільшення складності. передати мінімальне значення. Це ще один принцип самоорганізації – принцип зовнішньої взаємодоповнюваності. Алгоритми самоорганізації моделі можуть бути однорядковими або багаторядковими, але всі вони реалізують методи для групування параметрів.

Повна математична індукція (тобто повний пошук усіх варіантів моделі, які можна отримати з заданого повного опису) реалізована в однорядковому (комбінаторному) алгоритмі МГУА, який використовується для вирішення як визначених, так і надовизначених задач моделювання. Для вирішення проблеми невизначеності, яка є поширеною в економетричних дослідженнях, було розроблено багаторядковий алгоритм MSUA. Кілька рядків є основним засобом спрощення пошуку, де кількість моделей різко скорочується, і ризик втратити найкращу модель невеликий. Кількість моделей, які комп'ютер може переміщувати, збільшується не прямим чином, а поліноміально залежно від

кількості змінних. Однорядковий комбінаторний алгоритм фактично використовується для розв'язування задач, де кількість ознак (змінних) не перевищує двадцяти ( $n < 20$ ), а багаторядковий – не перевищує тисячі ( $n < 1000$ ). При переході від однорядкового алгоритму до багаторядкового можлива як втрата оптимальної моделі, так і невеликі так звані «багаторядкові помилки». Для поліноміальних алгоритмів багаторядкову помилку можна визначити як різницю між значеннями розв'язків, отриманих однорядковим і багаторядковим алгоритмами. У багаторядкових алгоритмах вибору моделі, окрім цих двох принципів, у алгоритмах самоорганізації реалізовано ще один важливий принцип незакінчення рішення Д. Габора: збереження свободи вибору в кожному рядку; лише одиничний (для кожен набір критеріїв) модель з найкращою складністю була обрана в останньому рядку.

## **Висновки до 2 розділу**

Визначено переваги проксі-підходу для моделювання режимів роботи технічних систем.

В результаті аналізу методу побудови інформаційної системи управління мікроелектростанцією в якості засобу організаційного управління обрано гібридну децентралізовану модель будівельного та енергетичного ринків.

Щоб оптимізувати споживання електроенергії вмережі мікромереж, необхідно передбачити деякий час заздалегідь. Прогнозування споживання енергії особливо важливе в автономній роботі, оскільки відновлювані джерела енергії характеризуються високим рівнем нестабільності виробництва електроенергії в залежності від кліматичних умов. Тому головним пріоритетом управління навантаженням мікромереж є прогнозування споживання енергії в різних умовах навколишнього середовища.

В даний час проблема прогнозування балансу потужності в мікромережах може бути вирішена кількома способами. Серед розглянутих методів прогнозування енергоспоживання мікромережевою системою найбільш підходящим є метод регресійного аналізу, оскільки він дозволяє створити автоматичну систему прогнозування. Крім того, поведінка кривої споживання енергії описується як функція часу, тому ми обрали набір моделей часових інтервалів. Вибір конкретної моделі потребує подальшого дослідження та порівняння точності прогнозування в конкретній задачі прогнозування споживання електроенергії.



## Розділ 3 Програмне середовище для управління в локальних енергетичних об'єктах

### 3.1 Архітектура та складові частини інформаційної системи управління

Для розроблюваної ІС було обрано архітектуру веб-систем (рис. 3.1):

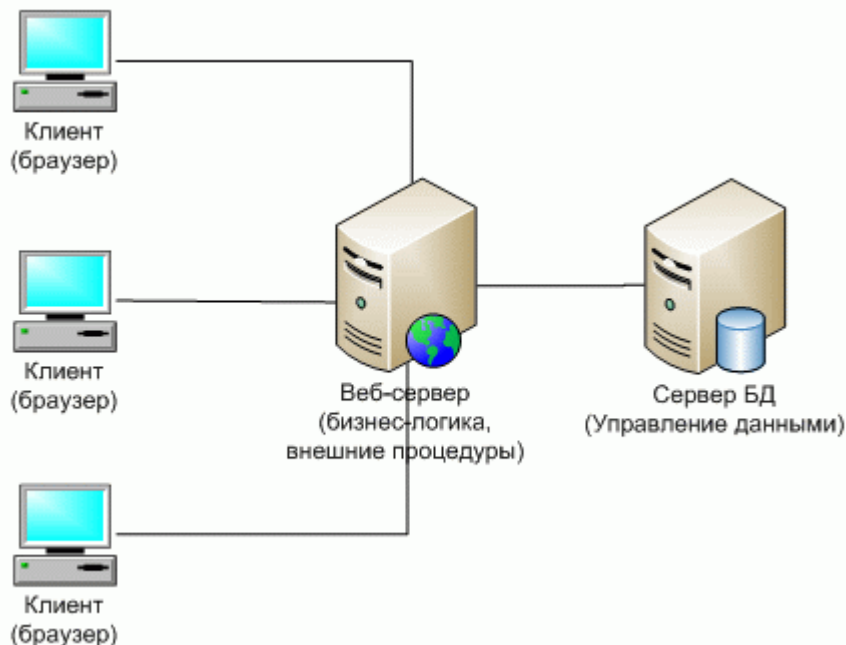


Рис. 3.1 - Архітектура веб-систем

Переваги:

- Немає необхідності використовувати додаткове програмне забезпечення на стороні клієнта
- це дозволяє автоматизувати клієнтську частину на всіх платформах.
- Можливість підключення практично необмеженої кількості клієнтів, завдяки наявності єдиного місця зберігання та системи управління базами даних, що забезпечує мінімальні вимоги до збереження цілісності даних.

- Наявність серверів і каналів зв'язку в нормальному режимі.

недоліки:

- Недоступно без сервера або каналу зв'язку.
- Досить повільний веб-сервер і канал даних.
- Щодо обсягу даних немає очевидних обмежень для архітектури веб-системи.

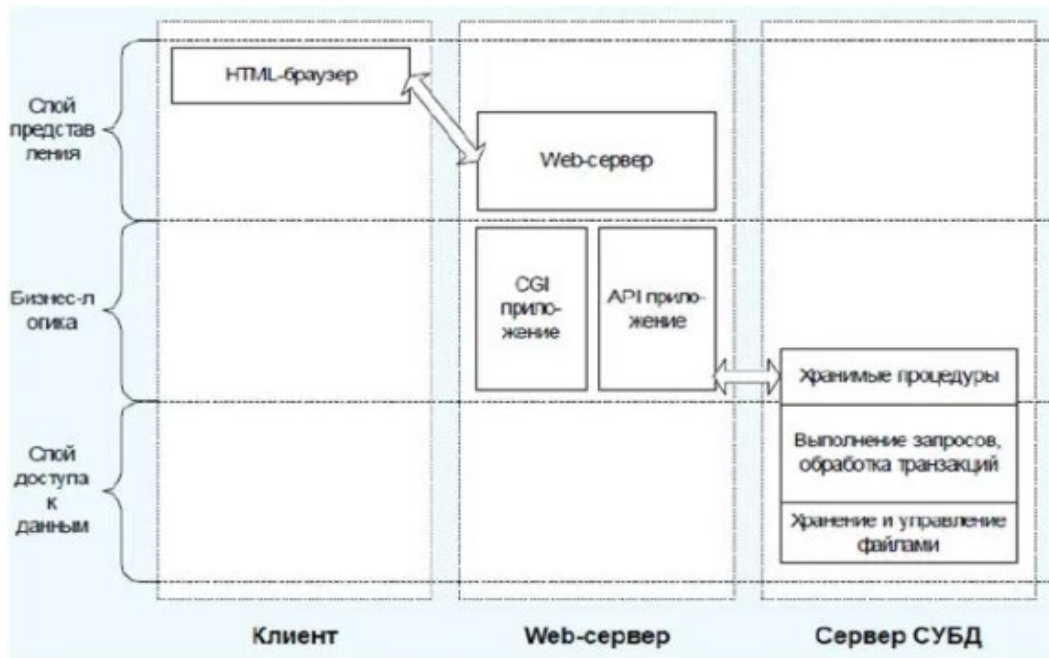


Рис. 3.2 – розподіл обов'язків

База даних складається з 31 таблиці з такими полями відповідно до можливих днів місяця: Час доби (NUMBER), Споживання електроенергії (VARCHAR2), Виробництво електроенергії СЕС (NUMBER), Виробництво електроенергії WES (NUMBER), Тарифна зона 0,4 Т. означає централізовану систему електропостачання (NUMBER), митна зона 1Т – централізована система електропостачання (NUMBER), митна зона 1,5т – централізована система електропостачання (NUMBER), вартість електроенергії, спожитої із зовнішньої мережі (NUMBER), бензин Середня вартість генератора (VARCHAR2), вартість споживання електроенергії AEDVZ (NUMBER), Середня вартість батареї (VARCHAR2), вартість споживання енергії батареї (NUMBER).

### 3.2 Знайомство з середовищем для розробки системи управління

Oracle Application Express — це власне середовище для швидкої розробки прикладного програмного забезпечення на основі OracleDatabase, повністю реалізованого у вигляді веб-додатків. У цьому середовищі всі елементи, які виникають у циклі розробки програми, зберігаються безпосередньо в інфраструктурі OracleDatabase, що забезпечує спільну роботу та контроль версій

без використання файлів і додаткових систем контролю версій. Програми можна розгорнути в екземплярі OracleDatabase без додаткових програмних серверів), або веб-сервер можна налаштувати як зовнішній сервер на основі Apachehttpd за допомогою модуля mod\_plsql. Існує також програма Java OracleAPEXListener, яку можна розгорнути на сервері додатків J2EE, щоб забезпечити функціональність сервера для додатків APEX, включаючи кешування на стороні веб-сервера, конфігурацію веб-інтерфейсу, додаткові функції моніторингу та безпеки.

Переваги:

Адміністратори баз даних, знайомі з PL/SQL, можуть використовувати свої навички для розробки веб-додатків

Створювати макети легко за допомогою попередньо створених тем

Легкий у розгортанні (кінцеві користувачі відкривають URL-адресу для доступу до APEX)

Масштабований (можна розгорнути на ноутбуках, автономних серверах або установках Oracle RAC)

Обробка та перевірка на стороні сервера Сильна та підтримуюча спільнота користувачів (особливо форум Oracle APEX)

Основна підтримка розвитку групи

Безкоштовний хостинг демонстраційних програм від Oracle

Програми Apex можуть працювати у безкоштовній базі даних Oracle Express Edition (XE).

Окремі компоненти програми можна отримати або ідентифікувати за допомогою SQL для спеціального звітування

Легко дотримуйтесь моделі SQA dev/test/production (без розкриття паролів бази даних)

Корисно зосередитися на моделі бази даних, яка підтримує рішення (закодовано на Java, .NET або PHP - потрібен лише JavaScript)

Недоліки:

Програми APEX створюються за допомогою власних інструментів Oracle і можуть розміщуватися лише в базі даних Oracle, що робить реалізаторів вразливими до блокування постачальника.

Кілька веб-хостів пропонують APEX (Oracle Database) у своїх пакетах хостингу (більшість пропонують PHP + MySQL або ASP + Microsoft SQL Server). Як наслідок, параметри мережевого хостингу для програм APEX обмежені. Однак, оскільки APEX працює на безкоштовній версії Oracle Express Edition (Oracle XE), ви можете встановити необхідний стек (базу даних, структуру APEX і веб-шлюз) на будь-якому стандартному хості ОС (Linux або Windows).

Проекти, які вимагають, щоб кілька розробників торкалися однієї веб-сторінки, повинні повідомляти про свої наміри. Немає вбудованого контролю версій, і всі компоненти необхідно редагувати через веб-інтерфейс. Об'єднання двох версій не підтримується. Блокування сторінок допомагає запобігти конфліктам.

Наступні показники використовуються як вхідні дані для прогнозування:

- Час доби (з 0.30 до 24.00 з кроком 30 хвилин).
- Споживана потужність, Вт (усереднена за часом).
- виробництво електроенергії СЕС з встановленою потужністю 3 кВт, Вт.
- Виробництво електроенергії вітропарками встановленої потужності 3 кВт, Вт.
- Тарифна зона 0,4 т \$/кВт×год для централізованої системи електропостачання.
- 1 т дол./кВт×год у митній зоні централізованої системи електропостачання.
- Тарифна зона на централізовану систему електропостачання 1,5 т \$ / кВт × год.
- Вартість електроенергії, спожитої із зовнішньої мережі, \$.

- Середня вартість бензогенератора потужністю 5 кВт становить \$ / кВт × год.

- Вартість електроенергії, спожитої АЕДВЗ, \$.

- Середня вартість акумулятора \$ / кВт × год, ємність 200 А × год, 12 В ( $c = 1,3 \times T \times Вт$ ).

- Вартість електроенергії, спожитої акумулятором, \$.

Очікувані показники:

- Середня вартість електроенергії для СЕС 3 кВт, \$.

- Середня вартість електроенергії для ВЕС становить 3 кВт, \$.

- UDT.

Щоб мати можливість зберігати та використовувати дані за місяць, ми створимо 31 Таблиця з вихідними даними. Додаток має надавати можливість редагувати дані, додавати нові поля, обчислювати необхідні показники, будувати діаграми на основі даних, вибраних користувачем.

### **3.3 Розробка програми**

Етапи розробки програми

Етап 1: Підготовчий етап

Процес розробки програми відбувається в OracleApplication Express. Спочатку потрібно зареєструватися та отримати дозвіл на створення робочого простору, де ми будемо виконувати всі необхідні етапи розробки.

Етап 2: Створення таблиці

Для створення таблиці (рис. 3.2) ми використовуємо AppBuilder за допомогою функції Import.

| EDIT | ID   | COL001 | COL002 | COL003 | COL004 | COL005 | COL006 | COL007 | COL008 | COL009 | COL010 | COL011 | COL012 |
|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1    | 0:30 | 1540   | 0      | 0      | 1036   | .0161  | .023   | -      | -      | .006   | .42    | -      |        |
| 2    | 1:00 | 1590   | 0      | 0      | 1029.5 | .016   | .023   | -      | -      | .006   | .42    | -      |        |
| 3    | 1:30 | 1610   | 0      | 0      | 1010   | .0157  | .023   | -      | -      | .007   | .42    | -      |        |
| 4    | 2:00 | 1600   | 0      | 0      | 1896.5 | .0294  | .023   | -      | -      | 0      | .42    | -      |        |
| 5    | 2:30 | 1610   | 0      | 0      | 1735.5 | .0269  | .023   | -      | -      | 0      | .42    | -      |        |
| 6    | 3:00 | 1650   | 0      | 0      | 1670.5 | .0259  | .023   | -      | -      | 0      | .42    | -      |        |
| 7    | 3:30 | 1750   | 0      | 0      | 1777   | .0275  | .023   | -      | -      | 0      | .42    | -      |        |

Рис. 3.2 – Приклад готової таблиці

Крок 3. Створіть програму та домашню сторінку

У розділі `AppBuilder` виберіть `New` -> `NewApp`. Введіть необхідні дані, такі як: ім'я, тема, мова, робоча область тощо. На цьому ж етапі визначаються попередні налаштування для домашньої сторінки. Програма називається `DAILYGRAPHICS`.

Запустіть програму, щоб перевірити службу.

Крок 4. Створіть сторінку з інтерактивним звітом на основі даних за кожен день місяця

На сторінці редагування програми скористайтеся `CreatePage`, щоб створити сторінку на основі відповідної таблиці.

Далі виберіть звіт, створіть відповідне посилання в головному меню та створіть таблицю, з якої буде створено звіт. Для того, щоб мати можливість редагувати звіт та обробляти дані, що містяться в ньому, ми зв'яжемо форми, створені на основі відповідних таблиць. Це дозволить вам фільтрувати дані за певними значеннями або стовпцями, розраховувати потрібні показники, створювати додаткові стовпці, редагувати, видаляти та додавати рядки, будувати діаграми та завантажувати звіти. Завершіть оформлення сторінки (вказіть назви стовпців, теми, формат відображення) на вкладці `Конструктор` (Рис. 3.2) і запустіть програму, щоб перевірити результати (Рис. 3.3).

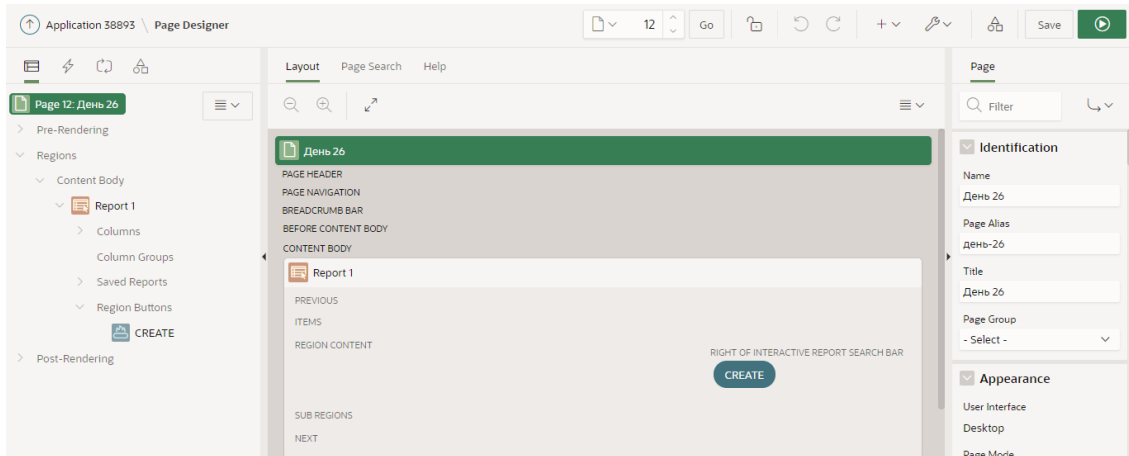


Рис. 3.2 - PageDesigner

Дані дії повторюємо для кожної таблиці

| Час доби | Потужність електроспоживання, Вт (усереднена на часовий інтервал) | Потужність генерації СЕС встановленою потужністю ЗвВт, Вт | Потужність генерації ВЕС встановленою потужністю ЗвВт, Вт | Тарифна зона 0,4Т для централизованной системы электрожив-ления \$/кВт*год | Тарифна зона 1Т для централизованной системы электрожив-ления \$/кВт*год | Тарифна зона 1,5Т для централизованной системы электрожив-ления \$/кВт*год | Вартість електроенергії спожитої із зовнішньої мережі, \$ | Усереднена вартість \$/кВт*год від генератора потужністю 5 кВт | Вартість електроенергії спожитої від АЕД/ВЗ, \$ | Усереднена вартість \$/кВт*год від АЭС, власність 200 А+год, 12 В (k=1.3 kT*W) | Вартість електроенергії спожитої від АЭС, \$ |
|----------|---|---|---|--|--|--|---|--|---|--|--|
| 0:30     | 1200  | 0   | 518   | .023   |  |  | .012  | .42  |   |  | .17  |
| 1:00     | 1590  | 0   | 514.75  | .023   |  |  | .012  | .42  |   |  | .17  |
| 1:30     | 1610  | 0   | 505   | .023   |  |  | .013  | .42  |   |  | .17  |
| 2:00     | 1600  | 0   | 948.25  | .023   |  |  | .007  | .42  |   |  | .17  |
| 2:30     | 1610  | 0   | 867.75  | .023   |  |  | .009  | .42  |   |  | .17  |
| 3:00     | 1650  | 0   | 835.25  | .023   |  |  | .009  | .42  |   |  | .17  |
| 3:30     | 1750  | 0   | 888.5   | .023   |  |  | .01   | .42  |   |  | .17  |
| 4:00     | 1810  | 0   | 465   | .023   |  |  | .015  | .42  |   |  | .17  |
| 4:30     | 1960  | 0   | 0   | .023   |  |  | .023  | .42  |   |  | .17  |
| 5:00     | 2010  | 0   | 0   | .023   |  |  | .023  | .42  |   |  | .17  |
| 5:30     | 2310  | 51  | 340   | .023   |  |  | .023  | .42  |   |  | .17  |
| 6:00     | 2820  | 57  | 505   | .023   |  |  | .027  | .42  |   |  | .17  |
| 6:30     | 3290  | 65.64   | 400   | .023   |  |  | .031  | .42  |   |  | .17  |
| 7:00     | 3890  | 141.6   | 0   |  | .056   |  | .105  | .42  |   |  | .17  |
| 7:30     | 4060  | 228.3   | 0   |  | .056   |  | .107  | .42  |   |  | .17  |
| 8:00     | 4250  | 535.5   | 0   |  |  | .088   | .163  | .42  |   |  | .17  |
| 8:30     | 4340  | 840.9   | 420   |  |  | .088   | .135  | .42  |   |  | .17  |

Рис. 3.3–Відображення сторінок у за стосунку

5 Етап: налаштування інтерфейсу головної сторінки

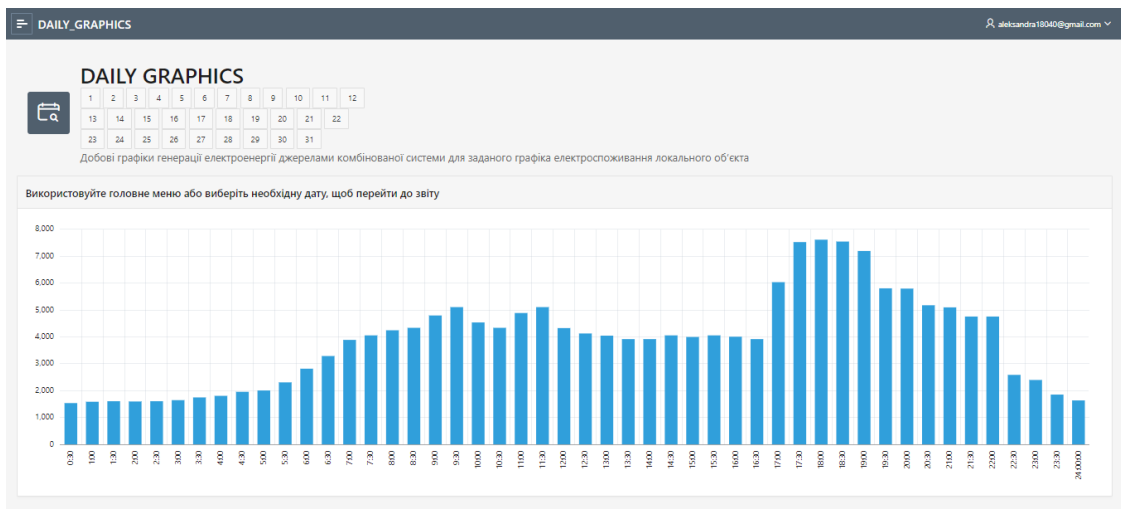


Рис. 3.4 –Інтерфейс головної сторінки

На вкладці конструктора домашньої сторінки введіть заголовок, опис і, якщо потрібно, будь-які доступні елементи, наприклад графічні зображення, і буде створено інтерактивний календар, щоб миттєво перейти до потрібного звіту (Рис. 3.4). Збережіть зміни та запустіть програму, щоб перевірити результати.

#### Етап 6: Експортуйте готову програму

Ми експортуємо програму, створюючи текстовий файл, що містить серію команд PL/SQL. Ви також можете використовувати цей файл як резервну копію програми:

- У програмі ApplicationBuilder на домашній сторінці програми виберіть Експорт/Імпорт.

- У полі Програма виберіть потрібну програму.

- У полі Формат файлу виберіть UNIX. У цьому полі вказується, як будуть відформатовані рядки у файлі експорту: наприклад, рядки UNIX будуть розділені новими рядками (LF - новий рядок).

- Залиште поле OwnerOverride порожнім.

- Виберіть RunandBuildApplication у полі BuildStatusOverride.

- У полі Налагодження виберіть Так. Додаток буде експортовано з підтримкою налагодження.

- У полі ExportDeveloperComments виберіть Так. Коментарі розробників будуть завантажені разом із програмою.

- Виконайте експорт (рис. 3.5).



f38893: Блокнот

Файл Редагування Формат Вигляд Довідка

```
prompt --application/set_environment
set define off verify off feedback off
whenever sqlerror exit sql.sqlcode rollback
-----
--
-- ORACLE Application Express (APEX) export file
--
-- You should run the script connected to SQL*Plus as the Oracle user
-- APEX_200200 or as the owner (parsing schema) of the application.
--
-- NOTE: Calls to apex_application_install override the defaults below.
-----
begin
wwv_flow_api.import_begin (
  p_version_yyyy_mm_dd=>'2020.10.01'
,p_release=>'20.2.0.00.20'
,p_default_workspace_id=>12621063429061548949
,p_default_application_id=>38893
,p_default_id_offset=>0
,p_default_owner=>'WKSP_KURSOVAPRISO'
):
```

Рис. 4.5 - послідовність команд PL / SQL (частина)

### **Висновки до 3 розділу**

У роботі розглядаються практичні питання прогнозування енергоспоживання та управління мікромержевими системами на основі сучасних методів.

Результати показують, що прогнозування споживання енергії є особливо важливим для автономної роботи, оскільки відновлювана енергетика характеризується високим ступенем нестабільності рівнів виробництва електроенергії, які залежать від кліматичних умов.

Під час впровадження було створено додаток у середовищі OracleApplicationExpress для аналізу, графічного представлення та прогнозування середньої вартості електроенергії та УДТ.

## ВИСНОВКИ

1. Після огляду останніх переваг і недоліків гібридних мікромереж AC/DC, найбільш часто використовувані топології класифікуються за типами підключення мереж AC/DC та їх підключенням до мережі.

2. Було визначено два методи з'єднання архітектур змінного струму: повністю ізольовані топології та частково ізольовані топології. Визначено переваги проксі-підходу для моделювання режимів роботи технічних систем. На основі аналізу методу побудови інформаційної системи управління мікроелектростанцією в якості засобу організаційного управління обрано змішану децентралізовану модель будівельно-енергетичного ринку. Прогнозування енергоспоживання особливо важливо в автономній роботі, оскільки відновлювана енергетика характеризується високим ступенем нестабільності виробництва електроенергії в залежності від кліматичних умов. Тому першочерговим завданням управління навантаженням мікромереж є прогнозування споживання енергії в різних умовах навколишнього середовища.

3. У середовищі OracleApplicationExpress написано додаток для аналізу, графічного представлення та прогнозування середньої вартості електроенергії та UDT.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Розподілена енергогенерація – один із перспективних напрямів сталого розвитку енергетики в ЄС та Україні. Урядовий портал. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України [Електронний ресурс].
2. Fractal [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://en.wikipedia.org/wiki/Fractal>
3. Д. Дж. Хаммерстром, «Системи розподілу змінного струму проти постійного струму чи правильно ми зрозуміли?», на Загальних зборах IEEEPowerEngineeringSociety, 2007, стор. 1–5.
4. Z. Jiang та X. Yu, «Гібридні мікромережі, пов'язані з постійним та змінним струмом: на шляху до інтеграції розподілених енергетичних ресурсів», на конференції IEEEEnergy 2030, 2008 р., с. 1–8.
5. С. Фальконес, Р. Айянар та Х. Мао, «Твердотільний трансформатор на основі багатопортового перетворювача постійного струму, що інтегрує розподілене генерування та зберігання», IEEETrans. Силова електрон., вип. 28, № 5, с. 2192–2203, травень 2013 року.
6. С. Фальконес, Х. Мао та Р. Айянар, «Порівняння топології для реалізації твердотільного трансформатора», на Загальних зборах IEEEPEES, 2010 р., стор. 1–8.
7. Дж. В. Колар та Г. Ортіз, «Твердотільні трансформатори: ключові компоненти майбутніх систем тяги та інтелектуальних мереж», у матеріалах Міжнародної конференції з сигової електроніки - ECCEAsia (PEES), 2014, № Іпек, с. 14
8. X. She, A. Q. Huang, and R. Burgos, «Огляд твердотільних трансформаторних технологій та їх застосування в системах розподілу електроенергії», IEEEJ. Emerg. Sel. Top. Силова електрон., вип. 1, № 3, с. 186–198, вересень 2013 р.

9. X. She, A. Q. Huang, S. Lukic, and M. E. Baran, “On Integration of Solid-State Transformer With Zonal DC Microgrid”, *IEEE Trans. Smart Grid*, вип. 3, № 2, с. 975–985, червень 2012 р.
10. Л. Хайнеманн та Г. Мауте, «Універсальний розподільний трансформатор на основі силової електроніки, уніфікований підхід», *IEEE 32nd Annu. Силовий електрон. Специфікація конф. (IEEE Cat. No.01CH37230)*, vol. 2001. С. 504–509.
11. Г. Ортіс, «Технології високопотужних перетворювачів DC-DC для інтелектуальних мереж та тягових додатків», 2014.
12. М. R. Ванаеї та Е. Salary, «Покращення якості електроенергії на основі нового силового електронного трансформатора», на 2-ій конференції з силової електроніки, приводних систем і технологій, 2011, № 12. 401, с. 286–291.
13. *DER-CAM User Manual/ Berkeley, California: Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) — 2015. — 55p.*
14. Lambert T. *Micropower system modeling with HOMER/Tom Lambert, Paul Gilman, Peter Lilienthal//Integration of Alternative Sources of Energy. — 2006. — Vol. 1, № 15,— pp. 379–418.*
15. Використання HMI/SCADA-системи zenon в енергетиці [Електронний ресурс]. — 2017. — Режим доступу до ресурсу: [http://www.svaltera.ua/catalogs/knowledge-base/brands/copa\\_data/zenon\\_in\\_energy](http://www.svaltera.ua/catalogs/knowledge-base/brands/copa_data/zenon_in_energy)
16. Ferber J. *Multi-agent systems: an introduction to distributed artificial intelligence/ Jacques Ferber — Boston, Addison-Wesley Longman Publishing, 1999. — 528p.*
17. Macal C.M. *Tutorial on agent-based modelling and simulation/ Charles M. Macal, Michael John North// Journal of Simulation. — 2010. — Vol. 4(3). — pp. 151– 162.*

18. Wooldridge M.J. An introduction to multiagent systems/ Michael Wooldridge. — Wiley, 2009. — 484p.
19. Ferber J. Les systèmes multi-agents: vers une intelligence collective/ Jacques Ferber. — InterEditions, 1995. — 522p.
20. Realistic electricity market simulator for energy and economic studies / J.BernalAgustin, J. Contreras, R. Martin-Flores, A. Conejo. // Electric Power Systems Research. — 2007. — №77. — C. 46–54.