

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ В СФЕРІ ЕНЕРГЕТИЧНОГО
МЕНЕДЖМЕНТУ ТА ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ CO₂»

на здобуття освітнього ступеня магістра

зі спеціальності 124 Системний аналіз

освітньо-професійної програми Інтелектуальні системи управління

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання
на відповідне джерело*

(підпис)

Олександр ІВАНЧЕВСЬКИЙ

Ім'я, ПРИЗВИЩЕ здобувача

Виконав: здобувач вищої освіти
групи САДМ-61

Олександр ІВАНЧЕВСЬКИЙ

Керівник: Павло АФАНАСЬЄВ

Рецензент: _____

Київ 2023

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

Кафедра Системного аналізу

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 124 Системний аналіз

Освітньо-професійна програма Інтелектуальні системи управління

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедру СА

_____Ровіл НАФЄЄВ

«___» _____20__р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Іванчевський Олександр Валерійович

1. Тема кваліфікаційної роботи: Використання системного аналізу для підвищення ефективності в сфері енергетичного менеджменту та зменшення викидів CO₂

керівник кваліфікаційної роботи Павло АФАНАСЬЄВ к.е.н. ,

затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій
від «___» _____20__р. № ____

2. Строк подання кваліфікаційної роботи _____ «___» _____20__р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. _____

2. _____

3. _____

5. Перелік ілюстративного матеріалу: *презентація*

6. Дата видачі завдання _____ «___» _____20__р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання	01.05.2023	
2	Аналіз існуючих рішень та літературних джерел	04.05.2023 – 03.06.2023	
3	Розроблення плану роботи	01.09.2023 – 15.09.2023	
4	Переддипломна практика	25.10.2023 – 30.11.2023	
5	Розроблення першого та другого розділу	01.09.2023 – 28.09.2023	
6	Розроблення третього розділу	01.10.2023 – 12.12.2023	
7	Подання кваліфікаційної роботи на попередній захист	20.12.2023	
8	Подання кваліфікаційної роботи на захист	10.01.2024	

Здобувач(ка) вищої освіти

(підпис)

Олександр Іванчевський

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник
кваліфікаційної роботи

(підпис)

Павло АФАНАСЬЄВ

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Мета роботи. Винайти та впровадити модель та підход системного аналізу в енергетичному менеджменті, який підвищить ефективність енергетичного менеджменту та поспливає зменшенню викидів CO₂.

Актуальність теми. На жаль зараз питання енергоефективності та викидів CO₂ стають не лише питанням заощаджень, але й глобальною мораллю та етикою, оскільки наша здатність зберігати природу безпосередньо впливає на якість життя майбутніх поколінь. Тема актуальна у багатьох галузях та поєднує в собі багато аспектів та технологій, таких як використання штучного інтелекту та Internet of Things (IoT). Також на сьогодні проблема глобального потепління ще повністю не вирішена, тому використання системного аналізу для розв'язання цієї проблеми є актуальною темою.

Об'єкт дослідження: Використання системного аналізу для підвищення ефективності у сфері енергетичного менеджменту та зменшення викидів CO₂.

Предмет дослідження: Основні напрямки підвищення ефективності енергетичного менеджменту з використанням системного аналізу.

У кваліфікаційній роботі були розглянуті наявні рішення, поточний стан та проблеми енергоменеджменту та викидів CO₂. Було проаналізовано важливість зменшення викидів CO₂ та аналіз можливостей впровадження новітніх технологій на досвіді провідних компаній світу. Системний аналіз виявляється надзвичайно ефективним інструментом для розв'язання проблем невідповідностей між поточними практиками енергоменеджменту та глобальними викликами стосовно зменшення викидів CO₂ та підвищення енергоефективності.

Ключові слова: енергетичний менеджмент, системний аналіз, енергоефективність, сталий розвиток, Smart meter, штучний інтелект, машинне навчання, стандарт ISO 50001.

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 56 аркушів, 6 рисунків, 2 таблиці, 18 джерел.

ABSTRACT

The goal of the work. Invent and implement a system analysis model and approach in energy management that will increase the efficiency of energy management and contribute to the reduction of CO₂ emissions.

Topicality. Unfortunately, now the issues of energy efficiency and CO₂ emissions are becoming not only a matter of savings, but also of global morality and ethics, since our ability to preserve nature directly affects the quality of life of future generations. The topic is relevant in many industries and combines many aspects and technologies, such as the use of artificial intelligence and the Internet of Things (IoT). Also, the problem of global warming has not yet been fully resolved, so the use of system analysis to solve this problem is an actual topic.

Object of research: Using system analysis to increase efficiency in energy management and reduce CO₂ emissions.

Subject of research: The main directions of improving the efficiency of energy management using system analysis.

Summary of the work: In the qualification work, the available solutions, the current state and problems of energy management and CO₂ emissions were considered. The importance of reducing CO₂ emissions and the possibility of implementing the latest technologies were analyzed based on the experience of the world's leading companies. System analysis is proving to be an extremely effective tool for solving the problems of inconsistencies between current energy management practices and the global challenges of reducing CO₂ emissions and improving energy efficiency.

KEYWORDS: energy management, system analysis, energy efficiency, sustainable development, Smart meter, artificial intelligence, machine learning, ISO 50001 standard.

Text part of the master's qualification work: 56 pages, 6 pictures, 2 table, sources.

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

**ПОДАННЯ
ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ
ЩОДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
на здобуття освітнього ступеня магістра**

Направляється здобувач Іванчевський О. В. до захисту кваліфікаційної роботи
(*прізвище та ініціали*)
за спеціальністю 124 Системний аналіз
освітньо-професійної програми Інтелектуальні системи управління
на тему: «Використання системного аналізу для підвищення ефективності в
сфері енергетичного менеджменту та зменшення викидів CO₂».

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

Директор ННІТ _____

(*підпис*)

Владислав КРАВЧЕНКО

(*Ім'я, ПРІЗВИЩЕ*)

Висновок керівника кваліфікаційної роботи

Здобувач _____

Все це дозволяє оцінити виконану кваліфікаційну роботу здобувача Іванчевського Олександра Валерійовича оцінку «__» та присвоїти йому(їй) кваліфікацію «Магістр з системного аналізу».

Керівник кваліфікаційної роботи _____

(*підпис*)

Павло АФАНАСЬЄВ

(*Ім'я, ПРІЗВИЩЕ*)

«__» _____ 20__ року

Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувач Іванчевський О. В. допускається до захисту даної роботи в Екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедрою Системного аналізу

(*назва*)

(*підпис*)

Ровіл НАФЄЄВ

(*Ім'я, ПРІЗВИЩЕ*)

«__» _____ 20__ року

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА
на кваліфікаційну магістерську роботу

здобувача вищої освіти Іванчевського Олександра Валерійовича
на тему «Використання системного аналізу для підвищення ефективності в
сфері енергетичного менеджменту та зменшення викидів CO₂»

Актуальність.

Позитивні сторони.

- 1.
- 2.
- 3.

Недоліки.

- 1.
- 2.

Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку
кваліфікаційної роботи

Висновок: кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра заслуговує
оцінку "_____ ", а здобувач Іванчевський Олександр
Валерійович заслуговує присвоєння кваліфікації: «Магістр з системного
аналізу»

Рецензент:

науковий ступінь, вчене звання

_____ *підпис*

_____ *Ім'я, ПРИЗВИЩЕ*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ ТА ОСНОВНІ ПРОБЛЕМИ.....	11
1.1 Основні концепції та підходи у сфері енергоменеджменту.....	11
1.2 Поточний стан та проблеми енергоменеджменту та викидів CO ₂	15
1.3 Важливість системного підходу в контексті енергоменеджменту та зменшення викидів CO ₂	22
1.4 Аналіз можливостей впровадження новітніх технологій як один з методів підвищення ефективності енергоменеджменту.....	25
2 СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ У КОНТЕКСТІ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ	29
2.1 Основні теоретичні поняття системного аналізу.....	29
2.2 Розгляд історії розвитку системного аналізу та його вплив на управління енергетичними ресурсами	31
2.3 Моделі та підходи системного аналізу в енергоменеджменті	32
2.4 Розгляд головних аспектів системного аналізу, які є ключовими для оптимізації енергетичного менеджменту	34
2.5 Методи прийняття рішень в галузі енергоменеджменту	36
3 ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ .	38
3.1 Приклади успішного впровадження системного аналізу для оптимізації енергоменеджменту	38
3.2 Вибір та обґрунтування напрямку системного аналізу.....	40
3.3 Шляхи удосконалення обраного напрямку системного аналізу.....	43
3.4 Пропозиції щодо практичного впровадження обраного напрямку системного аналізу	45
3.5 Запропоновані рішення для оптимізації викидів та підвищення енергетичної ефективності.....	47
3.6 Застосування критерію Байєса - Лапласа для підвищення ефективності енергоменеджменту та зменшення рівня викидів CO ₂	48
ВИСНОВКИ	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	63

Вступ

В сучасному світі, де питання збереження навколишнього середовища стає все більш актуальним та критичним, енергоменеджмент та зменшення викидів CO₂ виходять на передній план як важливі складові управління екологічним впливом людської діяльності. Глобальні зміни клімату, забруднення повітря та вичерпання енергетичних ресурсів визначають необхідність розробки та впровадження ефективних стратегій для забезпечення сталого розвитку та збереження екосистем.

На сьогодні питання енергоефективності та викидів CO₂ стають не лише технічними викликами для підприємств та країн, але й глобальною мораллю та етикою, оскільки наша здатність зберігати природу безпосередньо впливає на якість життя майбутніх поколінь. У цьому контексті, енергоменеджмент стає ключовим інструментом для досягнення балансу між потребами сучасного суспільства та збереженням природних ресурсів для майбутніх поколінь.

В даному науковому дослідженні ми зосередимося на використанні системного аналізу як стратегічного підходу до підвищення ефективності в сфері енергетичного менеджменту та зменшення викидів CO₂. Розглянемо актуальні глобальні виклики та наукові підходи, що стимулюють ці питання, та розглянемо конкретні методи та інновації, які можуть визначити новий шлях до сталого енергетичного майбутнього.

Використання системного аналізу управління енергетикою та зниження викидів CO₂ надає рішенням глибокий та цілісний погляд на всі аспекти енергетичної системи. Системний підхід дозволяє не лише визначити окремі складові системи, але й вивчити їх взаємодії та вплив на загальний результат. Це важливо, оскільки розуміння динаміки системи стає основою для розробки ефективних стратегій енергозбереження та зменшення викидів.

Системний аналіз також допомагає уникнути розгляду проблеми в ізоляції, а замість цього дозволяє розглядати її в контексті всієї системи. Це важливо для ідентифікації взаємозв'язків та неочевидних факторів, які можуть впливати на енергетичну ефективність та викиди CO₂. Такий всебічний підхід сприяє виникненню

комплексних стратегій, здатних ефективно впоратися з глобальними викликами енергетичного менеджменту та екологічної сталості.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ ТА ОСНОВНІ ПРОБЛЕМИ

1.1 Основні концепції та підходи у сфері енергоменеджменту

В сучасному світі, де питання енергоефективності та зменшення викидів CO₂ стають важливішими завданнями для усіх галузей, основні концепції та підходи в сфері енергоменеджменту визначаються стратегіями, що спрямовані на ефективне використання енергетичних ресурсів та забезпечення сталого розвитку.

Ключовою концепцією є енергоефективність, що орієнтована на оптимізацію виробничих процесів та раціональне використання енергії. Це включає в себе впровадження технологій, які дозволяють досягти максимальної продуктивності при раціональному споживанні енергії. Енергоефективність призводить до здатності забезпечити потреби в енергії, зменшуючи при цьому витрати.

Концепція енергоефективності завжди пов'язана з енергозбереженням. Поняття енергозбереження передбачає заходи для зменшення витрат енергії без втрати продуктивності. Це може включати в себе впровадження ізольованих систем, оптимізацію обладнання та використання енергоефективних технологій.

Впровадження стандарту ISO 50001 є також невід'ємною частиною концепції енергоменеджменту. Стандарт ISO 50001 визначає систему управління енергетикою, яка сприяє постійному покращенню енергоефективності. Впровадження цього стандарту стає стратегічним підходом до ефективного енергоменеджменту. Все більше компаній в світі використовують стандартизований підхід, для регулювання та управління системами енергоменеджменту[1].

Застосування системного аналізу в енергоменеджменті дозволяє розглядати всі аспекти системи, виявляти взаємозв'язки та визначати оптимальні рішення. Цей підхід стає ефективним інструментом для вирішення складних енергетичних завдань.

Залучення та інтеграція передових технологій у сфері енергоменеджменту розширює можливості ефективного контролю та моніторингу. Використання сучасних інновацій може значно поліпшити результати енергетичних стратегій.

Інноваційні технології в сфері енергоменеджменту відіграють ключову роль у вирішенні складних викликів, пов'язаних з оптимізацією енергоспоживання та зменшенням викидів CO₂. Інноваційні системи моніторингу дозволяють здійснювати більш детальний та точний аналіз енергоспоживання. Це надає можливість ефективно контролювати та оптимізувати витрати енергії в режимі реального часу. Інноваційні технології активно сприяють впровадженню та оптимізації використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова енергія. Це допомагає зменшити залежність від традиційних джерел, сприяючи при цьому зменшенню викидів CO₂. Використання штучного інтелекту та інтелектуальних систем управління дозволяє автоматизувати процеси прийняття рішень в енергоменеджменті. Також включає в себе використання нових матеріалів, технологій охолодження, а також енергозберігаючих конструкцій. Інноваційні технології в сфері енергоменеджменту є ключовим інструментом для досягнення сталого розвитку та зменшення екологічного впливу промисловості та суспільства в цілому.

Орієнтація на сталий розвиток включає розгляд енергоменеджменту в контексті екологічних та соціальних вимог. Це сприяє балансу між потребами сучасного суспільства та збереженням природних ресурсів для майбутніх поколінь.

Основні концепції та підходи в сфері енергоменеджменту стають фундаментом для розробки імplementованих стратегій, які сприяють підвищенню ефективності використання енергії та зниженню викидів CO₂. Концепція "сталого розвитку" в енергоменеджменті визнає необхідність врахування соціальних, економічних та екологічних аспектів для досягнення довгострокової ефективності.

До основних методів енергоменеджменту відносяться представлені нижче.

- Енергетичний аудит. В якому розробляється детальний аналіз споживання енергії та виявлення можливостей для її оптимізації.
- Впровадження енергозберігаючих технологій. Застосування нових технологій та систем для підвищення ефективності використання енергії.

- Системи моніторингу та керування. Використання автоматизованих систем для нагляду за енергоспоживанням та регулювання його в реальному часі.
- Освіта та залучення персоналу. Підвищення обізнаності персоналу та залучення їх до енергозбереження.

Для організацій, які прагнуть зменшити свій вплив, зберегти ресурси та покращити кінцевий результат за допомогою ефективного управління енергією, розробили стандарт ISO 50001. Стандарт ISO 50001 - це міжнародний стандарт, розроблений Міжнародною організацією зі стандартизації (ISO), який визначає вимоги до систем управління енергозбереженням. ISO є незалежною неурядовою міжнародною організацією з членством 161 національних органів стандартизації. Головна мета стандарту ISO - надавати організаціям системний підхід до ефективного управління енергетичними ресурсами, зменшуючи витрати та покращуючи загальну енергоефективність. Вона допомагає організаціям виявити та впроваджувати заходи, спрямовані на раціональне використання енергії та підвищити енергоефективність, сприяє економії енергетичних витрат та, відповідно, зниженню експлуатаційних витрат. Стандарт ISO 50001 інтегрується з іншими системами управління, такими як управління якістю (ISO 9001) та управління середовищем (ISO 14001).

Основні етапи впровадження та реалізації наведені нижче.

- Підготовка та запуск. Визначення політики енергозбереження, визначення цілей та вивчення енергетичних процесів.
- Планування. Визначення конкретних заходів з енергозбереження та встановлення плану їх впровадження.
- Виконання та реалізація заходів. Впровадження плану та виконання заходів з енергозбереження.
- Моніторинг та оцінка. Постійний моніторинг енергетичної ефективності та оцінка досягнених результатів.
- Перегляд та покращення. Постійне вдосконалення системи через аналіз результатів та впровадження корекцій.

Основні переваги стандарту ISO 50001 наведені нижче.

- Зниження витрат. Забезпечує зменшення енергетичних витрат та, відповідно, економію коштів.
- Співвідношення з іншими системами. Інтеграція з іншими стандартами дозволяє створити комплексний підхід до управління підприємством.
- Сталість споживання. Сприяє сталому та раціональному використанню енергії.
- Системний підхід. ISO 50001 сприяє впровадженню системного підходу до управління енергією в організації.
- Контроль та моніторинг. Стандарт вимагає встановлення механізмів моніторингу та контролю за використанням енергії.
- Постійне покращення. ISO 50001 спрямований на постійне покращення енергоефективності.
- Відповідність законодавству. Впровадження ISO 50001 допомагає підприємствам відповідати законодавству та регулюванням у сфері енергоефективності та викидів CO₂, що може знизити ризики та покращити репутацію.

ISO розробляє міжнародні стандарти, проте не бере участі в їх сертифікації та не видає сертифікати. Сертифікація виконується зовнішніми органами, тому компанія або організація не може бути сертифікована ISO.

На рисунку 1.1 зображено приклад сертифікату стандарту ISO 50001 для енергетичного менеджменту, які видають зовнішні органи.



Рисунок 1.1 – Сертифікат стандарту ISO 50001

Впровадження стандарту дозволяє компаніям стати більш конкурентоспроможними на ринку шляхом зменшення витрат та покращення виробничої продуктивності.

Стандарт ISO 50001 є потужним інструментом для організацій, що прагнуть досягти енергетичної ефективності та зменшення впливу на навколишнє середовище. Впровадження його принципів дозволяє створити ефективну систему енергоменеджменту та відкриває нові можливості для сталого розвитку.

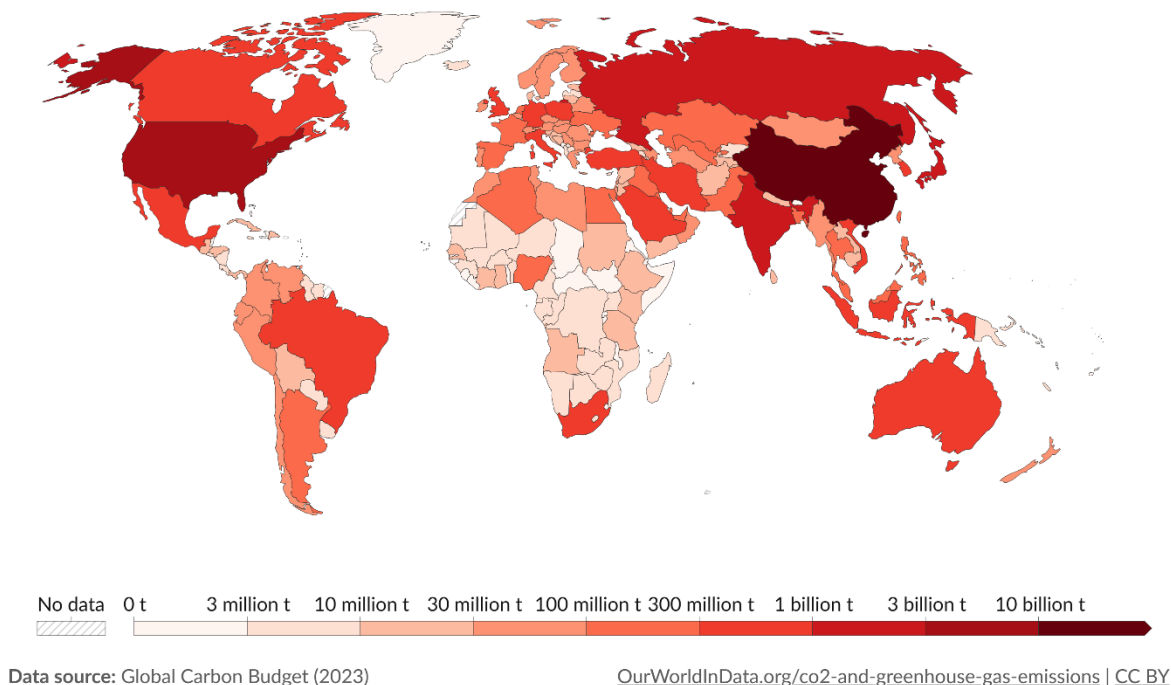
1.2 Поточний стан та проблеми енергоменеджменту та викидів CO₂

Сучасний світ стикається з великими викликами у сфері енергоменеджменту та викидів CO₂, які виникають внаслідок широкомасштабного використання енергії та промислового виробництва. Розширення економіки та зростання населення призводять до збільшення попиту на енергію, що ставить під загрозу сталість енергетичних ресурсів та спричинює негативний вплив на довкілля. Однією з головних проблем є нездатність енергетичних систем ефективно відповідати наростаючим потребам.

На рисунку 1.2 зображена карта викидів CO₂ по країнах[2].

Annual CO₂ emissions, 2022

Carbon dioxide (CO₂) emissions from fossil fuels and industry¹. Land-use change is not included.



1. Fossil emissions: Fossil emissions measure the quantity of carbon dioxide (CO₂) emitted from the burning of fossil fuels, and directly from industrial processes such as cement and steel production. Fossil CO₂ includes emissions from coal, oil, gas, flaring, cement, steel, and other industrial processes. Fossil emissions do not include land use change, deforestation, soils, or vegetation.

Рисунок 1.2 – Карта викидів CO₂ по країнах

Нижче наведені основні проблеми в енергоменеджменті та викидів CO₂.

- Недостатні енергоефективні заходи. Багато підприємств та організацій не вживають достатніх заходів для підвищення енергоефективності. Застосування застарілих технологій та відсутність інвестицій у сучасні енергозберігаючі технології обмежують можливості зменшення витрат енергії.
- Великі втрати енергії. В системах енергопостачання та виробництва енергії залишаються значні втрати через неефективний транспорт, конвертацію, та розподіл енергії. Це призводить до зайвого витрати палива та збільшення емісій CO₂.
- Індустріалізація та виробництво. Розширення індустриальних процесів та збільшення виробництва призводять до значного викиду CO₂ в атмосферу. Заводи та

великі промислові об'єкти є основними джерелами викидів, особливо якщо вони використовують застарілі технології.

– Використання невідновлювальних джерел. Незважаючи на зростання використання відновлювальних джерел енергії, багато регіонів і компаній ще не використовують їх на повну потужність. Зростаючий попит на енергію, особливо з зпалюванням вугілля та інших копалин, є основним джерелом викидів CO₂. Залежність від традиційних джерел сприяє збільшенню викидів CO₂.

– Недостатній контроль викидів CO₂. Багато країн та підприємства не володіють ефективною системою контролю за викидами CO₂. Відсутність регулюючих механізмів та стандартів може призводити до перевищення допустимих норм та забруднення навколишнього середовища.

– Невдосконалість інфраструктури. Застаріла та невдосконала енергетична інфраструктура у багатьох регіонах призводить до втрат та незадовільної можливості використовувати сучасні технології. Зростання числа транспортних засобів, які використовують паливо з викидами CO₂, вносить великий вклад у зростання загальних викидів.

– Глобальне потепління. Збільшення викидів CO₂ призводить до зміни складу атмосфери та підвищення парникового ефекту, що сприяє глобальному потеплінню. Це може призводити до підняття рівня моря, теплових хвиль та інших катастрофічних наслідків.

– Знищення екосистем. Зміни в кліматі призводять до втрати біорізноманіття та знищення екосистем, оскільки багато видів не може адаптуватися до швидкого змінення середовища. Зміни використання землі, такі як вирубка лісів або великі агропроекти, сприяють викидам CO₂ через знищення природних поглиначів вуглецю.

Ці фактори сприяють нестабільності клімату та негативно впливають на природні ресурси та людське здоров'я, що визначає необхідність розробки та

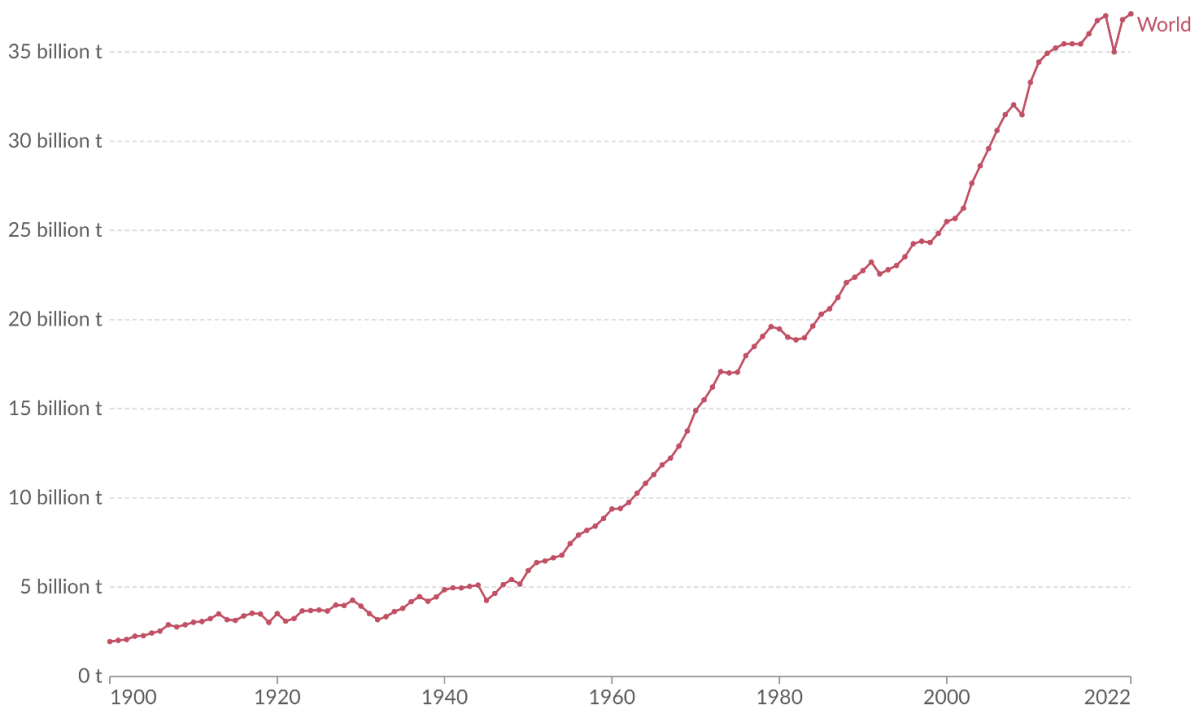
впровадження стратегій для зменшення викидів CO₂ та досягнення сталого енергетичного майбутнього.

На рисунку 1.3 зображено графік зростання викидів CO₂ в світі від 1900 до 2022 року.

Annual CO₂ emissions

Carbon dioxide (CO₂) emissions from fossil fuels and industry¹. Land-use change is not included.

Our World
in Data



Data source: Global Carbon Budget (2023)

OurWorldInData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions | CC BY

1. **Fossil emissions:** Fossil emissions measure the quantity of carbon dioxide (CO₂) emitted from the burning of fossil fuels, and directly from industrial processes such as cement and steel production. Fossil CO₂ includes emissions from coal, oil, gas, flaring, cement, steel, and other industrial processes. Fossil emissions do not include land use change, deforestation, soils, or vegetation.

Рисунок 1.3 – Графік викидів CO₂ в світі по рокам

Проаналізуємо кількість викидів CO₂ за останні майже сто років. Графік надає інформацію, що в 1900 році в початковому періоді промислової ери викиди CO₂ були на невеликому рівні та становили 1.85 млрд. тонн, ці дані свідчаючи про обмежену кількість промислових та транспортних процесів. За наступний період після Другої світової війни 1950-х роках із зростанням індустріалізації та розвитку транспорту спостерігалось суттєве збільшення викидів CO₂ до майже 6 млрд. тонн. З початку 2000-х років з появою нових технологій та збільшенням споживання енергії світова

економіка виявляє значний вплив на збільшення викидів CO₂ до показників 25.5 млрд. тонн.

У сучасний період, за останніми даними за 2022 рік викиди CO₂ досягли рекордного рівня 37.15 млрд. тонн, це свідчить про необхідність негайних заходів для зменшення впливу людської діяльності на клімат.

За даними цього графіку можна зробити висновок, що викиди CO₂ за останнє століття мають експоненційний ріст. З наведених даних видно, що викиди CO₂ зросли кратно, особливо в другій половині 20 століття та на початку 21 століття. Збільшення викидів відбулося в основному через інтенсивний промисловий розвиток, енергозалежність та невідновлювальних джерел енергії. Зростання викидів у 21 столітті свідчить про необхідність ефективних заходів та інновацій для зменшення впливу на зміну клімату.

Дані викидів CO₂ підкреслюють необхідність прийняття негайних заходів для обмеження викидів CO₂ та розвитку сталої енергетики для збереження навколишнього середовища та забезпечення сталого майбутнього.

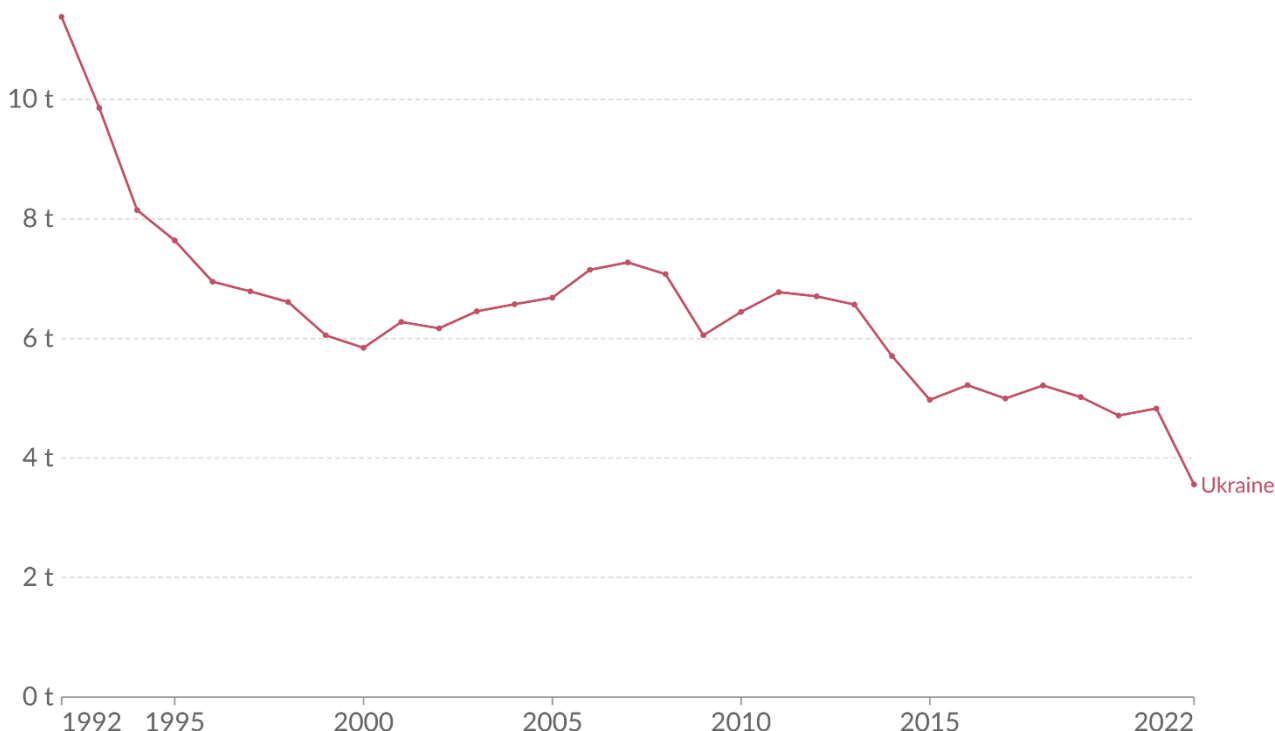
Викиди діоксиду вуглецю (CO₂) в атмосферу впливають на глобальне потепління через механізм, відомий як парниковий ефект. CO₂ та інші парникові гази в атмосфері пропускають сонячне випромінювання, але затримують теплове випромінювання з поверхні Землі, утримуючи тепло в атмосфері. Цей процес зумовлює підвищення середньорічної температури на Землі. Збільшення концентрації CO₂ призводить до змін у кліматичних системах, що викликає екстремальні погодні явища, такі як урагани, засухи та повені. Збільшення температури сприяє таненню льодовиків та арктичних льодів, що може призвести до підняття рівня морів. Обмеження зростання глобальної середньої температури до 2 °C або навіть 1,5 °C порівняно з доіндустріальною епохою вимагає, щоб глобальні річні викиди CO₂ були нульовими або від'ємними до кінця цього століття, і, можливо, невдовзі до 2050 року[3]. У контексті стабілізації клімату величина підвищення глобальної

температури прямо пропорційна кумулятивним викидам CO₂, тому додавання будь-якої кількості CO₂ в атмосферу збільшить майбутні потепління.

На рисунку 1.4 зображено графік викидів CO₂ в Україні.

Per capita CO₂ emissions

Carbon dioxide (CO₂) emissions from fossil fuels and industry¹. Land-use change is not included.



Data source: Global Carbon Budget (2023); Population based on various sources (2023)

OurWorldInData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions | CC BY

1. Fossil emissions: Fossil emissions measure the quantity of carbon dioxide (CO₂) emitted from the burning of fossil fuels, and directly from industrial processes such as cement and steel production. Fossil CO₂ includes emissions from coal, oil, gas, flaring, cement, steel, and other industrial processes. Fossil emissions do not include land use change, deforestation, soils, or vegetation.

Рисунок 1.4 – Графік викидів CO₂ в Україні

Графік викидів CO₂ в Україні показує, війна що триває в Україні, призвела до скорочення економіки країни майже на 30% у 2022 році, що призвело до відповідного скорочення викидів. Війна призвела до значних екологічних збитків і мала згубний вплив на глобальний клімат, що призводить до вивільнення значної кількості вуглекислого газу та інших парникових газів в атмосферу. За оцінками експертів, частка викидів, викликаних прямими бойовими діями, становить 19% від загального обсягу викидів - більшість припадає на споживання палива передусім російськими, а

також українськими військами. Викиди, спричинені війною, становлять 150 млн. тонн CO_2 , подібні до викидів у такій країні, як Бельгія. Значна частина цих викидів, 36%, пов'язана з реконструкцією країни. Подібну кількість складають викиди, пов'язані з реальними бойовими діями та пожежами. Кількість пожеж площею більше одного гектара зросла в 36 разів до передвоєнного періоду. Ці пожежі переважно спостерігаються недалеко від лінії фронту, багато з яких призводять до знищення лісів. Хоча взимку пожежі стихли, очікується, що вони посиляться знову, коли температура підвищується навесні, показники викидів від пожеж сягають 17,7 млн. тонн CO_2 . У довгостроковій перспективі криза послужила каталізатором переходу до відновлюваної енергії в Європі. Очікується, що ця тенденція збережеться не лише в Європейського Союзу, а й у повоєнний період відродження України. Різні заборони на повітряний простір, видані західними країнами, збільшили час польотів, що також впливає на викиди вуглецю, показники викидів від збільшення часу польотів сягають 12 млн. тонн CO_2 . Післявоєнна відбудова пошкодженої та зруйнованої цивільної інфраструктури є найбільшим джерелом викидів, показники сягають 50,2 млн. тонн CO_2 . Вплив війни виходить за межі України. Поставки природного газу з Росії до Європи через трубопроводи були перервані або значно скорочені, це змушує Європу шукати альтернативні джерела енергопостачання. Наприклад, час життя деяких атомних електростанцій у Бельгії та Німеччині було продовжено, непрацюючі вугільні електростанції були відновлені, а поставки зрідженого природного газу (СПГ) були збільшені[4].

Зменшення викидів CO_2 та інших парникових газів стає ключовим завданням для зменшення впливу людської діяльності на клімат та забезпечення сталого розвитку.

По закінченню кліматичної конференції ООН COP28 у Дубаї у 2023 році учасникам переговорів від Європейського Союзу разом із партнерами з усього світу вдалося зберегти можливість виконання зобов'язань Паризької угоди щодо обмеження зростання середньої глобальної температури до 1,5 °C вище доіндустріального

рівня[5]. Приділяючи особливу увагу енергетичному сектору в ході переговорів, сторони погодилися прискорити перехід від викопного палива в цьому десятилітті, вжити заходів для скорочення викидів на 43% до 2030 року та поставити світ на шлях досягнення чистих нульових викидів до 2050, відповідно до найкращих доступних наукових даних. Відповідно до Паризької угоди 2015 року 194 країни погодилися подати національно визначені внески (NDC), які представляють їхні індивідуальні цілі скорочення викидів. У сукупності ці NDC мають сприяти досягненню мети утримати зростання середньої глобальної температури нижче 2°C і якомога ближче до 1,5°C до кінця століття. Звіти Міжурядової групи експертів зі зміни клімату ООН (IPCC) постійно попереджають, що світ досягне підвищення середньої температури на 1,5°C вже протягом наступних двох десятиліть і що лише найрізкіші скорочення викидів парникових газів допоможуть запобігти екологічній катастрофі[6].

1.3 Важливість системного підходу в контексті енергоменеджменту та зменшення викидів CO₂

Системний підхід є важливою стратегією для зменшення викидів CO₂, оскільки він дозволяє розглядати енергоменеджмент як комплексну систему з взаємозалежними елементами та впливом на навколишнє середовище. Системний підхід дозволяє оцінити ефективність всіх аспектів енергетичного менеджменту, від постачання енергії до використання та викидів. Це сприяє інтеграції ефективних стратегій на всіх етапах енергетичного циклу. Системний підхід дозволяє враховувати вплив усіх джерел викидів CO₂, включаючи виробництво, транспорт, будівництво та інші галузі. Це дозволяє розробляти глобальні стратегії та визначати пріоритети для зменшення викидів. Системний підхід допомагає уникнути ситуацій, коли вирішення однієї проблеми може призвести до збільшення інших. Наприклад, зменшення викидів у виробництві не повинно призвести до збільшення викидів у транспорті. Також він стимулює впровадження нових технологій та інновацій для зменшення викидів. Він дозволяє ефективно адаптуватися до змін у виробництві та технологічних тенденціях. Системний підхід сприяє взаємодії різних заходів та стратегій, що може

призводити до синергетичного ефекту та більшого зменшення викидів. Він включає етапи контролю та оцінки, що дозволяє стежити за результатами зменшення викидів та вносити корективи для досягнення поставлених цілей.

Системний підхід в енергоменеджменті є важливим інструментом для забезпечення ефективного використання ресурсів та зменшення викидів CO₂. Енергоменеджмент включає в себе велику кількість взаємодіючих систем, таких як енергетичні системи, виробничі процеси та системи тепло- та газопостачання. Він дозволяє розглядати їх комплексно, а також ідентифікувати можливості оптимізації використання енергії в різних аспектах підприємства. Також передбачає можливі ризики та дозволяє впроваджувати стратегії для зменшення негативного впливу невизначеності на енергетичний баланс. Завдяки системному підходу енергоменеджмент може бути адаптованим до швидкого впровадження нових технологій, що полегшує підтримку інновацій. Системний підхід визначає мету та завдання енергоменеджменту як частини загальної стратегії підприємства. Застосування системного підходу допомагає визначати та впроваджувати заходи для забезпечення сталого розвитку, враховуючи екологічні аспекти.

Системний підхід в енергоменеджменті може бути реалізований через різні заходи, спрямовані на оптимізацію та покращення. Визначення конкретних завдань та цілей енергоменеджменту, які відповідають стратегії підприємства. Створення моделей енергетичних процесів для аналізу ефективності та виявлення можливостей для покращення. Виокремлення факторів, що впливають на успіх енергоменеджменту, та розробка стратегії їх управління. Встановлення систем, які забезпечують постійний моніторинг енергетичної ефективності та викидів CO₂. Ведення звітів і публікація результатів для створення відкритої системи енергоменеджменту. Впровадження новітніх технологій та автоматизації для підвищення рівня енергоефективності. Організація тренінгів для персоналу щодо ефективного використання ресурсів та зменшення викидів. Забезпечення ефективної взаємодії з постачальниками та клієнтами для оптимізації енергетичних процесів.

Впровадження циклу постійного вдосконалення для систематичного аналізу та впровадження покращень. Ці заходи спрямовані на побудову системи, яка не лише вирішує поточні проблеми, а й постійно адаптується до нових умов та викликів для досягнення оптимальної енергетичної ефективності та зниження викидів CO₂.

Цикл PDCA (Plan-Do-Check-Act) - це методологія постійного вдосконалення, яка вперше була введена в якості контрольного циклу якості та ефективності виробництва. Вона використовується для вирішення проблем, покращення процесів та досягнення цілей в організаціях. Цей цикл складається з чотирьох основних етапів:

На рисунку 1.5 графічно зображено схему циклу PDCA (Plan-Do-Check-Act)[7].

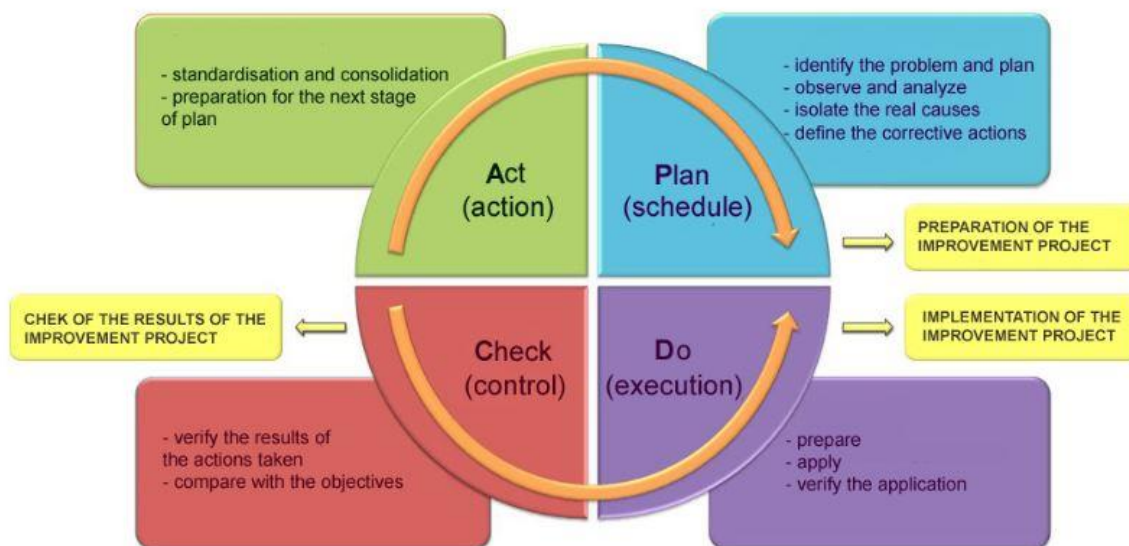


Рисунок 1.5 – Схема циклу PDCA

Нижче розглянемо схему циклу PDCA.

– **Plan (Планування).** Визначення мети або цілі для досягнення. Визначення завдань та конкретних кроків для досягнення мети. Створення детального плану дій та визначення відповідальних осіб.

– **Do (Виконання).** Реалізація розробленого плану. Збір даних про результати виконання плану.

- Check (Перевірка). Оцінка отриманих даних та порівняння їх з вихідними метриками. Вивчення причин успіху чи невдачі, виявлення факторів, які впливають на результати.

- Act (Дія). Розробка та впровадження корективних дій на основі вивчених результатів. Впровадження змін для оптимізації процесів та досягнення більш ефективних результатів.

Цикл PDCA – це ітеративний процес, що нагадує вдосконалення через постійні ітерації. Після завершення одного циклу відбувається інший, і процес постійного вдосконалення продовжується[8].

У контексті енергоменеджменту, цей цикл може бути використаний для систематичного вдосконалення енергетичних процесів, впровадження нових технологій та методів для зменшення викидів CO₂, а також для вирішення проблем, пов'язаних із забезпеченням сталого використання енергетичних ресурсів.

Отже, системний підхід є ключовим для розв'язання проблеми зменшення викидів CO₂, оскільки він дозволяє глибоко та комплексно розглядати всі аспекти енергоменеджменту та їх взаємодію в системі. Загально кажучи, системний підхід дозволяє ефективно вирішувати завдання енергоменеджменту, створюючи збалансовану систему, яка сприяє збереженню ресурсів та зниженню впливу на навколишнє середовище.

1.4 Аналіз можливостей впровадження новітніх технологій як один з методів підвищення ефективності енергоменеджменту

У публікації "Application of Advanced Technologies in Energy Management for Enhanced Efficiency"[9] досліджується вплив впровадження передових технологій на ефективність енергоменеджменту. Дослідження базується на аналізі реальних випадків впровадження сучасних рішень, таких як "Інтернет речей (IoT)", "Штучний інтелект (AI)" та "Аналіз даних в реальному часі". Автори визначають, що використання IoT-пристроїв для збору даних про споживання енергії дозволяє здійснювати точний моніторинг та прогнозування витрат енергії. Впровадження

алгоритмів штучного інтелекту сприяє автоматизації процесів управління енергоспоживанням, що призводить до оптимізації роботи систем. Публікація також висвітлює важливість аналізу даних в реальному часі для прийняття оперативних рішень та виявлення можливостей для підвищення ефективності. Застосування цих технологій дозволяє значно зменшити витрати енергії та сприяє сталому розвитку. Ця публікація служить прикладом того, як нові технології можуть бути успішно впроваджені для підвищення ефективності управління енергоресурсами.

В даній публікації технічні аспекти використання датчиків та зв'язку між пристроями для моніторингу різних аспектів енергоспоживання вивчаються в контексті Internet of Things (IoT). Основні технічні елементи включають.

- Датчики енергоспоживання. Встановлення різноманітних датчиків, таких як датчики струму, напруги та інші, для збору точних даних щодо енергоспоживання пристроїв та систем.
- Збір та агрегація даних. Використання мережі IoT для передачі даних від датчиків до центральної системи. Ця система може здійснювати збір, обробку та агрегацію отриманих даних для подальшого аналізу.
- Безпека та приватність. Розгляд аспектів безпеки та приватності у контексті збору та передачі даних. Це може включати застосування шифрування та інших заходів для захисту інформації.
- Комунікаційні протоколи. Використання стандартних протоколів зв'язку, таких як MQTT або CoAP, для ефективного обміну даними між IoT-пристроями та центральною системою.
- Інтеграція з аналітичними системами. Забезпечення можливості інтеграції з аналітичними системами, які можуть проводити глибокий аналіз отриманих даних та генерувати звіти та рекомендації.

Ці технічні аспекти спрямовані на створення розумних систем моніторингу енергоспоживання, які дозволяють ефективно управляти та оптимізувати використання енергії на основі зібраних даних[10].

У статті "Internet of Things in Energy Management: A Comprehensive Review"[11] проведено детальний огляд використання Internet of Things (IoT) у сфері управління енергією. Автори розглядають різні аспекти впровадження IoT-пристроїв, зокрема їх застосування в енергетичному менеджменті для збору даних про споживання енергії. Стаття розглядає технічні аспекти використання датчиків та зв'язку між пристроями для моніторингу різних аспектів енергоспоживання. Автори також аналізують питання безпеки та приватності, пов'язані з використанням IoT в цьому контексті. Узагальнюючи, публікація дає добре обґрунтоване розуміння того, як IoT-пристрої можуть бути використані для ефективного збору даних про споживання енергії, що може сприяти підвищенню енергоефективності та управлінню ресурсами.

Висновки по розділу

На фоні зростаючих викликів глобальної зміни клімату та швидкого збільшення викидів CO₂, проблема енергоменеджменту набуває надзвичайної актуальності. Висока ефективність енергетичного менеджменту та зменшення викидів CO₂ стали не тільки технічними завданнями для підприємств та країн, але й стратегічними кроками для забезпечення сталого розвитку та збереження екосистем.

Глобальні зміни в кліматі, забруднення повітря та деградація природних ресурсів створюють нагальну потребу в розробці та впровадженні новаторських стратегій для забезпечення ефективного управління енергією та скорочення викидів CO₂. Ці проблеми мають глибокий екологічний та економічний вплив та вимагають невідкладних заходів.

Системний аналіз виявляється важливим інструментом у розв'язанні цих проблем, дозволяючи комплексно оцінювати та оптимізувати енергетичні процеси, виявляти ефективні напрямки розвитку та розробляти інтегровані стратегії для досягнення сталого енергетичного майбутнього.

Таким чином, розробка та впровадження шляхів подолання проблем енергоменеджменту та зменшення викидів CO₂ є необхідною передумовою для забезпечення екологічно стійкого розвитку та збереження природних ресурсів для

майбутніх поколінь. Поєднання наукових досліджень, інноваційних підходів та системного аналізу є ключем до успішного вирішення цих викликів.

Теоретичні засади енергоменеджменту є важливою основою для розуміння та впровадження ефективних стратегій в управлінні енергією. Ретельне вивчення історії, термінології та основних концепцій створює фундаментальні знання, які є необхідними для розвитку сталого та ефективного енергоменеджменту. Однак, разом із цим, виявляється низка ключових проблем, які потребують серйозного вирішення.

Однією з найактуальніших проблем є зростання рівня викидів CO₂ в атмосферу, що призводить до збільшення глобального потепління та негативних наслідків для навколишнього середовища. Це вимагає ретельного вивчення сучасного стану викидів CO₂ та розробки стратегій для їх зменшення. Ще однією проблемою є неефективне використання енергії в різних галузях, що призводить до збільшення витрат ресурсів та негативного впливу на екосистему. Це вимагає розробки та впровадження нових технологій та стратегій енергозбереження.

Захист навколишнього середовища вимагає комплексного підходу, який враховує та інтегрує різні аспекти енергоменеджменту. Висвітлення та вирішення цих проблем важливі для створення сталої та ефективної системи управління енергетичними ресурсами. Наукові дослідження та розвиток інноваційних підходів є ключовими факторами вирішення цих проблем та досягнення ефективного енергоменеджменту в майбутньому.

2 СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ У КОНТЕКСТІ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ

2.1 Основні теоретичні поняття системного аналізу

Сучасний світ стикається з надзвичайно важливою задачею ефективного управління енергією та зменшення викидів CO₂ в умовах зростаючого попиту на ресурси та загострюючихся проблем зміни клімату. Забезпечення сталого розвитку та збереження навколишнього середовища стає визначальним завданням для підприємств, країн та всього людства.

У цьому контексті, системний аналіз виявляється необхідним інструментом для розуміння та оптимізації складних взаємодій у сфері енергоменеджменту. Використання системного аналізу дозволяє не лише розглядати окремі компоненти системи, але й враховувати їх взаємодії, щоб розробляти імовірні стратегії та приймати інформовані рішення.

Цей дослідницький напрямок вирізняється своєю комплексністю та інтегрованістю, спрямованим на розв'язання проблем, пов'язаних з підвищенням ефективності в сфері енергетичного менеджменту та зменшення викидів CO₂. Системний аналіз стає ключовим елементом в усвідомленні взаємодій між різними аспектами енергетики та визначенні шляхів досягнення балансу між потребами сучасності та вимогами екологічної стійкості.

У цьому дослідженні я вивчаю роль системного аналізу в контексті енергоменеджменту, аналізуючи актуальні проблеми, визначаючи основні концепції та розглядаючи можливі стратегії для досягнення сталого енергетичного майбутнього.

Системний аналіз — науковий метод пізнання, що являє собою послідовність дій з установлення структурних зв'язків між змінними або елементами досліджуваної системи. Спирається на комплекс загальнонаукових, експериментальних, природничих, статистичних, математичних методів.

Основні теоретичні поняття системного аналізу включають.

– Система визначається як сукупність взаємопов'язаних та взаємозалежних елементів, що утворюють цілісний комплекс. Система може бути визначена як фізичний об'єкт (наприклад, енергетична інфраструктура) або абстрактний процес (наприклад, процес прийняття рішень).

– Елементи - це окремі частини або складові, що утворюють систему та взаємодіють між собою. Наприклад, в енергетичній системі елементами можуть бути електростанції, трансформатори, енергетичні мережі тощо.

– Взаємодія позначає взаємозв'язки та обмін інформацією між елементами системи. Вона визначає, як частини системи взаємодіють для досягнення спільної мети.

– Мета системного аналізу - це визначення основних цілей та завдань системи. У контексті енергоменеджменту мета може бути спрямована на оптимізацію використання енергії та зменшення викидів CO₂.

– Зворотний зв'язок - це механізм, що дозволяє системі коригуватися та адаптуватися на основі отриманої інформації. Він грає важливу роль у підтримці сталості та ефективності системи.

– Кордони визначають область, яку охоплює система. Це важливо для визначення того, що входить в систему, а що знаходиться за її межами.

– Система може містити підсистеми - менші частини, які можна розглядати як окремі системи. Це дозволяє розглядати складні системи на різних рівнях деталізації.

Використання цих теоретичних понять у системному аналізі дозволяє розуміти та аналізувати взаємозв'язки в складних системах, таких як енергетичний сектор, щоб розробляти ефективні стратегії та приймати інформовані рішення.

2.2 Розгляд історії розвитку системного аналізу та його вплив на управління енергетичними ресурсами

Системний аналіз зародився в середині 20-го століття як результат пошуку більш ефективних методів вирішення складних проблем. Важливий внесок у його розвиток зробили вчені такі, як Людвіг фон Берталанфі та Норберт Вінер[12].

В середині 20-го століття криза енергетики призвела до розвитку моделей системного аналізу для управління енергетичними ресурсами. В цей період системний аналіз став важливою галуззю для розуміння та оптимізації складних систем, включаючи енергетичні системи. Підхід системного аналізу дозволяв розглядати енергетичні системи в комплексі, враховуючи їх взаємодії та залежності.

В 1970-80-х роках системний аналіз визнався важливим інструментом для вирішення складних проблем на різних рівнях, включаючи глобальну енергетичну кризу. Криза енергетики в 1970-х роках викликала потребу в ретельному аналізі та ефективному управлінні енергетичними ресурсами. Системний аналіз допоміг розробляти моделі для прогнозування споживання, оптимізації виробництва та пошуку ефективних рішень для зменшення залежності від традиційних енергетичних джерел. Моделювання та сценарійне планування відіграли ключову роль у прогнозуванні та управлінні енергетичними системами.

Останні десятиліття принесли інновації в енергоменеджмент за допомогою системного аналізу, такі як використання сучасних технологій для моніторингу та оптимізації енергосистем.

В умовах сучасної глобальної зміни клімату системний аналіз виявляється критичним для розв'язання проблеми ефективного використання та збереження енергетичних ресурсів. Сучасний період характеризується широким застосуванням системного аналізу в управлінні енергетикою та розвитком відновлювальних джерел енергії. Застосування системного аналізу стало невід'ємною частиною стратегій планування та прийняття рішень у сфері енергоменеджменту.

Взаємодія системного аналізу та управління енергетикою зробила великий внесок у вирішення енергетичних проблем та сприяла розвитку стійкого та ефективного використання енергії. Отже, хоча ідеї системного аналізу сформулювались раніше, його найбільший вплив на управління енергетичними ресурсами відзначився у другій половині 20 століття та продовжує рости в сучасному світі.

2.3 Моделі та підходи системного аналізу в енергоменеджменті

В енергоменеджменті використовуються різноманітні моделі системного аналізу для аналізу та оптимізації енергетичних систем.

- Модель ICE (Integrated System Dynamics). Ця модель дозволяє враховувати динаміку енергетичних систем та їх взаємодії з економікою та довкіллям. Вона базується на концепції зворотного зв'язку і взаємодії між елементами системи.

- Модель оптимізації ENPEP (Energy Policy Evaluation Model). ENPEP дозволяє вирішувати завдання оптимізації енергетичних систем, враховуючи економічні та екологічні обмеження. Вона допомагає знаходити оптимальні стратегії для досягнення конкретних енергетичних цілей[13].

- Модель MAC (Multi-Agent Simulation). Моделі MAC дозволяють враховувати взаємодії різних агентів (наприклад, підприємств, споживачів, енергетичних постачальників) в енергетичних системах. Вони корисні для аналізу стратегій в умовах ринкової конкуренції[14].

- Модель DES (Discrete Event Simulation). DES дозволяє моделювати та аналізувати конкретні події в часі, такі як виробничі процеси, переривання в постачанні енергії або енергозалежні події. Це допомагає виявляти та усувати можливі ризики.

- Модель Гібридних Систем. Гібридні моделі об'єднують різні методи, такі як системна динаміка, оптимізація та агентні підходи, для комплексного вирішення задач управління енергетичними ресурсами.

- Модель LCA (Life Cycle Assessment). LCA використовується для оцінки повного екологічного впливу енергетичних систем від початкового етапу видобутку ресурсів до витрат енергії під час виробництва та використання[15].

Моделі в системному аналізі можна класифікувати за різними критеріями, враховуючи їхні особливості та застосування.

- Дескриптивні моделі. Описують структуру та характеристики системи.
- Нормативні моделі. Визначають оптимальні стратегії та рішення для системи.
- Прогностичні моделі. Передбачають майбутні стани системи на основі поточних умов.
- Дискретні моделі. Використовуються для аналізу систем з обмеженою кількістю значень змінних.
- Неперервні моделі. Описують системи з нескінченною кількістю можливих значень змінних.
- Статичні моделі. Описують стан системи в конкретний момент часу.
- Динамічні моделі. Розглядають зміни стану системи з плином часу.
- Агреговані (загальні) моделі. Використовують загальні показники та середні значення.
- Деталізовані моделі. Враховують конкретні деталі та аспекти системи.
- Аналітичні моделі. Описуються аналітичними рівняннями та формулами.
- Симуляційні моделі. Базуються на використанні комп'ютерних симуляцій для аналізу системи.
- Замкнені моделі. Враховують внутрішню взаємодію компонентів системи без впливу зовнішніх факторів.
- Відкриті моделі. Включають взаємодію системи з оточенням та зовнішніми впливами.
- Прості моделі. Використовують обмежений набір змінних та параметрів.

- Складні (великі) моделі. Мають велику кількість змінних та параметрів.

Для управління енергетичними ресурсами використовують різноманітні підходи системного аналізу, які допомагають ефективно прогнозувати, оптимізувати та приймати рішення.

- Системна динаміка. Цей підхід дозволяє досліджувати динаміку енергетичних систем через час. Моделі системної динаміки допомагають розуміти взаємодію між різними частинами системи та їх вплив на довкілля.

- Агентні моделі. Агентні підходи використовуються для моделювання взаємодії різних "агентів" або суб'єктів, таких як підприємства, споживачі, державні органи. Це дозволяє аналізувати вплив різних учасників на енергетичну систему.

- Оптимізаційні моделі. Цей підхід використовує математичні методи для знаходження оптимальних рішень управління енергетичними ресурсами. Моделі оптимізації допомагають знаходити найефективніші стратегії використання енергії.

- Моделі знань та експертні системи. Використання експертних систем дозволяє враховувати знання експертів у галузі енергоменеджменту. Ці системи можуть допомагати в прийнятті рішень та вирішенні проблем на основі великої кількості даних.

- Гібридні підходи комбінують різні методи для отримання комплексного розуміння енергетичних систем та їх управління.

Ці підходи сприяють вдосконаленню управління енергетичними ресурсами, враховуючи різні аспекти енергетичних систем та їх вплив на довкілля та суспільство.

Загалом класифікації допомагають визначити підходи до моделювання систем в залежності від конкретної задачі та характеристик досліджуваної системи.

2.4 Розгляд головних аспектів системного аналізу, які є ключовими для оптимізації енергетичного менеджменту

Системний аналіз в контексті оптимізації енергетичного менеджменту є ключовим інструментом для розв'язання складних проблем та покращення

ефективності. Розглянемо головні аспекти системного аналізу, які важливі для оптимізації енергетичного менеджменту.

- Системний підхід. Треба визначити систему та ідентифікувати всі компоненти та їх взаємодію у сфері енергетичного менеджменту. Використовуючи глобальний погляд, робити розгляд всієї системи як єдиної, взаємозалежної структури.

- Моделювання. Можливість створення математичних моделей, розробка аналітичних чи симуляційних моделей для аналізу та прогнозу енергетичних процесів. Провести оптимізацію параметрів та визначити оптимальні значення параметрів системи для досягнення максимальної ефективності.

- Інтеграція технологій. Впровадження інновацій, застосування передових технологій для підвищення енергоефективності та зменшення викидів CO₂. Аналіз впливу технологій. Визначення, як впровадження нових технологій впливає на енергетичні процеси та навколишнє середовище.

- Оцінка ризиків та стійкість. Провести аналіз вразливості системи, визначити можливі ризики та визначення методів їх зменшення. Розробка стратегій для забезпечення стійкості енергетичної системи в умовах різних викликів.

- Врахування соціальних та екологічних аспектів. Сюди відноситься взаємодія з громадськістю, врахування соціальних аспектів в управлінні енергетикою та співпраця з громадськістю. Аналіз викидів та визначення стратегій для зменшення негативного впливу на довкілля.

- Ефективне управління ресурсами. Раціональне використання енергії та зменшення втрат, по можливості використання альтернативних джерел.

- Стратегії зменшення викидів CO₂. Основна мета контролювати викиди. Визначення та впровадження стратегій для мінімізації викидів CO₂. Впровадження методів компенсації викидів через впровадження зелених технологій та проекти з вирощування лісів.

Ці аспекти дозволяють здійснювати комплексний підхід до управління енергетичними ресурсами, що є важливим для підвищення ефективності та зменшення впливу на довкілля.

2.5 Методи прийняття рішень в галузі енергоменеджменту

Розглянемо найрозповсюджені критерії прийняття рішень.

Мінімаксий критерій. Оскар Моргенштерн і Джон фон Нейман запропонували метод мінімаксу, який знайшов широке застосування в теорії прийняття рішень. Це правило прийняття рішень для мінімізації можливих втрат.

Критерій Байєса – Лапласа. Критерій прийняття рішень в умовах невизначеності. Використовується також в теорії ймовірності, яка дозволяє визначити ймовірність події за умови, що сталася інша статистично взаємозалежна з нею подія.

Критерій Севіджа. Вимагає набір альтернативних варіантів, які мінімізують величину максимальних втрат по кожному рішенню і використовується з питаннями, не схильними до ризику[16].

Висновки по розділу

У висновках цього дослідження можна підкреслити важливість та перспективність використання системного аналізу в галузі енергоменеджменту. Системний підхід дозволяє розглядати енергетичний менеджмент як складну систему, взаємодія якої визначається численними факторами та компонентами.

Системний аналіз виявляється надзвичайно ефективним інструментом для вирішення проблем невідповідностей між поточними практиками енергоменеджменту та глобальними викликами стосовно зменшення викидів CO₂ та підвищення енергоефективності. Використання системного аналізу дозволяє не лише аналізувати стан системи на поточний момент, а й розробляти стратегії для її подальшого вдосконалення.

Наукові методи та концепції, представлені у роботі, надають засади для комплексного підходу до оптимізації енергетичного менеджменту та зменшення

викидів CO₂. Важливість врахування екологічних, економічних та соціальних аспектів прийняття рішень стає ключовою у контексті сталого розвитку.

У підсумку, системний аналіз, застосований до енергоменеджменту, визначає нові напрямки для управління енергетичними ресурсами, сприяючи покращенню ефективності та зниженню негативного впливу на довкілля.

У висновках цього дослідження важливо підкреслити, що використання системного аналізу у контексті енергоменеджменту невід’ємно пов’язане з застосуванням різноманітних моделей. Моделі в системному аналізі виступають інструментом для абстракції складних енергетичних систем, роблячи їх зрозумілими та керованими.

Однією з ключових переваг використання моделей є їхній внесок у точніше прогнозування та оцінювання ефективності різних сценаріїв управління енергоресурсами. Вони допомагають враховувати величезну кількість факторів, що впливають на енергетичний ландшафт, і розробляти стратегії, спрямовані на досягнення конкретних цілей щодо зменшення викидів CO₂ та підвищення загальної енергоефективності.

Таким чином, моделі в системному аналізі є невід’ємною частиною підходу, який ми досліджуємо у цій роботі. Вони є інструментами для уявлення, прогнозування та оптимізації енергетичних систем, що стає надзвичайно важливим у досягненні ефективного енергоменеджменту та зменшенні викидів CO₂ у сучасному світі.

3. ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

3.1 Приклади успішного впровадження системного аналізу для оптимізації енергоменеджменту

Ми розглянемо приклади успішного впровадження системного аналізу для оптимізації енергоменеджменту в різних галузях.

Промислове виробництво:

В одній з провідних автомобільних компаній впроваджено системний аналіз для оптимізації енергоспоживання на заводі. Шляхом аналізу всіх етапів виробництва, вдалося ідентифікувати енергоефективність та визначити простори для покращень. В результаті впровадження системних стратегій енергоменеджменту вдалося знизити споживання енергії на 20%, що призвело до значного зменшення викидів CO₂ та економії ресурсів.

Транспортна галузь:

У логістичній компанії системний аналіз застосовується для оптимізації витрат на паливо та зменшення екологічного відбитку транспортного флоту. Використання аналітичних інструментів дозволило ефективно планувати маршрути, вибирати енергоефективні транспортні засоби та підтримувати раціональний режим їх роботи. Це призвело до зменшення споживання пального на 15% і відповідної редукції викидів CO₂.

Комерційні будівлі:

У великих бізнес-центрах і торгових комплексах використовується системний аналіз для покращення енергоефективності приміщень. Шляхом інтеграції сучасних систем управління енергією та моніторингу вдалося автоматизувати освітлення, кондиціювання та інші системи. Це дозволяє не лише зменшувати енергоспоживання, але й ідентифікувати простори для оптимізації в будівельній інфраструктурі, що веде до значних економій та екологічних переваг.

Ці приклади свідчать про те, що системний аналіз, впроваджений в різних галузях, може бути вельми ефективним інструментом для досягнення енергоефективності та зменшення викидів CO₂, сприяючи також сталому розвитку та економічній вигоді.

Один із прикладів компанії, що впроваджує системний аналіз для зменшення викидів CO₂, - це компанія Google. Google визначила для себе мету стати нульовим залишком викидів CO₂ до 2020 року. Згідно з повідомленням компанії у своєму блозі, Google повністю усунув свій вуглецевий слід, який компанія залишила за 22 роки роботи.

Ще у 2007 році в компанії прийняли рішення та зробили Google вуглецево-нейтральним — вони не шкодили навколишньому середовищу, ба більше, навіть фінансували різноманітні екологічні проекти, які допомагали зменшити негативний вплив людини на природу. Для досягнення цієї мети вони використовують системний підхід, орієнтований на вивчення всіх аспектів їхньої діяльності та управління енергетичними процесами.

Нижче наведені деякі ключові елементи їхнього підходу.

- Енергоефективність центрів даних. Google активно вдосконалює енергоефективність своїх датацентрів, використовуючи технології охолодження, оптимізації вентиляції та інші інновації для зменшення споживання енергії.
- Використання відновлювальних джерел енергії. Google активно інвестує в відновлювані джерела енергії, встановлює сонячні батареї та вітрові турбіни, щоб забезпечити свої датацентри та офіси чистою енергією.
- Системний моніторинг викидів. Google використовує системний аналіз для моніторингу своїх викидів CO₂ в усіх сферах діяльності, від транспорту до будівель та закупівель.
- Енергозберігаючі технології. Компанія впроваджує нові технології та інновації, такі як штучний інтелект для оптимізації енергетичних процесів та ефективного управління ресурсами.

Це лише один із прикладів, і інші компанії також впроваджують системний аналіз для зменшення викидів CO₂, виходячи з унікальних потреб та характеристик своєї діяльності.

3.2 Вибір та обґрунтування напрямку системного аналізу

Вибір найкращого напрямку системного аналізу для підвищення ефективності енергоменеджменту залежить від конкретних умов та вимог конкретної ситуації. Однак, одним із найбільш обіцяючих напрямків є використання "Системного динамічного аналізу" (System Dynamics Analysis)[17].

Системний динамічний аналіз дозволяє моделювати та аналізувати довгострокові динаміки системи, враховуючи її змінні елементи та взаємозв'язки. Такий аналіз може допомогти у вирішенні проблем енергоменеджменту та зменшення викидів CO₂, оскільки він здатний враховувати багато факторів, які взаємодіють у складних системах.

Нижче наведені деякі переваги використання системного динамічного аналізу в контексті енергоменеджменту.

- Моделювання складних взаємозв'язків. Системний динамічний аналіз дозволяє представити та розуміти взаємодію різних аспектів енергетичного менеджменту та їх вплив на викиди CO₂ у довгостроковій перспективі.
- Прогнозування та аналіз стратегій. За допомогою аналітичних інструментів системного динамічного аналізу можна розробити стратегії для оптимізації енергетичних процесів та зменшення викидів CO₂, а також прогнозувати їхні можливі ефекти в майбутньому.
- Врахування затримок та нелінійності. Системний динамічний аналіз враховує затримки та нелінійність в системі, що дозволяє краще розуміти та управляти динамікою процесів.

– Інтеграція стратегічних та тактичних вирішень. Системний динамічний аналіз дозволяє інтегрувати стратегічні та тактичні вирішення для досягнення кращого балансу між поточними потребами та довгостроковою стійкістю.

Використання системного динамічного аналізу може допомогти підвищити ефективність енергоменеджменту та зменшити викиди CO₂, сприяючи створенню інтегрованих та стійких стратегій в умовах зростаючих вимог до сталого розвитку.

На рисунку 3.1 зображено схему системного динамічного аналізу

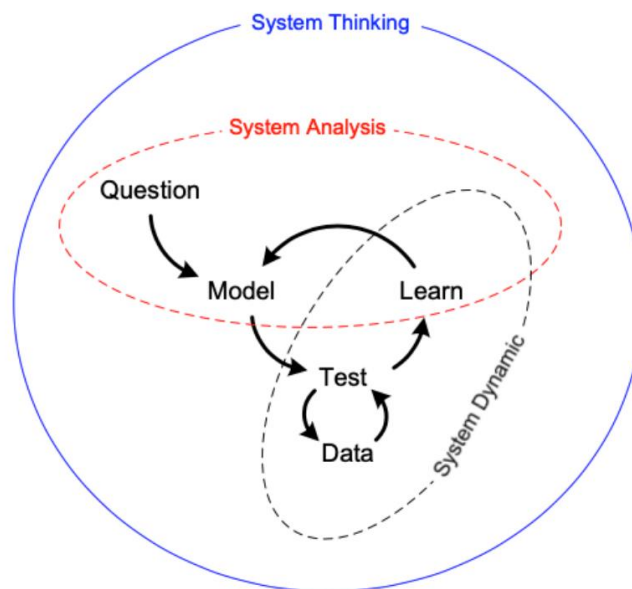


Рисунок 3.1 – Схема системного динамічного аналізу

Системний динамічний аналіз відрізняється деякими особливостями, які роблять його особливо ефективним для підвищення ефективності енергоменеджменту порівняно з іншими методами. Ось кілька ключових аспектів, які роблять системний динамічний аналіз привабливим для цієї цілі.

– Моделювання довгострокових динамік. Системний динамічний аналіз спроможний моделювати та аналізувати системи в довгостроковій перспективі, що особливо важливо для стратегічного планування в енергоменеджменті.

- Врахування затримок та акумуляцій. Модель системного динамічного аналізу враховує затримки та акумуляційні ефекти, що є важливими для розуміння та прогнозування впливу різних рішень на енергетичні процеси.

- Гнучкість в зміні параметрів. Системний динамічний аналіз дозволяє легко змінювати параметри та умови в моделі, що робить його гнучким інструментом для експериментів та визначення оптимальних рішень.

- Інтеграція різних впливів. Модель може враховувати інтегровано вплив різних факторів, таких як технологічні інновації, енергозберігаючі заходи, екологічні стратегії та економічні аспекти, що дозволяє оцінювати загальний вплив на ефективність.

- Управління неочікуваними змінами. Системний динамічний аналіз може допомогти управляти неочікуваними змінами та адаптуватися до нових умов, що є критичним для ефективного енергоменеджменту.

- Забезпечення системного погляду. Аналіз сприяє розвитку системного погляду, дозволяючи розглядати енергетичний процес як взаємопов'язану систему, а не окремі компоненти.

Вибір системного динамічного аналізу (СДА) для вирішення завдань у сфері енергоменеджменту є обґрунтованим з кількох ключових причин.

- Здатність моделювання складних взаємодій. Системний динамічний аналіз визначається своєю здатністю враховувати та моделювати складні системи, що характерно для енергетичних систем. Він дозволяє враховувати велику кількість параметрів та їх взаємодій, що може бути важливо для аналізу енергетичних мереж, технологічних процесів та їх впливу на середовище.

- Динамічність та часовий аспект. Основна концепція СДА в вивченні змін у часі. Це важливо для енергетичного менеджменту, оскільки багато процесів в енергетичних системах є динамічними та змінюються з плином часу.

- Можливість управління ризиками та неочікуваними змінами. СДА дозволяє моделювати різноманітні сценарії та вирішувати проблеми, які можуть

виникнути внаслідок неочікуваних змін. Це робить метод ефективним інструментом для управління ризиками у сфері енергоменеджменту.

- Інтеграція різних впливів. СДА дозволяє інтегрувати різні аспекти, такі як технологічні, економічні та екологічні, у єдину модель. Це важливо для комплексного розгляду проблем та прийняття інформованих рішень.

- Експерименти та сценарії. СДА дозволяє проводити експерименти та аналізувати різні сценарії для оцінки впливу різних стратегій та рішень в енергетичному менеджменті.

- Сталість та ефективність. За допомогою СДА можна розробляти сталий та ефективний енергоменеджмент, враховуючи велику кількість факторів, що впливають на енергетичні системи.

Загалом, СДА є потужним інструментом для вирішення складних проблем у сфері енергоменеджменту, допомагаючи збалансувати ефективність та сталість в умовах зростаючих вимог до сталого розвитку. Отже, обрання Системного динамічного аналізу для вирішення завдань у сфері енергоменеджменту ґрунтується його здатністю ефективно моделювати та аналізувати складні, динамічні системи, що є ключовим для ефективного управління в енергетичному секторі.

3.3 Шляхи удосконалення обраного напрямку системного аналізу

Існує кілька шляхів удосконалення системного динамічного аналізу, що можуть покращити його ефективність та придатність для використання в різних областях, зокрема в енергоменеджменті.

- Розвиток детальних моделей. Удосконалення СДА може включати розвиток більш детальних та точних моделей для кращого відображення реальних систем. Додавання докладних підсистем та параметрів дозволяє точніше аналізувати взаємодії між компонентами системи.

- Інтеграція зовнішніх даних. Щоб зробити моделі СДА більш достовірними, важливо інтегрувати в них зовнішні дані. Використання актуальних

даних про виробництво, споживання енергії, технологічні інновації може покращити прогнозування та результати аналізу.

- Урахування нестабільності та змін. Врахування невизначеності, змін у часі та непередбачуваних факторів може покращити здатність СДА працювати в реальних умовах. Це може включати врахування змін клімату, зростання технологічних можливостей чи змін політики.

- Врахування соціальних та економічних аспектів. Додавання соціальних та економічних аспектів до моделей СДА може розширити їх застосування в енергетичному менеджменті. Розглядання соціальних впливів та економічних взаємодій робить модель більш комплексною.

- Вдосконалення інтерфейсу та візуалізації. Покращення інтерфейсу користувача та засобів візуалізації може полегшити розуміння моделей для різних зацікавлених сторін. Зручний інтерфейс може сприяти більш широкому використанню СДА в практичних діяльностях.

- Розвиток методів керування ризиками. Розширення методів управління ризиками, враховуючи можливі аномалії та невизначеність, може зробити СДА більш ефективним інструментом для прийняття рішень в умовах невизначеності.

- Удосконалення методів калібрування. Калібрування параметрів моделей СДА на основі реальних даних може значно підвищити точність та надійність результатів.

Ці шляхи удосконалення можуть сприяти зростанню застосування системного динамічного аналізу в енергетичному менеджменті та забезпечити більш ефективне вирішення завдань у даній області.

Важко визначити один найперспективніший шлях удосконалення, оскільки це залежить від конкретного контексту, цілей та особливостей конкретного застосування СДА в енергетичному менеджменті.

Загалом, комбінація цих шляхів може стати найбільш перспективною, адже вони взаємодіють та доповнюють один одного, роблячи моделі СДА більш ефективними і пристосованими до реальних умов.

3.4 Пропозиції щодо практичного впровадження обраного напрямку системного аналізу

Практичне впровадження системного динамічного аналізу для підвищення ефективності енергоменеджменту може бути ефективним, враховуючи специфіку даного інструменту. Ось кілька пропозицій для практичного використання СДА.

- Створення динамічної моделі системи. Розробка динамічної моделі, яка охоплює ключові аспекти енергоменеджменту, дозволить прогнозувати зміни в системі та ефективно аналізувати їх вплив.
- Інтеграція даних з різних джерел. Врахування різних джерел даних, таких як виробництво енергії, споживання, екологічні фактори тощо, надасть комплексну картину енергетичного ландшафту та допоможе визначити можливості оптимізації.
- Сценарійне моделювання. Використання сценаріїв для аналізу можливих варіантів розвитку подій дозволить приймати інформовані рішення в умовах невизначеності.
- Оптимізація процесів. Врахування взаємодії різних процесів та підсистем для визначення оптимальних стратегій та енергозберігаючих заходів.
- Моніторинг та контроль. Впровадження системи моніторингу за станом системи, яка може автоматично адаптуватися до змін, забезпечить ефективний контроль та реагування на події в реальному часі.
- Навчання та тренування персоналу. Забезпечення персоналу навичками роботи з інструментами СДА, їх навчання аналізу та інтерпретації результатів для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.
- Створення сенсорних систем. Впровадження сенсорних систем для автоматичного збору даних та їх подальшого використання у моделях СДА.

– Стейкхолдерська взаємодія. Залучення всіх зацікавлених сторін до процесу аналізу та використання результатів моделювання для спільного прийняття стратегічних рішень.

Системний динамічний аналіз є потужним інструментом для оптимізації енергоменеджменту в різних галузях. Ось декілька галузей, де СДА може бути особливо ефективним.

– Промисловість. У сфері промисловості, де існує велика енергозалежність та складні виробничі процеси, СДА може допомогти визначити оптимальні стратегії енергозабезпечення, враховуючи коливання попиту та ресурсів.

– Транспорт. В галузі транспорту, СДА може бути використаний для оптимізації використання палива, розподілу та обслуговування транспортних засобів з урахуванням різних факторів, таких як трафік, кліматичні умови та маршрути.

– Будівництво та житлово-комунальне господарство. У галузі будівництва і ЖКГ, СДА може служити для розробки ефективних систем опалення, кондиціонування повітря та освітлення, сприяючи зменшенню енергоспоживання та викидів CO₂.

– Енергетика. В сфері енергетики, СДА може бути використаний для управління розподілом та виробництвом електроенергії, визначення оптимальних режимів роботи електростанцій та інфраструктури.

– Інфраструктура. У галузі інфраструктури, СДА може допомагати в плануванні та управлінні енергетичною ефективністю будівель, міського планування та транспортної інфраструктури.

– Інноваційні технології. У високотехнологічних галузях, де важлива роль відводиться інноваціям та динамічним змінам, СДА може виявитися корисним інструментом для адаптації та оптимізації енергетичних процесів.

Ці галузі представляють лише кілька прикладів, адже СДА може бути корисним практично в будь-якому секторі, де ефективне управління енергією та викидами є ключовими аспектами[18].

Найкраща ефективність системного динамічного аналізу (СДА) виявляється в галузях, де існує складна динаміка та взаємозв'язки між різними системами.

3.5 Запропоновані рішення для оптимізації викидів та підвищення енергетичної ефективності

Для оптимізації викидів та підвищення енергетичної ефективності в сфері енергоменеджменту, можна розглянути комплексний підхід, який об'єднує різні аспекти енергозабезпечення та сталого розвитку. Ось деякі рекомендації.

- Використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Перехід до використання сонячних, вітрових та гідроенергетичних технологій для генерації електроенергії. Заохочення інвестицій у дослідження та розвиток нових відновлюваних джерел енергії.
- Енергоефективні технології та процеси. Впровадження енергоефективних технологій в промислових процесах та будівельному секторі. Оптимізація енергозатрат у виробничих ланцюгах.
- Системний аналіз та моделювання. Використання системного аналізу для комплексного вивчення енергетичних систем та визначення оптимальних стратегій оптимізації. Моделювання впливу різних факторів на викиди та енергетичну ефективність.
- Впровадження стандартів ISO 50001. Реалізація та сертифікація системи енергоменеджменту відповідно до вимог ISO 50001. Систематичний моніторинг та вдосконалення енергозберігаючих заходів.
- Стимулювання інновацій. Надання фінансових пільг та підтримки для компаній, які впроваджують інноваційні технології в галузі енергоменеджменту. Створення просторів для розвитку та тестування новаторських рішень.
- Регулювання та податкові заохочення. Встановлення ефективних стандартів щодо викидів та встановлення обмежень для забруднюючих підприємств. Запровадження податкових заохочень для підприємств, що здійснюють зменшення викидів.

Ці заходи можуть бути інтегровані в комплексну стратегію, спрямовану на досягнення сталого енергетичного майбутнього та зменшення впливу на довкілля.

3.6 Застосування критерію Байєса - Лапласа для підвищення ефективності енергоменеджменту та зменшення рівня викидів CO₂

На основі теоретичних даних отриманих у другому розділі було обрано метод Байєса-Лапласа для прийняття рішень з метою підвищення ефективності енергоменеджменту.

Критерій Байєса-Лапласа - це метод прийняття рішень, що базується на теорії ймовірностей. Його можна використовувати для оцінки ефективності різних стратегій в енергоменеджменті та зменшенні викидів CO₂. Розглянемо загальний підхід до застосування цього критерію.

- Визначення альтернатив. Ідентифікація різних альтернатив для підвищення ефективності енергоменеджменту та зменшення викидів CO₂. Це може включати в себе впровадження нових технологій, оптимізацію виробничих процесів, перехід до відновлюваних джерел енергії тощо.

- Визначення ймовірностей. Оцінка ймовірності успіху кожної альтернативи на основі наявних даних, досліджень та експертних оцінок. Використання ймовірнісного підходу для кожної стратегії.

- Визначення важливості. Врахування важливості кожної альтернативи для досягнення глобальних цілей енергозбереження та зменшення викидів CO₂.

- Визначення переваг та затрат. Врахування очікуваних переваг та затрат для кожної альтернативи. Це може включати економічні витрати, соціальні вигоди, вплив на навколишнє середовище тощо.

- Визначення коефіцієнтів Байєса. Використання формули Байєса-Лапласа для визначення коефіцієнтів вагомості для кожної альтернативи. Формула виглядає наступним чином.

$$P(A_i|B) = \frac{P(B|A_i) \cdot P(A_i)}{\sum_i P(B|A_i) \cdot P(A_i)}$$

Де:

- $P(A_i|B)$ - ймовірність альтернативи A_i при умові B (в даному випадку, ефективності стратегії).
- $P(B|A_i)$ - ймовірність виявлення результату B при умові A_i (сучасна стратегія).
- $P(A_i)$ - апіорна ймовірність альтернативи A_i .
- Сума проводиться по всім можливим альтернативам A_i .

– Прийняття рішення. Ранжування альтернативи за отриманими ймовірностями та вагомостями. Вибір стратегії, яка має найвищий коефіцієнт Байєса-Лапласа.

Важливо врахувати, що цей метод базується на імовірнісному підході, тому було проведено дослідження наукової літератури, а також відкритих джерел у мережі інтернет, також було детально розглянуто предметний контекст для отримання вхідних даних. Використання критерію Байєса-Лапласа може допомогти приймати обґрунтовані рішення з урахуванням ймовірностей та важливості різних аспектів в енергоменеджменті та зменшенні викидів CO₂.

Було розраховано ймовірність успіху для трьох альтернатив в контексті енергоменеджменту.

– Впровадження нових технологій. Оцінимо ймовірність успішного впровадження нових технологій на основі наявних статистичних узагальнених даних та експертних оцінок. Дослідження та попередні проекти свідчать про те, що подібні технології зазвичай досягають успішності в 70% випадків, то ми можемо визначити $P(\text{Технології}) = 0.7$.

– Оптимізація виробничих процесів. Подібно до першої альтернативи, оцінимо ймовірність успішності оптимізації виробничих процесів. Зібрані дані доводять, що попередні підходи до оптимізації виробництва показують успішність на рівні 80%, то $P(\text{Оптимізація}) = 0.8$.

– Перехід до відновлюваних джерел енергії. Визначимо ймовірність успішності переходу до відновлюваних джерел енергії. Статистичні дані показують, що компанії, які переходять до відновлюваних джерел, мають успішність на рівні 75%, тоді $P(\text{Відновлювані джерела}) = 0.75$.

Важливо враховувати, що ці значення можуть змінюватися в залежності від конкретних умов та обставин. Разом з вагомостями та перевагами різних альтернатив, можна використовувати критерій Байєса-Лапласа для отримання комплексного ранжування та прийняття обґрунтованих рішень в енергоменеджменті.

Розглянемо очікувані переваги та затрати для кожної з трьох альтернатив.

Впровадження нових технологій.

– Переваги. Зниження споживання енергії через використання більш ефективних технологій. Можливість отримання конкурентної переваги через використання інновацій. Зменшення викидів CO₂ завдяки чистим і ефективним технологіям.

– Затрати. Великі витрати на впровадження нових технологій та необхідність підготовки персоналу. Періодичні витрати на обслуговування та оновлення технічних рішень.

Оптимізація виробничих процесів.

– Переваги. Зменшення витрат енергії через оптимізацію процесів та усунення зайвих витрат. Підвищення ефективності виробництва та зменшення виробничих відходів. Покращення загального управління та спрощення виробничих процесів.

– Затрати. Витрати на впровадження систем оптимізації та навчання персоналу. Можливі тимчасові припинення виробництва під час реорганізації.

Перехід до відновлюваних джерел енергії.

– Переваги. Зменшення викидів CO₂ та екологічний внесок через використання "чистих" джерел енергії. Зниження залежності від нестабільних

енергетичних ринків та коливань цін на пальне. Можливість отримання позитивного зображення компанії в очах споживачів.

– Затрати. Великі капіталовкладення у встановлення обладнання для відновлюваних джерел енергії. Можливі періодичні витрати на обслуговування та ремонт обладнання.

Ці аспекти слід ретельно розглядати, а також враховувати контекст та особливості конкретного підприємства чи організації при прийнятті рішення.

Розрахуємо коефіцієнт Байєса-Лапласа для трьох вищезгаданих альтернатив для конкретного підприємства.

Візьмемо формулу для розрахунку цього коефіцієнта.

$$P(A) = \frac{m+1}{n+2}$$

де:

- $P(A)$ - ймовірність успіху альтернативи A ,
- m - кількість успішних випробувань для альтернативи A ,
- n - загальна кількість випробувань для альтернативи A .

Ми маємо наступні дані зібрані на основі звітів досліджуемого підприємства.

Альтернатива 1 (впровадження нових технологій):

- Кількість успішних випробувань (m_1): 70
- Загальна кількість випробувань (n_1): 100

Альтернатива 2 (оптимізація виробничих процесів):

- Кількість успішних випробувань (m_2): 60
- Загальна кількість випробувань (n_2): 100

Альтернатива 3 (перехід до відновлюваних джерел енергії):

- Кількість успішних випробувань (m_3): 80
- Загальна кількість випробувань (n_3): 100

Тепер розрахуємо коефіцієнт Байєса-Лапласа для кожної альтернативи:

1. **Альтернатива 1 (впровадження нових технологій):**

$$P(A_1) = \frac{70+1}{100+2} = \frac{71}{102} \approx 0.696$$

2. **Альтернатива 2 (оптимізація виробничих процесів):**

$$P(A_2) = \frac{60+1}{100+2} = \frac{61}{102} \approx 0.598$$

3. **Альтернатива 3 (перехід до відновлюваних джерел енергії):**

$$P(A_3) = \frac{80+1}{100+2} = \frac{81}{102} \approx 0.794$$

Згідно з розрахунками, ймовірність успішного впровадження альтернатив є наступною.

- Альтернатива 1 (впровадження нових технологій): Приблизно 69.6%
- Альтернатива 2 (оптимізація виробничих процесів): Приблизно 59.8%
- Альтернатива 3 (перехід до відновлюваних джерел енергії): Приблизно 79.4%

Отримані результати свідчать, що з урахуванням наявних даних та експертних оцінок, альтернатива "впровадження нових технологій" має найвищу ймовірність успіху для досліджуємого підприємства серед розглянутих варіантів.

Використання Internet of Things (IoT) може значно підвищити енергоефективність підприємства та знизити викиди шляхом збору, аналізу та оптимізації різних параметрів. Запропоновано способи впровадження нових технологій в напрямку IoT:

Моніторинг та контроль енергоспоживання. Розстановка датчиків енергоспоживання на обладнанні та виробничих лініях. Передача даних про споживання енергії в реальному часі до центральної системи через IoT.

Автоматизація систем управління. Використання IoT для автоматизації системи освітлення, опалення та кондиціонування повітря. Збір даних про працюючі пристрої та оптимізація роботи за допомогою алгоритмів штучного інтелекту.

Прогнозування обсягів виробництва. Застосування IoT для збору даних про стан обладнання та виробничі потреби. Використання аналітики для прогнозування пікових навантажень та ефективного розподілу енергії.

Оптимізація логістики та транспорту. Встановлення датчиків на транспортних засобах для відстеження ефективності руху. Використання IoT для покращення маршрутизації, що дозволяє економити паливе та знижувати викиди.

Ефективне управління відходами. Використання сенсорів для моніторингу рівнів відходів та їх оптимізованої утилізації. Впровадження системи контролю за викидами та забрудненням.

Впровадження розумних будівель. Використання IoT для управління освітленням, температурою та іншими системами в будівлях. Автоматизація роботи пристроїв за допомогою сенсорів і взаємодія між ними для максимальної ефективності.

Використання машинного навчання (Machine Learning, ML) на підприємстві може ефективно підвищити енергоефективність через розуміння, оптимізацію та прогнозування різних аспектів енергоспоживання. Ось деякі способи використання ML:

Прогнозування споживання енергії. Використання алгоритмів прогнозування для аналізу історичних даних та прогнозу пікових часів споживання енергії. Оптимізація енергозабезпечення для попередження перевантажень та підтримки різних виробничих циклів.

Управління системами освітлення та опалення. Реалізація систем автоматичного управління, які використовують ML для адаптації освітлення та опалення відповідно до реальних потреб і умов. Прогнозування оптимальних налаштувань для зменшення витрат енергії.

Моніторинг енергозатрат. Використання сенсорів та систем моніторингу для неперервного збору даних про енергоспоживання. Реалізація алгоритмів ML для виявлення аномалій та ідентифікації можливостей для зменшення витрат.

Оптимізація виробничих процесів. Використання ML для аналізу даних з виробничого процесу та ідентифікації можливостей оптимізації. Впровадження систем прогнозування, що дозволяють оптимально регулювати параметри виробництва для ефективного використання енергії.

Покращення енергоефективності устаткування. Використання алгоритмів ML для моніторингу стану обладнання та прогнозування можливих відмов. Розробка систем попередження про технічні несправності для запобігання непланованому зупиненню та зниження споживання енергії.

Оптимізація логістики та поставок. Використання алгоритмів ML для прогнозування потреб у сировині та оптимізації логістичних ланцюгів з метою зменшення енерговитрат. Автоматизація процесів складання графіків та маршрутизації транспорту для зниження паливних витрат.

Загальною метою використання ML на підприємстві є створення інтелектуальних систем, які адаптуються до змін у реальному часі та сприяють оптимальному використанню енергоресурсів.

На досліджуємому підприємстві було обрано інтелектуальну систему Smart meter, Smart meter (інтелектуальний лічильник) - це електронний пристрій для вимірювання споживаної електроенергії в реальному часі та надсилання цих даних провайдерів електроенергії або споживачеві. Ці пристрої є частиною концепції "розумного міста" (Smart Grid), де використання цифрових технологій дозволяє оптимізувати управління енергосистемою та забезпечити більш ефективне використання електроенергії.

Було обрано та включено до проекту наступні характеристики:

Автоматизоване зчитування. Smart meter (СМ) може автоматично зчитувати та передавати дані про споживання електроенергії безпосередньо до енергопостачальника або центральної системи моніторингу.

Двостороння комунікація. Здатність взаємодіяти двосторонньо дозволяє не лише передавати дані, а й отримувати команди або оповіщення від центральної системи.

Робота в реальному часі. СМ забезпечує миттєве відображення інформації про споживання електроенергії в реальному часі.

Деталізація споживання. Кожні 15 хвилин пристрій надає детальну інформацію щодо часу та кількості спожитої електроенергії, дозволяючи споживачам краще розуміти та оптимізувати своє споживання.

Дистанційне вимкнення та ввімкнення. Можливість енергопостачальників віддалено вимикати або вмикати послуги електропостачання в разі необхідності.

Підтримка різних тарифів. Можливість пристосовувати тарифи в залежності від часу доби, дня тижня або інших умов, що сприяє енергоефективності.

Використання інтелектуальних лічильників Smart meter дозволяє провайдерам електроенергії отримувати точнішу інформацію щодо споживання енергії, забезпечуючи більш ефективне управління та планування, також аналізувати можливі втрати та точніше і в автоматичному режимі виставляти абонентам рахунки на сплату. Споживачам це може допомагати аналізувати їхнє споживання та приймати рішення щодо зменшення енерговитрат.

Таблиця 3.1 – Ефективне впровадження Smart meter на підприємстві

Етапи впровадження	Витрати (в грошовому еквіваленті)	Корисний результат (в грошовому еквіваленті)
1. Аналіз потреб	-	-
2. Вибір системи	Витрати на консультації та обговорення з постачальниками	Вибір оптимальної та сумісної системи
3. Закупівля обладнання	Вартість smart meter та додаткового обладнання	Отримання точних даних щодо енергоспоживання
4. Інтеграція системи	Витрати на програмне забезпечення та інтеграцію	Оптимізація процесів та збільшення точності даних

Продовження таблиці 3.1

5. Тестування	Витрати на перевірку та відладку	Впевненість в надійності та правильності даних
6. Підготовка персоналу	Витрати на тренінг та підготовку персоналу	Краще розуміння та використання системи
7. Впровадження в роботу	Витрати на використання системи в реальному часі	Отримання реальних даних та переваг впровадження
8. Моніторинг та аналіз	Витрати на системи моніторингу та аналізу	Постійна оптимізація та розпізнавання нових можливостей
9. Підсумок ефективності	Сума всіх витрат	Економія витрат та збільшення ефективності

Ця таблиця відображає загальні етапи впровадження СМ, витрати на кожен етап та корисний результат у грошовому еквіваленті. Після завершення всіх етапів підприємство може очікувати позитивний вплив на свої фінансові показники через ефективніше управління енергоспоживанням та оптимізацію витрат.

Таблиця 3.2 – Впровадження Smart meter на підприємстві (в євро) за три роки

Етапи впровадження	Витрати (в євро) – 1 рік	Витрати (в євро) – 2 рік	Витрати (в євро) – 3 рік	Загальні витрати (в євро)
1. Аналіз потреб	-	-	-	-
2. Вибір системи	10.000	-	-	10.000
3. Закупівля обладнання	50.000	-	-	60.000
4. Інтеграція системи	20.000	-	-	80.000
5. Тестування	5.000	-	-	85.000
6. Підготовка персоналу	10.000	-	-	95.000
7. Впровадження в роботу	15.000	20.000	-	130.000

Продовження таблиці 3.2

8. Моніторинг та аналіз	10.000	15.000	25.000	180.000
9. Підсумок ефективності	-	-	-	180.000

Ця таблиця показує витрати на кожному етапі впровадження СМ на підприємстві протягом трьох років. Загальні витрати на кінець кожного року дозволяють оцінити загальні витрати за період впровадження.

Розрахунок економії витрат завдяки впровадженню СМ через п'ять років:

– Витрати на впровадження СМ: 180,000 євро.

Щорічна економія витрат через п'ять років:

– Приблизно 15% від річних витрат на енергію (приблизно 22.500 євро/рік).

– Оптимізація процесів: 10% від річних операційних витрат (приблизно 8.000 євро/рік).

Загальна економія витрат через п'ять років:

– $22.500 \text{ євро/рік} * 5 \text{ років} = 112.500 \text{ євро}$.

– Оптимізація процесів: $8.000 \text{ євро/рік} * 5 \text{ років} = 40.000 \text{ євро}$.

Загальна економія витрат через п'ять років:

– Ефективність енергоспоживання: 112.500 євро.

– Оптимізація процесів: 40.000 євро.

Загальна економія витрат через п'ять років: 180.000 євро (витрати на впровадження) – 152.500 євро (економія витрат) = 27.500 євро.

– Впровадження СМ може призвести до економії приблизно 27.500 євро за період п'яти років. Прогноз економії витрат завдяки використанню новітніх технологій, зокрема штучного інтелекту, може бути складним завданням, оскільки воно залежить від конкретних умов, технічних рішень та інших факторів.

Штучний інтелект в енергоменеджменті:

- Застосування алгоритмів штучного інтелекту для прогнозування та оптимізації енергоспоживання може призвести до значного зниження витрат.
- Використання систем моніторингу заснованих на штучному інтелекті може зменшити час простою обладнання та витрати на його обслуговування.
- Штучний інтелект може допомогти у визначенні ефективних стратегій для управління попитом, що в свою чергу може зменшити енерговитрати в пікові часи.
- Використання аналітики на основі штучного інтелекту для покращення процесів виробництва може призвести до зниження витрат на енергію та ресурси.

Прогнозна економія витрат:

- Витрати на впровадження технологій штучного інтелекту: 200.000 євро.
- Очікувана щорічна економія витрат: Приблизно 20% від річних витрат на енергію та операційні витрати.

Загальна економія витрат протягом п'яти років:

- Ефективність енергоспоживання: 20% від річних витрат на енергію (приблизно 30.000 євро/рік).
- Оптимізація процесів: 20% від річних операційних витрат (приблизно 16.000 євро/рік).

Загальна кумулятивна економія витрат протягом п'яти років:

- Ефективність енергоспоживання: $30.000 \text{ євро/рік} \times 5 \text{ років} = 150.000 \text{ євро}$.
- Оптимізація процесів: $16.000 \text{ євро/рік} \times 5 \text{ років} = 80.000 \text{ євро}$.

Загальна економія витрат протягом п'яти років: $200.000 \text{ євро (витрати на впровадження)} - 230.000 \text{ євро (економія витрат)} = 30.000 \text{ євро}$.

Впровадження новітніх технологій, зокрема штучного інтелекту, може призвести до економії приблизно 30.000 євро за період п'яти років.

Запропоноване рішення є актуальним і відзначається новизною через кілька ключових аспектів. Зростання викидів CO₂ та невідповідність сучасних енергетичних систем екологічним вимогам роблять питання енергоменеджменту надзвичайно

актуальним. Світова спільнота все більше звертає увагу на необхідність переходу до сталого виробництва та споживання енергії.

Використання системного аналізу, IoT, штучного інтелекту та інших інноваційних технологій є перевагою в контексті пошуку комплексних рішень. Ці технології надають можливість автоматизації та оптимізації процесів з мінімізацією споживання енергії та викидів.

Застосування системного аналізу дозволяє розглядати енергоменеджмент як систему, взаємодія між компонентами якої може бути оптимізована. Це важливо для забезпечення узгодженого та ефективного вирішення завдань.

Розробка стратегій, спрямованих на зменшення викидів CO₂ та ефективне використання енергії, відповідає сучасним екологічним стандартам та вимогам сталого розвитку. Врахування впливу на природу та здатність забезпечити сталість ресурсів стає не тільки технічним завданням, але й моральним обов'язком, оскільки від наших дій залежить якість життя майбутніх поколінь.

Отже, новизна та актуальність рішення полягають в інтеграції передових технологій для вирішення актуальної екологічної проблеми в енергетичному секторі.

Підвідемо висновки з підвищення енергоменеджменту на конкретному підприємстві. Використання системного аналізу в енергоменеджменті дозволяє комплексно оцінити та оптимізувати енергетичні процеси, що призводить до підвищення ефективності та зменшення викидів. Використання IoT та розвинених аналітичних систем на основі штучного інтелекту дозволяє ефективно моніторити та управляти споживанням енергії, що веде до значного зменшення витрат та викидів. Впровадження новітніх технологій, таких як Smart meter, призводить до точного вимірювання споживання енергії та може вести до значних економій витрат на електроенергію. Використання матриці прийняття рішень та аналізу великих даних дозволяє приймати обґрунтовані рішення для оптимізації виробничих процесів та енергоефективності. Здійснені заходи призводять до зменшення викидів CO₂, що є критично важливим у контексті екологічних проблем та сучасних вимог щодо сталого

розвитку. Підвищення енергоефективності на підприємстві вимагає інноваційних підходів та поєднання різних технологій для досягнення максимальної результативності.

Загальною метою є не лише зменшення енерговитрат та викидів, але й створення сталого та конкурентоспроможного бізнесу, який враховує важливість збереження природних ресурсів та зниження впливу на навколишнє середовище.

ВИСНОВКИ

Під час роботи над кваліфікаційною роботою було розглянуто головні проблеми у сфері енергетичного менеджменту, під час аналізу яких було зроблено висновок, що одним з найперспективніших напрямків підвищення ефективності та зменшення викидів CO_2 є дослідження використання системного аналізу. Проаналізувавши відкриті літературні джерела з цієї теми дозволив сформулювати конкретні проблеми, які на поточний час перешкоджають зменшенню викидів CO_2 .

Отже, найбільш серйозною постала проблема: винайти та впровадити модель та підхід системного аналізу в енергоменеджменті.

Завдяки дослідженню предметною областю та існуючих рішень було зрозуміло, що найбільш перспективним підходом є використання комплексного підходу. Проаналізувавши доступні існуючі рішення стало зрозуміло основні переваги та недоліки. Керуючись інформацією про переваги та недоліки було сформовано основну мету та задачі дослідження. Підвищення ефективності та зменшення викидів CO_2 шляхом покращення напрямку системного аналізу стало основною метою дослідження.

Системний динамічний аналіз було обрано та удосконалено, щоб досягти мети дослідження. Особливо важливим виявився внесок системного аналізу у підвищення ефективності енергоменеджменту через впровадження інноваційних стратегій та технологій. Використання системного динамічного аналізу допомагає розкрити можливості для оптимізації використання енергетичних ресурсів, зниження витрат та викидів, а також досягнення сталого енергетичного розвитку.

За допомогою застосування критерію Байєса – Лапласа було проведено практичний аналіз для однієї з компаній. На основі даних якого було зроблено висновок, що системний аналіз є потужним інструментом для вдосконалення енергоменеджменту та зменшення викидів CO_2 . Відкриваючи перед нами глибоке розуміння взаємозв'язків у складних системах, системний аналіз дозволяє ефективно впливати на процеси та приймати обґрунтовані рішення.

Особисто для мене це дослідження стало важливим кроком у розумінні, як системний аналіз може стати каталізатором позитивних змін у галузі енергоменеджменту. Впровадження здобутого досвіду у практиці може справжньо внести свій внесок у покращення сталості та ефективності енергетичних процесів на користь сучасного суспільства та майбутніх поколінь.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1) ISO (International Organization for Standardization). URL: <https://www.iso.org/home.html> (дата звернення 09.05.2023).
- 2) Our World in Data. URL: <https://ourworldindata.org/co2-emissions> (дата звернення 10.11.2023).
- 3) The European Commission. URL: <https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024> (дата звернення 15.04.2023).
- 4) Lennard de Klerk, Adriaan Korthuis. Climate damage caused by Russia's war in Ukraine. 2023. (дата звернення 15.12.2023).
- 5) The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). URL: <https://www.ipcc.ch/report>. (дата звернення 09.05.2023).
- 6) Conference of the Parties of the UNFCCC, COP28, UN Climate Change Conference - United Arab Emirates. URL: <https://www.cop28.com/en/global-renewables-and-energy-efficiency-pledge> (дата звернення 15.12.2023).
- 7) The PDCA method or Deming wheel for your improvement. URL: <https://www.iwolm.com/en/the-pdca-method-or-deming-wheel-for-your-improvement/> (дата звернення 18.05.2023).
- 8) James Harrington. The PDCA Handbook. 1991. (дата звернення 04.05.2023).
- 9) Radu Porumb, George Seritan. Application of Advanced Technologies in Energy Management for Enhanced Efficiency. 2019. DOI: 10.5772/intechopen.83570 (дата звернення 04.05.2023).
- 10) Rod Janssen. The benefits of big data analytics in energy efficiency analysis. 2023. (дата звернення 12.05.2023).
- 11) Efe Orumwense, Khaled Abo-Al-Ez. Internet of Things in Energy Management: A Comprehensive Review. December 2022. DOI:10.3934/electreng.2023004. (дата звернення 06.05.2023).

12) Історія виникнення системного аналізу. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/_історія_виникнення_системного_аналізу (дата звернення 22.05.2023).

13) Hillard G., Model Evaluation for Policy Insights: Reflections on the Forum Process. 2021 (дата звернення 22.05.2023).

14) Introduction to Multi-Agent Simulation. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.0803.3905> (дата звернення 25.05.2023).

15) ILCD Handbook: General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. URL: <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAILED-GUIDANCE-12March2010-ISBN-fin-v1.0-EN.pdf> (дата звернення 25.05.2023).

16) М. В. Федоров, О. М. Хренов. Системний аналіз. 2018. (дата звернення 25.05.2023).

17) Duggan, Jim. An Introduction to System Dynamics. Cham: Springer, International Publishing. DOI 10.1007/978-3-319-34043-2_1. (дата звернення 06.05.2023).

18) W. Kahlenborn, S. Kabisch, J. Klein, I. Richter. Energy Management Systems in Practice. Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU). URL: <https://www.bmu.de/> (дата звернення 27.05.2023).