

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій  
Кафедра цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень

«Допущено до захисту»  
Гарант ОПП

Павло САГАЙДА

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання  
освітньо-професійної програми  
«Комп'ютерні науки та цифровий інтелект»  
за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки

на тему «Дослідження та проектування програмних  
компонентів для інтелектуальної системи моніторингу  
стану пристроїв безперебійного живлення обладнання  
АСУТП доменного цеху ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»

Керівник роботи

Олександр ШМАТКО

Консультант від  
бази практики

Андрій ГОЛОЯДОВ

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

Здобувач

Віктор ГЕДІКОВ

|                                |  |  |  |
|--------------------------------|--|--|--|
| Підсумкова оцінка за атестацію |  |  |  |
|--------------------------------|--|--|--|

Голова ЕК

Олена ПАВЛЕНКО

КРИВИЙ РІГ 2024

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

|                      |  |
|----------------------|--|
| Факультет            | автоматизації виробництва та цифрових технологій   |
| Кафедра              | цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень |
| Ступінь вищої освіти | магістр  |
| Спеціальність        | 122 Комп'ютерні науки                              |
| ОПП                  | Комп'ютерні науки та цифровий інтелект             |

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

Павло САГАЙДА

«06» листопада 2023 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Гедікову Вікторіві Олексійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Дослідження та проектування програмних компонентів для інтелектуальної системи моніторингу стану пристроїв безперебійного живлення обладнання АСУТП доменного цеху ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»

керівник роботи Шматко Олександр Віталійович, доцент, канд. техн. наук,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету від 29.08.2023 р. №137.1/29.08.2023

2. Термін подання роботи 10.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література за темою дослідження, державні стандарти, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики автоматизації обробки й аналізу даних та методів цифрового інтелекту, результати власних експериментів та досліджень тощо

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз стану питання, концепцій з проблеми, що розглядається (Огляд предметної області, схеми підключення і режими роботи ДБЖ, аналіз існуючих продуктів для інтелектуального моніторингу ДБЖ). 2. Огляд проблеми оцінки надійності енергосистем з використанням штучного інтелекту (огляд методів та алгоритмів штучного інтелекту, концепція роботи системи, огляд методів оцінки надійності енергосистем, прогнозоване обслуговування енергетичних систем на основі ШІ). 3. Розробка засобів моделювання предметної області ПТК. 4. Опис технічного та програмного забезпечення. розробка алгоритму прогнозу моделі. 5. Проведення теоретичних та експериментальних досліджень заданого об'єкта. 6. Економічні розрахунки. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Актуальність, мета, об'єкт, предмет та завдання дослідження; розроблені математичні моделі; діаграми проекту ПТК в нотації UML(контекстна діаграма IDEF0, варіантів використання, діяльності, послідовності, сутність-зв'язок); результати розробки та експериментальних досліджень; результати економічних розрахунків; висновки до роботи, публікація результатів дослідження.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта |
|--------|---|
| 1      | Шматко О.В., доц. каф. ЦТПАР              |
| 2      | Шматко О.В., доц. каф. ЦТПАР              |
| 3      | Шматко О.В., доц. каф. ЦТПАР              |
| 4      | Шматко О.В., доц. каф. ЦТПАР              |
| 5      | Шматко О.В., доц. каф. ЦТПАР              |
| 6      | Гетьман І.А., доц. каф. ЦТПАР             |

7. Дата видачі завдання 06.11.2023

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів роботи   | Термін виконання етапів роботи |
|-------|---|--------------------------------|
| 1     | Розділ 1. Аналіз предметної області   | 25.12.2023 - 30.12.2023        |
| 2     | Розділ 2. Огляд проблеми оцінки надійності енергосистем з використанням штучного інтелекту      | 25.12.2023 - 30.12.2023        |
| 3     | Розділ 3. Розробка засобів моделювання предметної області програмно-технічного комплексу (ПТК)  | 25.12.2023 – 02.01.2024        |
| 4     | Розділ 4. Опис технічного та програмного забезпечення. Розробка алгоритму прогнозної моделі     | 25.12.2023 – 02.01.2024        |
| 5     | Розділ 5. Проведення та результати теоретичних та експериментальних досліджень заданого об'єкта | 03.01.2024 - 07.01.2024        |
| 6     | Розділ 6. Економічні розрахунки   | 03.01.2024 – 07.01.2024        |
| 7     | Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат   | 07.01.2024 – 08.01.2024        |
| 8     | Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат                                     | 10.01.2024 – 16.01.2024        |
| 9     | Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату                            | 17.01.2024 – 19.01.2024        |
| 10    | Рецензування завершеної роботи. Захист  | 16.01.2024 – 22.01.2024        |

Здобувач

(Віктор ГЕДІКОВ)

Керівник роботи

(Олександр ШМАТКО)

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 101 с., 46 рис., 9 табл., 5 додатків, 30 літ. джерел.

Мета дослідження: підвищення стабільності роботи обладнання та забезпечення його безперебійне живлення за рахунок розробки та дослідження програмних компонентів для інтелектуальної системи моніторингу стану пристроїв безперебійного живлення, яка використовується в автоматизованій системі управління технологічним процесом (АСУТП) доменного цеху ПрАТ "КАМЕТ-СТАЛЬ".

Об'єкт дослідження: методи машинного навчання моніторингу та прогнозування технічного стану пристроїв безперебійного живлення.

Предмет дослідження: методи та засоби проектування та розробки програмних компонентів інтелектуальної системи моніторингу стану пристроїв безперебійного живлення. Включаючи в себе алгоритми моніторингу, засоби аналізу даних з використанням трендів і звітів, модуль прогнозування ТО.

Методи дослідження: дослідження базується на комбінації наукових та інженерних методів, спрямованих на досягнення поставлених завдань. В роботі використовуються методи інтелектуального аналізу даних. Регресійна модель дає змогу досліджувати двовимірне та багатовимірне співвідношення між змінними(сигнали ДБЖ). Сервісно-орієнтований підхід використовується для розробки інструментальних засобів вирішення поставлених задач.

Наукова новизна: запропоновано розробку інтелектуальної системи, яка дозволить оперативніше реагувати на відхилення параметрів ДБЖ, приймати рішення що до необхідності проведення технічного обслуговування ДБЖ.

Практична цінність: полягає в розробці додаткових інструментів контролю за станом пристроїв безперебійного живлення з використанням інтелектуальних алгоритмів для прогнозного технічного обслуговування UPS.

Результатом роботи стало впровадження системи моніторингу в реальному часі поточного стану ДБЖ, яка використовується інженерами АСУТП дільниці ДЦ.

Ключові слова: джерело безперебійного живлення, енергетична система, прогнозне обслуговування, прогнозний контроль, штучний інтелект, машинне навчання, людино-машинний інтерфейс.

## SUMMARY

Thesis contains: 101 p., 46 figs., 9 tables, 5 appendices, 30 lit. sources.

Purpose of the study: to improve the stability of equipment operation and ensure its uninterrupted power supply by developing and researching software components for an intelligent system for monitoring the status of uninterruptible power supply devices used in the automated process control system of the blast furnace shop of PJSC "KAMET-STAL".

Object of research: machine learning methods for monitoring and predicting the technical condition of uninterruptible power supply devices.

Subject of research: methods and tools for designing and developing software components of an intelligent system for monitoring the condition of uninterruptible power supply devices. This includes monitoring algorithms, data analysis tools using trends and reports, and a maintenance forecasting module.

Research methods: the study is based on a combination of scientific and engineering methods aimed at achieving the objectives. The study uses data mining methods. The regression model allows us to study the two-dimensional and multidimensional relationship between variables (UPS signals). The service-oriented approach is used to develop tools for solving the tasks.

Scientific innovation: the development of an intelligent system is proposed that will allow to respond more quickly to deviations in UPS parameters, to make decisions on the need for UPS maintenance.

Practical value: the development of additional tools for monitoring the condition of uninterruptible power supply devices using intelligent algorithms for predictive maintenance of UPS.

The result of the work was the implementation of a real-time monitoring system for the current state of the UPS, which is used by the engineers of the BF Shop's process control system.

Keywords: Uninterruptible Power Supplies, energy system, predictive maintenance, predictive control, Artificial Intelligence, Machine learning, Supervisory Control and Data Acquisition.

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом.

HMI (Human-Machine Interface) – людино-машинний інтерфейс.

SCADA (англ. Supervisory Control and Data Acquisition) – диспетчерське управління та збирання даних

ДБЖ – джерело безперебійного живлення.

АБЖ – агрегат безперебійного живлення.

АРМ – автоматизоване робоче місце.

ПЗ – програмне забезпечення.

БД – база даних.

IP (англ. Internet Protocol) – мережевий протокол.

ML (англ. Machine learning) - машинне навчання.

AI (англ. Artificial Intelligence) - штучний інтелект.

ANN (англ. Artificial Neural Networks) - штучні нейронні мережі.

RNN (англ. Recurrent Neural Network) - рекурентна нейронна мережа.

FL (англ. Fuzzy Logic) - нечітка система.

SVM (англ. Support Vector Machine) - метод опорних векторів.

CBM (англ. Condition Based Monitoring) - моніторинг на основі стану.

## ЗМІСТ

|  |  |
|--|--|
| ВСТУП .....  | 7                                      |
| РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ, КОНЦЕПЦІЙ З ПРОБЛЕМИ,<br>ЩО РОЗГЛЯДАЄТЬСЯ .....  | 10                                     |
| 1.1 Огляд предметної області. Аналіз існуючої системи моніторингу<br>ДБЖ.....  | 10                                     |
| 1.2 Схеми підключення і режими роботи агрегатів безперебійного<br>живлення .....   | 4                                      |
| 1.3 Аналіз функціональності програмних продуктів для<br>інтелектуального моніторингу систем безперебійного живлення..... | 8                                      |
| 1.4 Штучний інтелект в різних системах управління енергетикою....  | 16                                     |
| 1.5 Висновки за розділом.....  | 21                                     |
| РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ<br>ЕНЕРГОСИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ .....                      | 22                                     |
| 2.1 Огляд методів та алгоритмів штучного інтелекту .....   | 22                                     |
| 2.2 Огляд методів оцінки надійності енергосистем .....   | 28                                     |
| 2.3 Прогнозоване обслуговування енергетичних систем на основі ШІ<br>.....  | 30                                     |
| 2.4 Висновки за розділом.....  | 33                                     |
| РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ЗАСОБІВ МОДЕЛЮВАННЯ ПРЕДМЕТНОЇ<br>ОБЛАСТІ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ (ПТК) .....                  | 35                                     |
| 3.1 Висновки за розділом.....  | 42                                     |
| РОЗДІЛ 4. ОПИС ТЕХНІЧНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.<br>РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ПРОГНОЗНОЇ МОДЕЛІ .....                     | <b>ПОМИЛКА!</b>                        |
| <b>ЗАКЛАДКУ НЕ ВИЗНАЧЕНО.</b>  |  |
| 4.1 Засоби розробки. Створення SCADA - екрану сторінки моніторингу<br>ДБЖ.....   | <b>Помилка! Закладку не визначено.</b> |
| 4.2 Побудова прогностичної моделі..  | <b>Помилка! Закладку не визначено.</b> |

|   |  |
|---|--|
| 4.3 Висновки за розділом.....   | <b>Помилка! Закладку не визначено.</b> |
| <b>РОЗДІЛ 5. ПРОВЕДЕННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗАДАНОГО ОБ'ЄКТА</b> |  |
| <b>ПОМИЛКА! ЗАКЛАДКУ НЕ ВИЗНАЧЕНО.</b>  |  |
| 5.1 Висновки за розділом.....   | <b>Помилка! Закладку не визначено.</b> |
| РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ .....   | 79                                     |
| 6.1 Висновки за розділом.....   | 82                                     |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....   | 84                                     |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....  | 87                                     |
| ДОДАТОК А ВІДОМІСТЬ РОБОТИ.....   | 91                                     |
| ДОДАТОК Б ПЕРЕЛІК НАУКОВИХ ПУБЛІКАЦІЙ.....  | 92                                     |
| ДОДАТОК В ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ .....   | 98                                     |
| ДОДАТОК Г ЕКРАН МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ДБЖ .....  | 100                                    |
| ДОДАТОК Д РЕГРЕСІЙНА МОДЕЛЬ В RAPIDMINER.....   | 101                                    |

## ВСТУП

Сучасні металургійні підприємства мають високий рівень автоматизації технологічних процесів, щоб забезпечити стабільний і ефективний процес виробництва.

Функціонування промисловості в основному залежить від обладнання. Тому, реальний час спостереження за робочим станом різних устаткувань у промисловій системі є важливим. Розвиток технології ШІ надає великі можливості для інтелектуальної експлуатації, обслуговування та ремонту різних устаткувань.

Технології зі штучним інтелектом дають технічним фахівцям знання, необхідні для прийняття розумних рішень на місці, що призводить до безперебійної роботи і скорочення часу простоїв завдяки використанню інформації попередніх процесів за допомогою машинного навчання. Крім того, використання моніторингу стану за допомогою ШІ прискориться, оскільки організації усвідомлюють важливість прогнозування для прийняття рішень, які сприяють підвищенню прибутковості та мають позитивний ефект.

Штучний інтелект (ШІ) впливає на майбутнє практично усіх галузей та кожного окремого індивіда. ШІ відіграв значущу роль у нових технологіях, таких як робототехніка, великі дані та Інтернет речей, і надалі буде діяти як технологічний інноватор у найближчому майбутньому.

### Актуальність теми

Джерела безперебійного живлення широко застосовуються на виробництві для захисту електроживлення дорогих компонентів систем АСУТП та іншої відповідальної апаратури.

Використання пристроїв безперебійного живлення(ДБЖ) дозволяє підтримувати працездатність критичного обладнання АСУТП протягом

заданого часу і є ефективним рішенням для підвищення надійності систем автоматизації.

В умовах повномасштабної війни і ракетних атак на об'єкти енергетики періодично виникають проблеми з якістю та надійністю живлення, що збільшує навантаження на існуючі ДБЖ(UPS), знижує їх ресурс та іноді приводить до виходу з ладу. Що в свою чергу є спричиняє простої обладнання та втрати продуктивності агрегатів.

Тема дослідження: «Дослідження та проектування програмних компонентів для інтелектуальної системи моніторингу стану пристроїв безперебійного живлення обладнання АСУТП доменного цеху ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»

Мета дослідження: підвищення стабільності роботи обладнання та забезпечення його безперебійне живлення за рахунок розробки та дослідження програмних компонентів для інтелектуальної системи моніторингу стану пристроїв безперебійного живлення, яка використовується в автоматизованій системі управління технологічним процесом (АСУТП) доменного цеху ПрАТ "КАМЕТ-СТАЛЬ".

Об'єкт дослідження: методи машинного навчання моніторингу та прогнозування технічного стану пристроїв безперебійного живлення.

Предмет дослідження: методи та засоби проектування та розробки програмних компонентів інтелектуальної системи моніторингу стану пристроїв безперебійного живлення. Включаючи в себе алгоритми моніторингу, засоби аналізу даних з використанням трендів і звітів, модуль прогнозування ТО.

Задачі дослідження: відповідно до зазначеної мети поставлено наступні задачі: огляд існуючих інтелектуальних систем моніторингу(ICM), аналітичний огляд парадигм по розробці ПЗ, дослідження методів та алгоритмів машинного навчання для прогнозування технічного обслуговування (ТО), проектування та розробка програмних компонентів для моніторингу стану пристроїв

безперебійного живлення, тестування та впровадження розроблених програмних компонентів.

Методи дослідження: дослідження базується на комбінації наукових та інженерних методів, спрямованих на досягнення поставлених завдань. В роботі використовуються методи інтелектуального аналізу даних. Регресійна модель дає змогу досліджувати двовимірне та багатовимірне співвідношення між змінними(сигнали ДБЖ). Сервісно-орієнтований підхід використовується для розробки інструментальних засобів вирішення поставлених задач.

Наукова новизна: запропоновано розробку інтелектуальної системи, яка дозволить оперативніше реагувати на відхилення параметрів ДБЖ, приймати рішення що до необхідності проведення технічного обслуговування ДБЖ.

Практичне значення отриманих результатів: полягає в розробці додаткових інструментів контролю за станом пристроїв безперебійного живлення з використанням інтелектуальних алгоритмів для прогнозного технічного обслуговування UPS на основі даних про його роботу та стан.

Апробація отриманих результатів: Основні положення та результати доповідалися і обговорювалися на міжнародній науково-технічній конференції «MININGMETALTECH 2023 – Гірничо-металургійний комплекс: інтеграція бізнесу, технологій та освіти», 29 - 30 листопада 2023 року в ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», представлено в додатку В.

Публікації:

1. Hedikov V. O. RESEARCH AND DESIGN OF SOFTWARE COMPONENTS FOR THE INTELLIGENT SYSTEM OF MONITORING THE STATE OF UNINTERRUPTED POWER SUPPLY DEVICES OF THE APCS EQUIPMENT OF THE BLAST-FURNACE DEPARTMENT OF “KAMET-STEEL” //Publishing House “Baltija Publishing”. – 2023.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ, КОНЦЕПЦІЙ З ПРОБЛЕМИ, ЩО РОЗГЛЯДАЄТЬСЯ

1.1 Огляд предметної області. Аналіз існуючої системи моніторингу  
ДБЖ

## 1.2 Схеми підключення і режими роботи агрегатів безперебійного живлення

Згідно стандарту [4] за принципом дії АБЖ класифікують на три основні групи: пасивні (Off-Line/Stand-By/back-up UPS), лінійні інтерактивні (Line-Interactive) і подвійного перетворення (On-Line).

Розглянемо більш докладніше схеми та режими роботи кожного типу.

Пасивна робота АБЖ із виділеним резервом (UPS passive standby operation)

У нормальному робочому режимі первинну потужність подають до навантаження від мережі змінного струму через комутаційний пристрій АБЖ, яка залежить від змін вхідної напруги і частоти у встановлених межах. Якщо вхідне живлення по змінному струму виходить за допустимі межі, то активізується інвертор АБЖ від акумуляторної батареї і забезпечує безперебійність електропостачання в режимі роботи на накопиченій енергії (рисунк 1.7). Комбінація акумуляторна батарея/інвертор продовжує підтримувати навантаження протягом часу роботи на накопиченій енергії чи, поки вхідна напруга живлення не повернеться у встановлені межі.

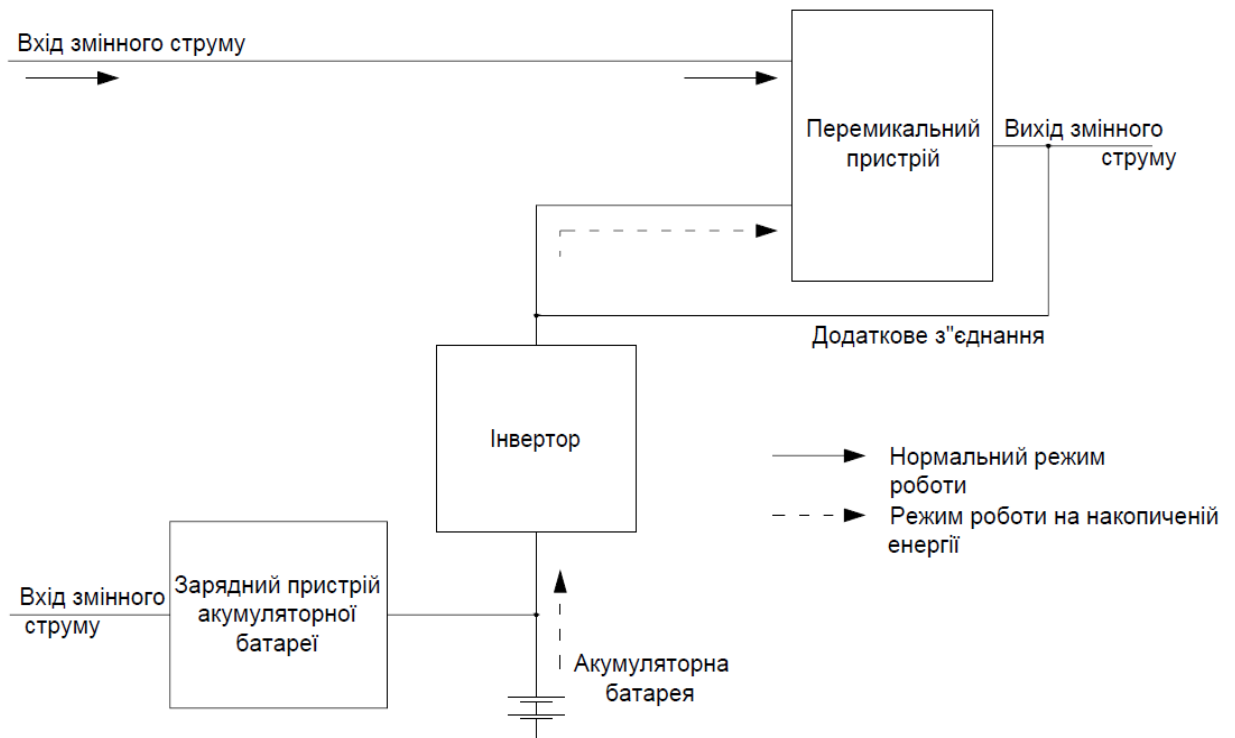


Рисунок 1.7 – Схема пасивної роботи АБЖ із виділеним резервом

Робота АБЖ у лінійному інтерактивному режимі (UPS line interactive operation)

У нормальному робочому режимі стабільну потужність подають до навантаження через паралельне підключення вхідної напруги змінного струму та інвертора АБЖ. Інвертор чи інтерфейс блоку живлення працюють для забезпечення регулювання вихідної напруги та/чи заряджання акумуляторної батареї. Вихідна частота залежить від вхідної частоти змінного струму.

Якщо вхідна напруга та/чи частота змінного струму виходять за межі допустимих значень, інвертор АБЖ і акумуляторна батарея підтримують безперебійність електропостачання в режимі роботи на накопиченій енергії у межах допустимих значень вихідної напруги та частоти (рисунок 1.8)

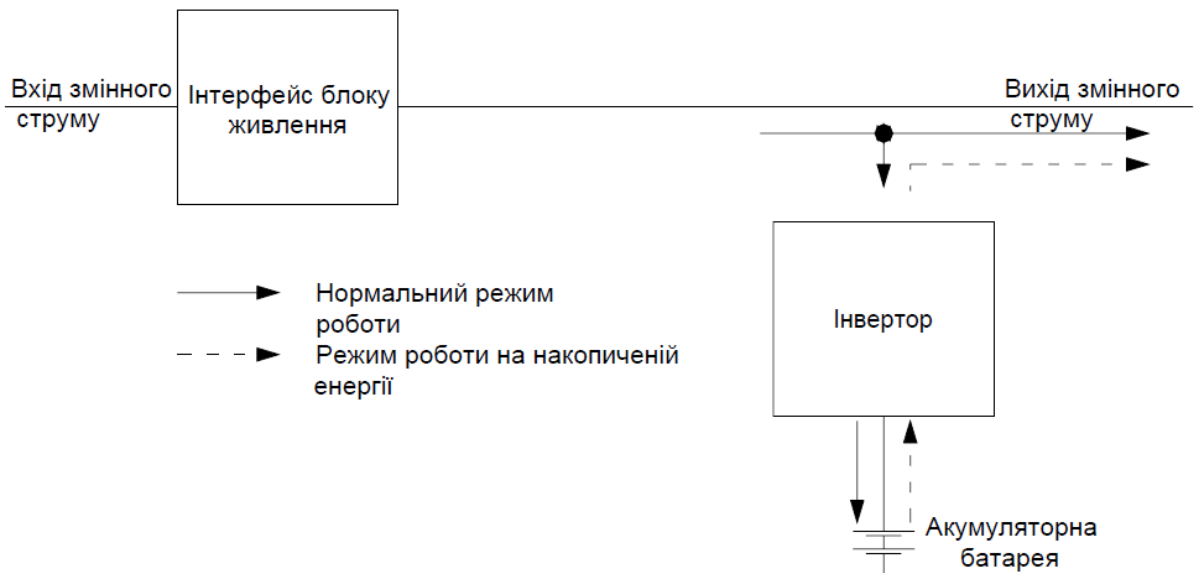
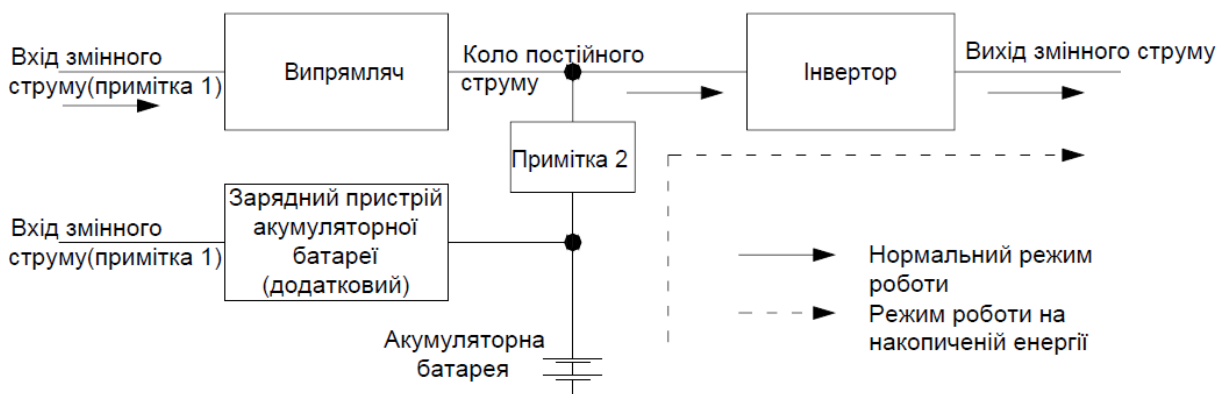


Рисунок 1.8 – Робота АБЖ у лінійному інтерактивному режимі

### Подвійне перетворення АБЖ (UPS double conversion)

Будь-яка робота АБЖ, за якої безперебійне електропостачання підтримується інвертором АБЖ із подаванням енергії по колу постійного струму в нормальному робочому режимі чи від системи на-копичення енергії у режимі роботи на накопиченій енергії (рисунок 1.9). Вихідна напруга та частота не залежать від їхніх вхідних значень.



Примітка 1. Вхідні клеми може бути об'єднано.

Примітка 2. Блокувальний діод, тиристор чи перемикальний пристрій.

Рисунок 1.9 – АБЖ із подвійним перетворенням

Такий тип часто називають «On-Line АБЖ». У нормальному режимі роботи навантаження живиться завжди від інвертора незалежно від параметрів змінної напруги на вході. Якщо параметри напруги змінного струму живлення на вході виходять за попередньо встановлені межі, АБЖ переходить у режим роботи на накопиченій енергії, за якого комбінація акумуляторна батарея – інвертор продовжує підтримувати навантаження протягом часу роботи на накопиченій енергії, або доти, поки вхідна напруга змінного струму не повернеться в допустимі межі АБЖ.

Аналіз показав, що найнадійнішою технологією ДБЖ є рішення «On-Line». Якість напруги та ефективність захисту в розглянутому типі ДБЖ значно вища, ніж у попередніх. Цей вибір підтверджується застосуванням у проекті електроживлення АСУТП ДЦ моделі із подвійним перетворенням - Symmetra LX 16 кВА фірми Schneider-Electric.

Виділяють три основних режиму роботи АБЖ:

1) нормальний режим роботи АБЖ (normal mode of UPS operation).

Усталений режим роботи, якого досягає АБЖ у разі живлення в таких умовах:

- первинна потужність перебуває в допустимих межах;
- акумуляторна батарея заряджається протягом часу відновлення енергії;
- режим роботи неперервний чи може бути ним;
- фазову синхронізацію активовано, якщо вона є;
- навантаження перебуває в межах заданого діапазону;
- вихідна напруга не виходить за допустимі межі.

У разі застосування комутаційного пристрою АБП:

- наявність обвідного кола, що працює в допустимих межах.

2) режим роботи АБЖ на накопиченій енергії або «робота від акумуляторної батареї» (stored energy mode of UPS operation).

Робота АБЖ, коли живлення надходить за таких умов:

- первинну потужність відключено чи її значення виходять за допустимі межі;
- систему накопичення енергії постійного струму розряджено;
- навантаження перебуває в межах заданого діапазону;
- вихідна напруга не виходить за допустимі межі

3) режим роботи АБЖ від обвідного кола (bypass mode of UPS operation). Стан АБЖ, за якого навантаження живиться тільки від обвідного кола (байпас).

### 1.3 Аналіз функціональності програмних продуктів для інтелектуального моніторингу систем безперебійного живлення.

Розглянемо і проаналізуємо відомі програмні платформи, які дозволяють проводити моніторинг обладнання безперебійного живлення на підприємствах з високим рівнем автоматизації технологічних процесів[5-7], їх функціональні можливості та обмеження.

#### Schneider Electric EcoStruxure

Schneider Electric EcoStruxure - це відкрита, сумісна архітектура та платформа Schneider Electric заснована на технології «Інтернету речей», що підключається та працює, у будинках, будівлях, центрах обробки даних, інфраструктурі та промисловості. Інновації на всіх рівнях від підключених продуктів до контролю периферії, додатків, інструментів аналітики та сервісів [5]. Платформа поєднує багато систем - IT Advisor, Field Device Expert, Maintenance Advisor та IT SmartConnect.

EcoStruxure™ IT SmartConnect - один з модулів EcoStruxure для віддаленого моніторингу живлення ДБЖ APC Smart-UPS. Хмарна

служба EcoStruxure IT SmartConnect - захищений веб-портал, який забезпечує віддалений моніторинг живлення, сповіщення електронною поштою та оновлення мікропрограми для APC Smart-UPS. Підключення до хмари виконується через вбудований порт Ethernet SmartConnect, функції залежать від умов використання. На рисунку 1.10 наведено інтерфейс програмного модулю EcoStruxure™ IT SmartConnect

Ключові переваги:

- Безпечний, дистанційний моніторинг. ДБЖ Smart-UPS із портом SmartConnect передбачають дистанційний контроль через захищений вебпортал, щоб бути в курсі поточного стану інфраструктури живлення. Доступні 30-денні журнали подій та трендів.

- Проактивні сповіщення про життєвий цикл. Збільшення терміну служби ДБЖ за допомогою проактивних сповіщень про оновлення мікропрограми ДБЖ, пристрій, технічне обслуговування пристрою та гарантійний захист.

- Хмарна служба включена як стандарт. ДБЖ APC Smart-UPS реалізовано у хмарі з вбудованим портом Ethernet SmartConnect. Максимально простий і ефективний дистанційний моніторинг ДБЖ, з можливістю запуску самоперевірки ДБЖ із хмари.

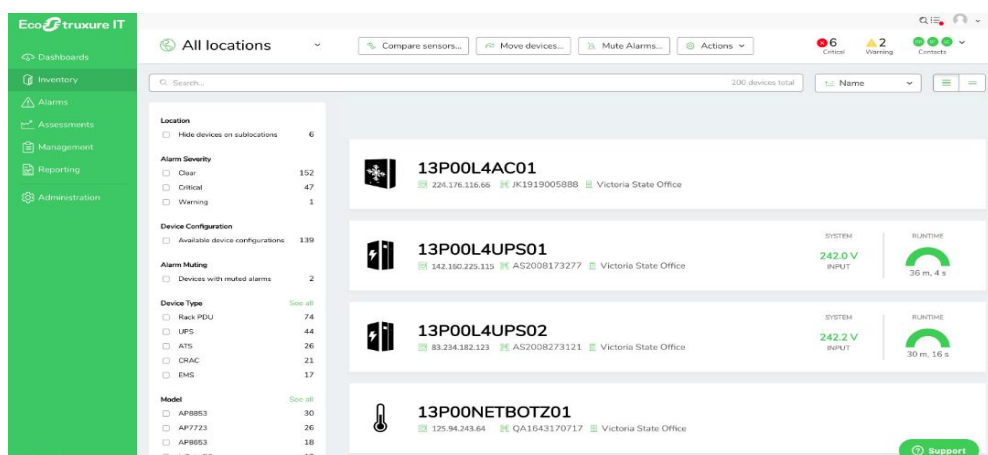


Рисунок 1.10 – Web-інтерфейс програмного комплексу Schneider Electric EcoStruxure

## Vertiv™ Power Insight

Це безкоштовне веб-програмне забезпечення забезпечує єдиний інтерфейс для моніторингу до 100 джерел безперебійного живлення (UPS) Vertiv™, розроблене для користувачів із розподіленою інфраструктурою, яким потрібен спосіб керування кількома пристроями [6]. На рисунку 1.11 наведено інтерфейс програмного комплексу Vertiv™ Power Insight. Програмне забезпечення надсилає сповіщення про проблеми з підключеними пристроями та забезпечує швидкий спосіб безпечного відключення ІТ-пристроїв на основі налаштованих користувачем параметрів.

### Функції Vertiv Power Insight:

- Своєчасні системні сповіщення про тривогу - електронною поштою, SMS і піктограми на екрані.
- Автоматичне відключення системи у разі тривалого відключення електроенергії.
- Проста віддалена конфігурація та керування ДБЖ – віддалений доступ до кожного веб-інтерфейсу ДБЖ.
- Відстеження стану системи та аварійних сигналів. На інформаційній панелі представлені ключові дані, такі як навантаження, заряд батареї та час роботи від батареї тощо. Перегляд підсумкових даних, сигналів тривоги та стану окремих пристроїв. Дані нагадувань можна сортувати та фільтрувати для створення різних переглядів нагадувань.
- Автоматичне скидання навантаження – налаштоване користувачем послідовне завершення роботи сервера для збільшення часу роботи для найбільш критичних навантажень.

### Архітектура платформи Vertiv Power Insight

Можна інсталювати на 64-бітну машину з мінімальними системними вимогами до 8 ГБ пам'яті, 4-ядерного CPU та HDD 256 ГБ. Рекомендовані системні вимоги: 8 ГБ пам'яті, 8-ядерний CPU і 2 ТБ

HDD. Підтримувані операційні системи включають Microsoft® Windows® 7 і 10 64bit; Microsoft® Windows Server® 2012 R2, 2016 і 2019 64 біт; Red Hat® Enterprise Linux® 7.1 Рекомендований браузер Google Chrome™ 55 або новішої версії.

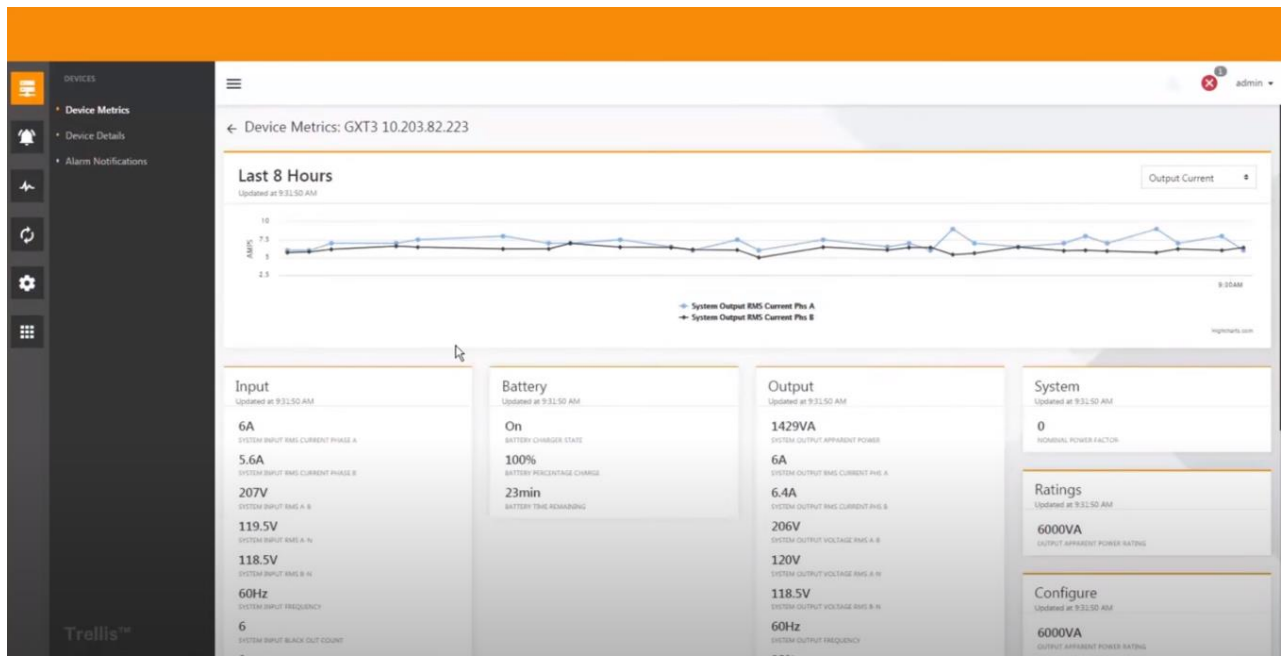


Рисунок 1.11 – Web-інтерфейс програмного комплексу Vertiv Power Insight

## Eaton Intelligence Platform

Eaton – позиціонується, як компанія з інтелектуального керування електроживленням. Пропонує низку рішень, які допомагають менеджерам центрів обробки даних підключати, контролювати, керувати та моделювати критичні компоненти в системі живлення та на об'єкті за допомогою єдиного налаштованого веб-інтерфейсу. Рішення Eaton, розроблені для задоволення потреб моніторингу від одного центру обробки даних до всесвітніх підприємств [7].

Платформа Eaton Intelligence Platform складається з 4 окремих компонентів:

1. Intelligent Power Manager (IPM) надає інструменти, необхідні для моніторингу та керування пристроями живлення. Це програмне рішення на основі HTML5. Забезпечує безперебійну роботу системи та цілісність даних, дозволяючи віддалено відстежувати, керувати та контролювати ДБЖ та інші пристрої у вашій мережі. IPM - пропонує три рівні ліцензій: моніторинг, керування та оптимізація. Розраховано на малі і середні підприємства — як правило, з менш ніж 25 джерелами безперебійного живлення (UPS).

2. Distributed IT Performance Management (DITPM) допомагає менеджерам IT, центрів обробки даних і об'єктів у розподілених IT-середовищах, таких як роздрібні магазини; медичні, освітні та державні установи; периферійні центри обробки даних контролюють і керують своїм обладнанням — як правило, з 25 або більше джерелами UPS - незалежно від їх фізичного розташування. Він також надає інформацію, необхідну для виявлення та усунення проблем до того, як обладнання вийде з ладу. Перегляд в режимі реального часу звітів, діаграм, сповіщень, упорядкованих за ступенем серйозності.

3. The Data Center Infrastructure Management (DCIM) – це програмне рішення дає змогу бачити енергоспоживання за допомогою 3D візуалізації інфраструктури. Призначене для керування продуктивністю центрів обробки даних (DCPM), допомагає корпоративним, гіпермасштабованим і периферійним центрам обробки даних підвищити ефективність роботи та максимізувати цінні ресурси простору, електроенергії та охолодження. На рисунку 1.12 наведено інтерфейс програмного комплексу.

4. PredictPulse — це хмарна служба моніторингу та керування, яка збирає й аналізує дані з підключених пристроїв інфраструктури живлення, надаючи Eaton інформацію, необхідну для надання рекомендацій і вжиття.

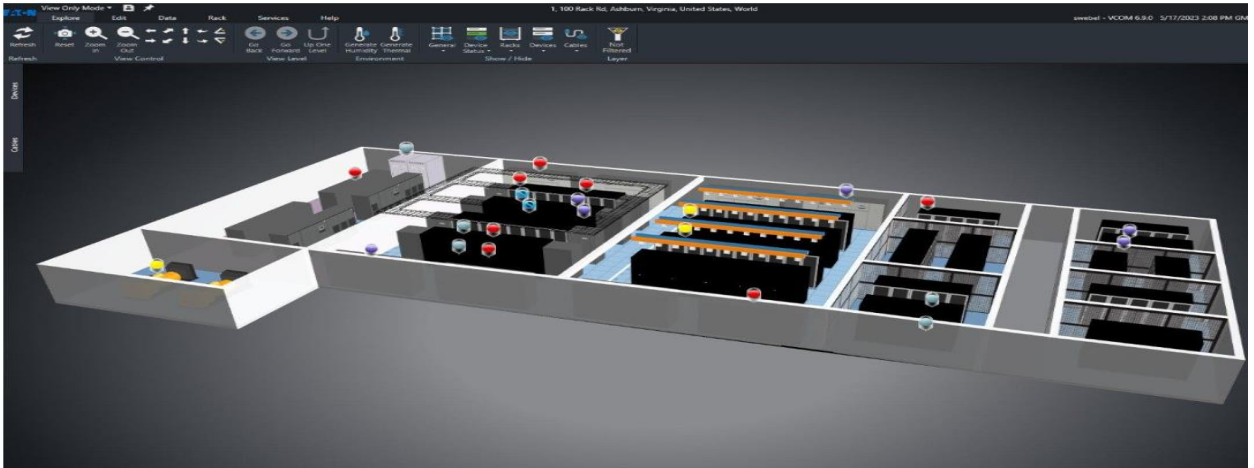


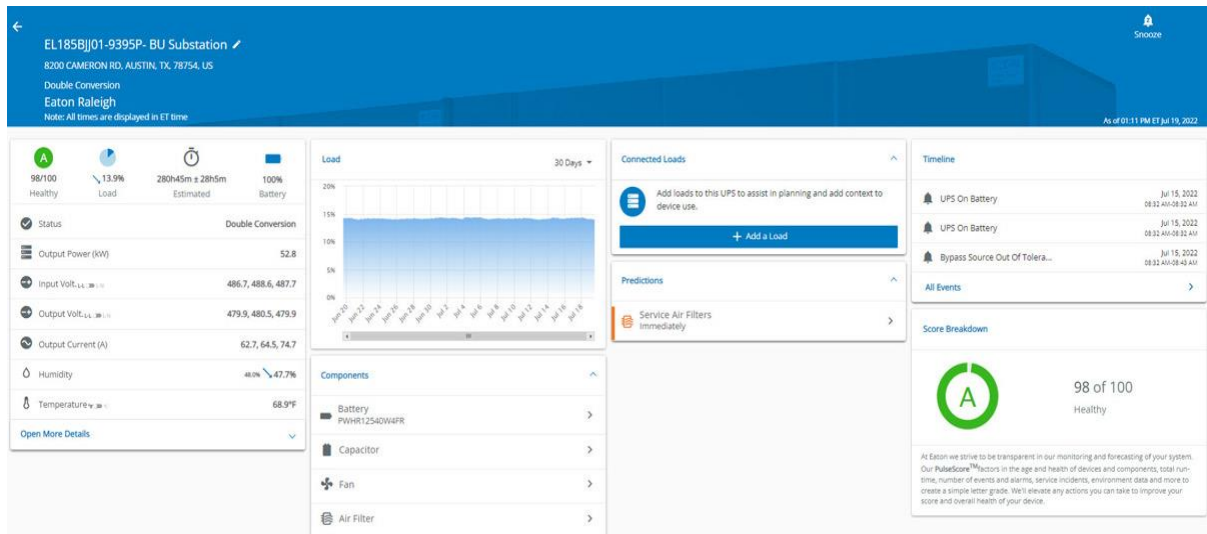
Рисунок 1.12 – Інтерфейс програмного комплексу Eaton DCIM

В складі є додаткова послуга - прогностична аналітика за допомогою Eaton PredictPulse Insight, першої хмарної служби інфраструктури центру обробки даних для прогнозування відмови компонентів живлення, переводячи моніторинг живлення з реактивної моделі на проактивну.

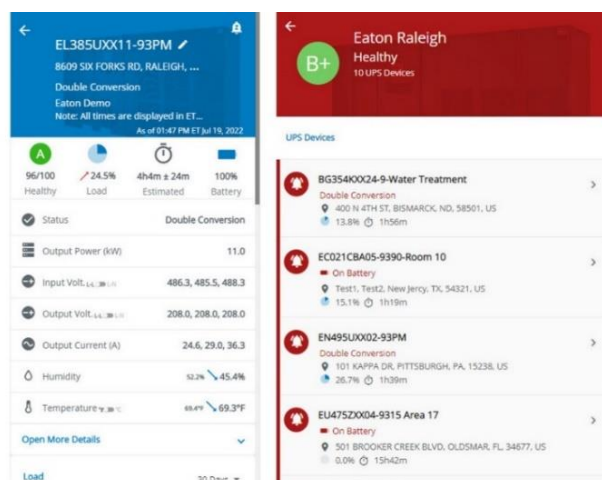
PredictPulse має наступні особливості:

- Визначає ризики виходу з ладу компонентів за допомогою датчиків і алгоритмів, які завчасно виявляють проблеми, а технічні спеціалісти Eaton перевіряють і замінюють деталі перед поломкою.
- Зменшує ризики за допомогою проактивного моніторингу, критичних тривог і прогнозованої аналітики. Доступність прогнозованої аналітики залежить від моделі ДБЖ Eaton.
- Відсутня необхідність встановлення чи налаштування програмного забезпечення завдяки хмарній реалізації.
- Цілодобовий хмарний віддалений моніторинг експертами Eaton через бездротове з'єднання LTE (або мережу SMTP).
- Дзвінки зі сповіщеннями про критичну тривогу та відправлення техніком сервісного обслуговування Eaton (або гарантійна заміна).

- Інтеграція з історією обслуговування Eaton, даними про компоненти, технічною підтримкою та аналітиками моніторингу.
- Перегляд у режимі реального часу (15-хвилинне оновлення даних) з відображенням тривог і трендів у мобільному додатку (рисунки 1.13 та 1.14) та програмі браузера (рисунки 1.13 та 1.14).
- Сумісний тільки з моделями ДБЖ фірми Eaton.



Рисунки 1.13 – Web-інтерфейс програмного комплексу  
Eaton PredictPulse



Рисунки 1.14 – Інтерфейс мобільної застосунку платформи Eaton  
PredictPulse

Сформуємо таблицю 1.2 з порівнянням можливостей існуючих систем.

Таблиця 1.2 – Результати порівняльного аналізу функціональних можливостей існуючих програмних систем

| Критерій порівняння                         | Schneider Electric EcoStruxure™ IT SmartConnect | Eaton PredictPulse | Vertiv Power Insight |
|---|---|--------------------|----------------------|
| Контроль параметрів у режимі реального часу | +   | +                  | +                    |
| Розсилка сповіщень про тривогу              | +   | +                  | +                    |
| Сумісність з моделями різних виробників     | -   | -                  | -                    |
| Наявність Web-інтерфейсу                    | +   | +                  | +                    |
| Наявність мобільної застосунку              | +   | +                  | -                    |
| Наявність модулю прогнозу аналітики.        | +   | +                  | -                    |
| Платна ліцензія                             | +   | +                  | -                    |

Порівняння розглянутих вище систем показало, що жодна з них не зможе вирішити поставлену в дипломній роботі задачу. Навіть платформа Schneider Electric EcoStruxure™ IT SmartConnect, від виробника існуючих на підприємстві ДБЖ, не дає можливості її використати на вже існуючих потужностях, через комплектацію сучасним портом Ethernet нових моделей UPS.

## 1.4 Штучний інтелект в різних системах управління енергетикою

В останні роки нові технології ШІ значно покращили спосіб, яким пристрої системи електропостачання моніторять дані, взаємодіють з системою, аналізують вхідні та вихідні дані. Основні чотири ключові методи, які використовуються в сучасних технологіях ШІ в енергетичних системах, включають:

- системи нечіткої логіки;
- штучні нейронні мережі;
- генетичні алгоритми
- експертні системи.

Це провідні сімейства технологій штучного інтелекту в світі розвинутих енергетичних систем. Кожен вид нейронної мережі може виконувати такі специфічні завдання після навчання і виведення функції через спостереження в реальному житті, такі як апроксимація функцій, класифікація, обробка даних тощо. Її основною перевагою є можливість вивчення алгоритмів, адаптація складних структур в режимі онлайн, швидке паралельне обчислення та інтелектуальна інтерполяція даних. Штучні нейронні мережі можуть бути особливо корисні для завдань, які потребують швидких результатів, наприклад, у реальному часі, а також для забезпечення захисту електроенергетичних систем [9].

Методи нечіткої логіки були розроблені в 1965 році і стали популярними в технологіях розв'язання проблем [10].

Оскільки багато досліджень в сфері електроенергетики проводяться на основі оцінок або даних на основі припущень, нечітка логіка може бути корисною для отримання точного і надійного результату без невизначеності. Вона може бути використана для покращення продуктивності і моделювання фізичних елементів електроенергетичних систем від малих до великих схем.

Експертні програми були розроблені та застосовані в 1980-х роках. Їх також називають системами на основі правил або знань [11]. Інформацію зазвичай зберігають одним з кількох способів, таких як правила, процеси прийняття рішень, фрейми та моделі. Експертні системи надзвичайно корисні через великий обсяг інформації та даних, які потрібно обробляти протягом обмеженого періоду. Методології для експертних систем можуть бути класифіковані як системи, основані на знаннях, системи на основі правил, об'єктно-орієнтовані методи, системи на основі штучних нейронних мереж, методологія баз даних, інтелектуальні агентні системи.

Хоча для поліпшення продуктивності та дослідження енергетичної системи розробляються кілька підходів, генетичні алгоритми є чутливими до розв'язання всіх обраних обмежень. Генетичні алгоритми - це найкращий спосіб розв'язати нелінійні та складні завдання. Вони використовуються для планування виробництва електроенергії, передачі та розподілу електроенергії [12].

Переваги штучного інтелекту включають краще прогнозування попиту, пряму автоматизацію, безпечну робочу обстановку, безперебійну роботу 24/7, зниження витрат на експлуатацію, покращену ідентифікацію дефектів виробництва, автоматизований контроль якості, вищу ефективність поставок, швидке прийняття рішень, прогнозоване обслуговування, тестування і оптимізацію якості [13].

На рисунку 1.15 візуально показано різні застосування штучного інтелекту в різних енергетичних системах. Автоматизація машин та обладнання, прогнози з обслуговування активів, програмне забезпечення та оптимізація та моніторинг/попередження інцидентів - це провідні застосування штучного інтелекту з відповідними показниками в 30%, 25%, 28% і 26% відповідно.

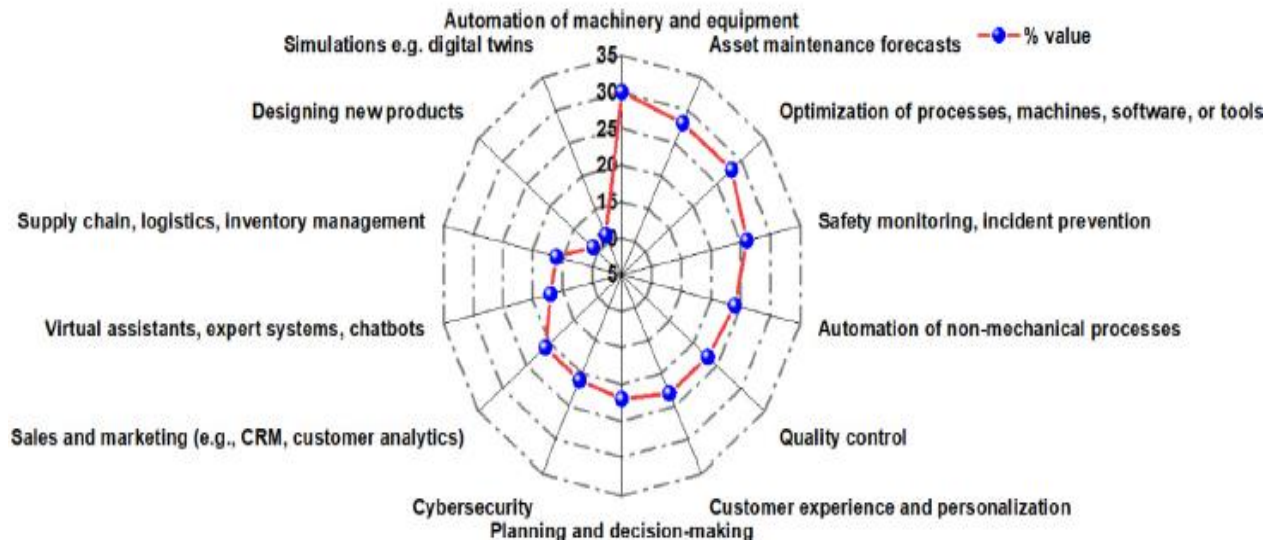


Рисунок 1.15 – Використання AI в різних енергетичних системах

ШІ є дуже ефективним інструментом в галузі виробництва та генерації електроенергії для прогнозування несправностей: передбачення відмов системи швидше і точніше. Особливо в енергетичному секторі глибоке навчання є дуже корисним, коли алгоритми адаптуються для великих баз даних. У випадках історичного використання енергії та виробництва обсяги даних зазвичай великі і потребують правильних технік для ефективної візуалізації та інтерпретації.

Штучний інтелект у передачі та постачанні електроенергії

Моделі штучного інтелекту використовуються для оптимального розподілу потужності та вимірювання пропускної здатності мережі передачі електроенергії, а також надійності системи [14]. Використання технологій штучного інтелекту популярне в контролі частоти та напруги для стабільності енергетичної системи, управлінні та розміщенні гнучких пристроїв для перетворення змінного струму (FACTS).

– Сенсори навколишнього середовища: вимірювання клімату та динаміки погоди та надання інформації експертним системам.

- Штучні нейронні мережі (ANNs): Навчені змінювати значення параметрів ліній на основі погодних умов.
- Нечіткі системи: Виявлення та діагностика несправностей.
- Експертні системи: Використовуються для визначення значення параметрів ліній.

Нечіткі системи виявляють передаварійний струм та різницю між фазними кутами під час передачі. Сенсори навколишнього середовища визначають температуру навколишнього середовища і повітря як вхідні дані для експертних систем. Експертні системи визначають значення для виведення параметрів ліній. Штучні нейронні мережі підвищують надійність змінних датчиків навколишнього середовища для налаштування параметрів ліній у визначених межах, якщо це необхідно для досягнення вимог до роботи лінії передачі. Програмне забезпечення прогнозування за допомогою штучного інтелекту, яке робить прогнози на основі минулих даних мережі та великої кількості погодних даних, допомагає користувачеві оптимізувати гнучкість та ефективність в розподілі електроенергії.

Штучний інтелект у автоматизації та управлінні електроенергетичною системою

У кількох країнах вже впроваджуються системи автоматизації мережі та смарт-лічильники для створення динамічного балансу між постачанням та попитом, щоб можна було належним чином передбачити використання штучного інтелекту та оптимізувати розподіл навантаження [15].

Нечітка логіка (FL) має ідеальні застосування в електроенергетичних системах, таких як контроль напруги та реактивного струму, аналіз стабільності та керування, діагностика несправностей, оцінка безпеки, прогнозування навантаження, забезпечення безпеки електропостачання тощо. Крім того, ці моделі є корисними для автоматизації управління електроенергією та

відновленням і діагностики несправностей. Наприклад, для невизначеності змін навантаження та виробництва електроенергії використовується нечітке значення для представлення членства функції певного невизначеного навантаження в актуальному наборі, і встановлюється оптимальна модель розподілу потужності електроенергії системи, тобто нечіткий оптимальний розподіл потужності.

Використання штучного інтелекту в системі зберігання енергії

Енергетична галузь все ще дуже відстає у розвитку систем зберігання енергії. Існуючим технологіям зберігання енергії бракує інфраструктури для високоефективного зберігання та використання енергії.

Штучний інтелект відкриває кілька способів оптимізації інфраструктури та підвищення віддачі споживача від об'єкта зберігання енергії відновлюваної енергії. Він може допомогти в передбаченні, обробці великих обсягів даних, глибокому навчанню та обчисленням на рівні мережі для отримання таких результатів.

Розумне сховище збирає інформацію, яку можна постійно реєструвати та оцінювати навантаження, виробництво електроенергії, погодні умови, перевантаження мережі тощо. Досягнення більшого масштабу та більш комплексного зберігання даних за допомогою хмарних технологій, а також цифрове керування інтелектуальною роботою обладнання для зберігання енергії терміналів для зберігання енергії.

Застосунки інтелектуального сховища батарей дозволяють діагностувати проблеми з даними в режимі реального часу щохвилини. Кожну батарею можна віддалено перевіряти щодо стану здоров'я батареї і причин аварійного відключення за допомогою візуалізації даних.

## 1.5 Висновки за розділом

У розділі докладно оглянуто різноманітні аспекти використання штучного інтелекту (ШІ) в енергетичній сфері.

Огляд та аналіз існуючої системи моніторингу ДБЖ вказали на ряд недоліків у функціональності та управлінні. Розробка інтелектуальної системи моніторингу може допомогти вирішити ці проблеми та покращити ефективність управління безперебійним живленням.

Аналіз схем підключення та режимів роботи агрегатів безперебійного живлення підкреслив важливість вибору оптимального типу для забезпечення надійності систем безперебійного живлення.

Розгляд різноманітних програмних продуктів інтелектуального моніторингу підкреслив їхню різноманітність та переваги. Обираючи з трьох найбільш популярних рішень важливо враховувати конкретні потреби підприємства та технічні вимоги.

Штучний інтелект виявляється потужним інструментом для покращення управління енергетикою, забезпечуючи прогнозування, автоматизацію та ефективне вирішення завдань в енергетичній сфері. Застосування штучного інтелекту в передачі та постачанні електроенергії виявляється різнобічним та перспективним. Його вплив охоплює оптимізацію мереж, контроль параметрів, діагностику несправностей, прогнозування та управління зберіганням енергії, відкриваючи нові можливості для покращення ефективності та надійності електроенергетичних систем.

## РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ ЕНЕРГОСИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

### 2.1 Огляд методів та алгоритмів штучного інтелекту

Розглянемо деякі загальноживані методи ML для прогнозного обслуговування відновлюваної енергетики. Для спрощення класифікуємо існуючі методи на основі сімейства алгоритмів ML.

#### Класичні методи ML

Переважає більшість робіт з предиктивного обслуговування спирається на класичні методи ML, такі як SVMs (Метод опорних векторів), Random Forest RF (Випадковий ліс), Decision Trees (Дерева рішень) та Nearest Neighbours (Найближчі сусіди) [16]. Існує кілька ключових характеристик класичних алгоритмів ML, які роблять їх можливим рішенням для кількох завдань. Наприклад, ці алгоритми можуть бути розгорнуті на низькопродуктивних машинах з обмеженими обчислювальними можливостями та можливостями зберігання даних. Однак найважливішою характеристикою цих алгоритмів є висока здатність до інтерпретації. Однак ці алгоритми підходять лише для невеликих наборів даних. Крім того, ці алгоритми вимагають наявності штучних ознак, які дуже складно виділити, і загалом вимагають глибоких знань про предметну область.

Більшість початкових зусиль з прогнозування технічного обслуговування систем відновлюваної енергетики покладаються на класичні алгоритми ML, навчені на штучних ознаках. У більшості робіт для класифікації використовуються SVM. Наприклад, в [17] використовували декілька класичних алгоритмів ML, включаючи алгоритм Boosting Tree Algorithm (BTA), SVM на ознаках, витягнутих з

даних вітрових турбін. Набір ознак складається з 60 різних параметрів/ознак, розділених на чотири групи. В роботі [18] також використовували SVM разом з деревами рішень як класифікатор для діагностики несправностей підшипників.

#### Нечітка логіка(Fuzzy Logic)

Нечітка логіка - це тип алгоритмів ШІ, який спрямований на досягнення інтелекту шляхом створення нечіткої логіки параметрів, що беруть участь у застосуванні. Однією з ключових переваг методів, заснованих на нечіткій логіці, є висока інтерпретованість, оскільки результат цих методів зрозумілий людині. Здатність до високої інтерпретації базується на механізмі роботи, оскільки нечіткі класи та правила визначаються людьми-експертами. Однак, визначення таких правил вимагає глибоких знань про предметну область, що також є одним з його ключових обмежень у порівнянні з іншими типами методів ШІ, такими як ШНМ.

Як і в інших сферах застосування, таких як зв'язок, охорона здоров'я та промислове виробництво, методи на основі нечіткої логіки широко застосовуються для прогнозування технічного обслуговування систем відновлюваної енергетики. Наприклад, в [19] пропонують систему на основі нечіткої логіки для моніторингу стану та виявлення несправностей у вітрових турбінах.

#### Приховані марковські моделі (HMMs)

HMMs належать до сімейства генеративних моделей ML, які дозволяють моделювати та описувати еволюцію спостережуваних подій залежно від прихованих або неспостережуваних внутрішніх факторів. У літературі вони широко досліджуються для різноманітних застосувань, таких як розпізнавання мови, переклад з мови на текст, моделювання та аналіз помилок послідовності ДНК, соціальна взаємодія. Існує кілька варіантів HMMs, таких як профільні, парні та контекстно-залежні.

Існує кілька переваг HMMs, які роблять його кращим вибором для профілактичного обслуговування систем відновлюваної енергетики. Наприклад, HMMs дуже ефективні в діагностиці несправностей і аналізі деградації випадкових і динамічних систем, а також нестационарних сигналів, особливо у випадку систем з декількома режимами відмов.

Ці алгоритми також дозволяють вчитися на неповних даних і здатні моделювати як часові, так і просторові дані. Існують також певні обмеження HMMs. Наприклад, ці моделі не працюють для сценаріїв, де стани відмов можна спостерігати. Крім того, для точного моделювання потрібні великі навчальні дані. HMMs краще підходять для сценаріїв, де кількість прихованих станів не дуже велика, і є обчислювально дорогими в ситуаціях, коли кількість прихованих станів велика. Крім того, HMMs може надати лише оцінку, оскільки справжні переходи між станами не можна спостерігати.

В літературі описано кілька цікавих рішень для прогнозного технічного обслуговування, що спираються на HMMs. Наприклад, в [20] запропоновано фреймворк на основі HMM для виявлення несправностей у вітроенергетичних системах.

### Нейронні мережі (NNs)

Нейронні мережі обробляють дані так само, як це робить людський мозок. ANN - це мережа штучних нейронів, розроблених для конкретного застосування. Завдяки видатним можливостям самонавчання та здатності працювати з недостатніми знаннями, ШН широко використовуються в різноманітних додатках для обробки мовлення, зображень, текстів і розпізнавання відео. Деякі ключові переваги нейронних мереж є можливість моделювання нелінійних багатовимірних, складних систем. Крім того, ШН є стійкими до шуму завдяки здатності обробляти нелінійну інформацію.

Існує кілька типів архітектур нейронних мереж, таких як нейронна мережа з прямим зв'язком, одно- та багатоваршарові нейронні мережі

персептронів, рекурентні нейронні мережі (RNNs), модульні нейронні мережі (MNNs) та згорткові нейронні мережі (CNNs). У літературі виділяють декілька типів NNs, які застосовуються для прогнозного обслуговування систем відновлюваної енергетики [21]. ANNs, RNN та CNN є одними з найбільш часто використовуваних архітектур NNs що використовуються для прогнозного обслуговування енергетичних систем.

CNN - ще одна відома архітектура нейронних мереж. Подібно до інших додатків, таких як розпізнавання відео та зображень і класифікація зображень, CNN також широко досліджуються у предиктивному обслуговуванні енергетичних систем. CNN є більш ефективним у рішеннях на основі зображень для виявлення і класифікації несправностей в енергетичних системах. Таблиця 2.1 підсумовує плюси і мінуси різних методів прогнозування технічного обслуговування систем відновлюваної енергетики.

Прогнозне технічне обслуговування не тільки призводить до значного скорочення витрат на технічне обслуговування, але й збільшує термін служби і продуктивність різних компонентів електростанцій. Однак доцільність і ефективність профілактичного обслуговування значною мірою залежать від наявності якісних даних для підготовки та оцінки прогнозних моделей для моніторингу, виявлення та прогнозування несправностей

Таблиця 2.1 - Порівняння методів прогнозного обслуговування складних систем

| Методологія   | Переваги   | Недоліки  |
|---|--|---|
| Hidden Markov Model (HMM)<br>(Прихована Модель Маркова) | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Ефективно працює для діагностики несправностей і системного аналізу деградації випадкових динамічних систем і нестационарних сигналів</li> <li>– Найкраще підходить для систем, які мають режими кількох відмов.</li> <li>– Оскільки алгоритм має можливість моделювати різні стадії деградації, отже, він може враховувати немонотонні тенденції відмов.</li> <li>– Можливість моделювати як часові, так і просторові дані.</li> <li>– Можливість швидко працювати з неповними наборами даних.</li> <li>– Прогнози RUL за допомогою HMM також надають довірчі інтервали.</li> <li>– Успішне впровадження в реальному житті, оскільки інтерпретація та розуміння моделі є простим.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Модель не працює для сценаріїв, де стани відмов є видимими.</li> <li>– Пропорційно до прихованих станів, необхідна велика кількість навчальних даних для точного моделювання.</li> <li>– Алгоритм є обчислювально дорогим для ситуацій коли кількість прихованих станів велика.</li> <li>– Ефективність прогнозування залежить від вибору порогу відмов.</li> <li>– Не може моделювати непередбачувані та нові несправності.</li> <li>– HMM може надати лише оцінку, оскільки істинні переходи стану не можна спостерігати.</li> </ul> |
| SVMs<br>(Метод опорних векторів)                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Висока точність і надійність при нелінійних і вхідних даних більшої розмірності.</li> <li>– Динамічні SVM мають кращу здатність моделювати нестационарні часові ряди.</li> <li>– Розширені межі прийняття рішень.</li> <li>– Вища точність та ефективність.</li> <li>– Добре працює як для великих, так і для малих наборів даних.</li> <li>– Можливість проведення аналізу в реальному часі.</li> <li>– Виявляється ефективним методом прогнозування навіть для обмежених вибірках.</li> <li>– SVMs більш ефективно використовує пам'ять.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Навчання потрібно проводити як на позитивних так і на від'ємних прикладах.</li> <li>– Продуктивність погіршується у випадках, коли кількість ознак перевищує кількість навчальної вибірки даних.</li> <li>– Не існує точного ймовірнісного пояснення моделі SVMs.</li> <li>– Не дає прямого правила.</li> <li>– Потребує тонкого налаштування параметрів.</li> <li>– Результатом регресії та класифікації SVM є лише точкові оцінки.</li> </ul>  |

## Продовження таблиці 2.1

|   |   |   |
|---|---|---|
| <p>Artificial Neural Network (ANN)<br/>(Штучна нейронна мережа)</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Здатність моделювати нелінійні, багатовимірні, складні системи.</li> <li>– Стійкість до шуму завдяки здатності обробляти нелінійну інформацію.</li> <li>– Здатність здійснювати неконтрольоване навчання та моделювати складні явища.</li> <li>– Можливість ефективно працювати з неточними та складними даними.</li> <li>– Паралельна структура моделі робить її обчислювально недорогою і, отже, придатну для роботи в реальному часі.</li> <li>– Здатність обробляти багатовимірні системи з високою швидкістю і точністю.</li> <li>– Здатність витримувати пошкодження мережі завдяки відмовостійкої поведінки.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Необхідна значна попередня обробка вхідних даних для зменшення розмірності та складності.</li> <li>– Потрібна велика кількість навчальних даних, що охоплюють варіабельність і діапазони, і вони повинні бути правдивим відображенням вихідних даних.</li> <li>– Вдосконалення моделі може бути трудомістким процесом.</li> <li>– Процес прийняття рішень у навченій мережі залишається таємницею для користувачів.</li> </ul> |
| <p>Fuzzy Logic<br/>(Нечітка логіка)</p>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Можливість здійснювати класифікацію за станом на основі історичних даних.</li> <li>– Здатність ефективно працювати зі складними системами та неточними даними.</li> <li>– Виконує виключно розробку моделей даних на основі на невизначеності.</li> <li>– Інтерпретація моделі є простішою.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Неможливо вказати точний час та ймовірність збою.</li> <li>– Продуктивність погіршується, коли функції учасників складні.</li> <li>– Не здатна до самонавчання і потребує допомоги експертів з предметної області для розробки нечітких правил.</li> </ul>   |

## 2.2 Огляд методів оцінки надійності енергосистем

Існує багато методів оцінки надійності з метою подовження життєвого циклу системи, максимізації прибутку та прогнозування життєвого циклу активів або систем в організації, особливо в системах розподілу електроенергії.

"Надійність - це здатність системи виконувати її бажані функції за вказаних умов, в яких вона була розроблена для роботи. З цією концепцією надійність електроенергетичної системи - це здатність системи постачати електроенергію до всіх точок споживання за прийнятними показниками і в необхідній кількості" [22].

Попередні заходи або заходи з профілактичного технічного обслуговування матимуть наслідки для надійності схеми, подовжуючи термін служби активу та відновлюючи його стан. Зазвичай «превентивне технічне обслуговування — це готовність до відмов і вжиття важливих профілактичних дій до того, як вони відбудуться». Основні цілі профілактичних робіт – впливати на роботу обслуговування, модифікацію і запобігання виходу з ладу обладнання в робочому стані. Надійність також може зменшити період перебоїв з електропостачанням. Заходи попереднього обслуговування можуть запобігти реальній причині поломки в системі.

Надійність системи живлення ділиться на дві частини: достатність і безпеку. Достатність означає здатність системи задовольняти енергетичні потреби споживачів і навантаження без порушення встановлених обмежень для всіх конкретних випадків виходу з ладу компонентів. "Безпека означає здатність системи протистояти різноманітним динамічним або тимчасовим порушенням". Тому безпека пов'язана з реакцією системи на будь-які відхилення, яким вона піддається. Використання передбачуваних факторів для визначення

можливих відмов дозволить уникнути перешкод, оскільки профілактичне технічне обслуговування може бути завершено до повної відмови. Крім того, раннє виявлення несправностей або несправностей з високим імпедансом у системах розподільної електроенергії підвищить надійність електропостачання. Дослідження показали, що технічне обслуговування покращує надійність елемента, що в кінцевому підсумку відобразиться на всій системі, оскільки енергосистема складається з різних взаємопов'язаних елементів.

#### Теоретична / концептуальна основа

З багатьма різноманітними функціональними вимогами та змінними ситуаціями надійність має різні значення для різних людей. Загальноприйнятій опис надійності описує її як «характеристику предмета, виражену ймовірністю того, що він буде виконувати необхідну функцію за заданих умов протягом встановленого періоду часу».

Концептуальна основа пояснюється рівняннями (1) - (4) нижче.

$$R(t) = P [E \text{ не вийшов з ладу протягом часового інтервалу } [0, t]] \quad (2.1)$$

Ненадійність є доповненням до надійності.

Загальноприйняте пояснення доступності описує це як «характеристику предмета, виражену ймовірністю того, що він буде виконувати необхідну функцію за встановлених умов у встановлений момент часу». Головним чином, інтервали часу, коли обладнання або пристрої доступні, і інтервали часу, коли пристрої або обладнання недоступні, розглядаються як:

$$A(t) = P [E \text{ не вийшов з ладу протягом часу } t] \quad (2.2)$$

Недоступність є доповненням доступності. Арифметичний опис надійності пов'язаний із функцією щільності ймовірності  $f(t)$ , надійність  $R(t)$  – це ймовірність того, що змінна є принаймні такою ж великою, як  $t$ , як показано в рівнянні (3). Для неперервних випадкових величин відповідне рівняння подається так:

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (2.3)$$

Рівняння (4) подає різний випадковий фактор і наведено нижче в рівнянні (4).

$$R(t_i) = \sum_{i=1}^{i=k} f(t_i) \quad (2.4)$$

### 2.3 Прогнозоване обслуговування енергетичних систем на основі ШІ

Постійне вдосконалення технології та зусилля щодо забезпечення безперебійного живлення кінцевих користувачів сильно залежать від ефективної та стійкої до збоїв системи експлуатації та технічного обслуговування (О&М). Тому були запроваджені інноваційні алгоритми та методи, спрямовані на мінімізацію часу простою обладнання. Розробляються надійні системи прогнозного технічного обслуговування, які можуть ідентифікувати несправності до їх виникнення. З цією метою використовуються складні методи аналізу

даних і машинного навчання (ML), щоб підвищити загальну ефективність цих систем прогнозного обслуговування.

Набір різноманітних дій, які виконуються в системі для безперебійного виконання її робочого стану, відомий як моніторинг стану системи System Health Monitoring (SHM) або моніторинг на основі умов Condition Based Monitoring (CBM). CBM обмежується лише спостереженням за поточним робочим станом системи. Таким чином, дії з ремонту та технічного обслуговування генеруються виключно на основі цих поточних станів. Коли ці поточні робочі стани доповнюються передбаченням майбутніх станів відмови, процес тоді називається Прогнозним обслуговуванням або Прогностикою Predictive Maintenance or Prognostics [23]. Прогнозування є дуже складною процедурою і потребує точних, адаптивних та інтуїтивно зрозумілих моделей. Ці моделі використовуються для прогнозування майбутніх станів відмови системи. Отже, прогнозування допомагає скоротити час простою машини та збільшити залишковий термін корисного використання обладнання Remaining Useful Life (RUL).

Традиційні методи технічного обслуговування здебільшого ґрунтуються на реактивному підході або незапланованому технічному обслуговуванні, тобто технічне обслуговування проводиться після того, як сталася поломка. Це також відоме як технічне обслуговування від роботи до відмови. Інший підхід, відомий як превентивне технічне обслуговування Preventive Maintenance (PM), коли машина перевіряється через заздалегідь визначені проміжки часу. PM є суто періодичним і не враховує фактичний стан машини. Замість переважного стрімкого технологічного розвитку системи та машини стають дедалі складнішими.

Ця складність породила потребу в підвищеній надійності та менших простоях, що експоненціально збільшує витрати, пов'язані з PM, отже, роблячи його менш здійсненним варіантом. Складність і

ризиками, пов'язані з обслуговуванням енергосистем, вимагають більш ефективної, надійної та міцної системи обслуговування, такої як CBM. CBM - це техніка технічного обслуговування, яка прагне зменшити частоту незапланованих коригувальних або запланованих РМ шляхом активного моніторингу поточного робочого стану машини та виділення ненормальної поведінки системи. Таким чином, CBM не тільки знижує витрати на технічне обслуговування, але й допомагає скоротити час простою установки чи обладнання. Процес CBM пов'язано з трьома кроками, як показано на рисунку 2.1.

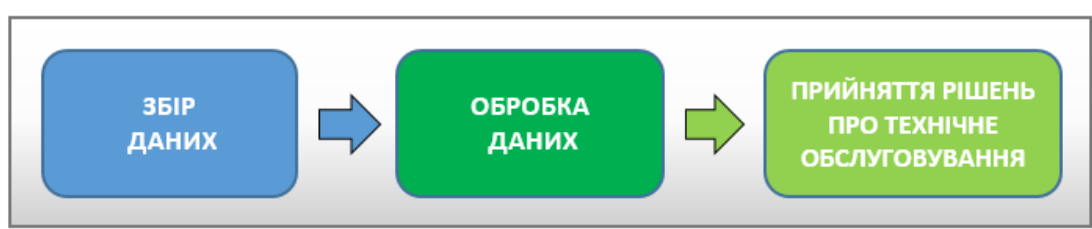


Рисунок 2.1 - Три кроки процесу CBM

Етап збору даних передбачає моніторинг поточного робочого стану системи та збір відповідних даних. По-друге, зібрані дані попередньо обробляються шляхом нормалізації та видалення викидів. Попередньо оброблені дані легко зрозуміти, а також полегшують процес прийняття рішень. Нарешті, алгоритми машинного навчання (ML) застосовуються до попередньо оброблених даних, щоб прийняти рішення про проведення технічного обслуговування. CBM називається діагностичною системою, якщо вона включає лише звичайні реактивні засоби технічного обслуговування, тоді як вона називається системою прогнозування, якщо вона проактивно визначає несправності до їх появи.

Прогностична система передбачає приблизний проміжок часу до того, як може виникнути мабутня несправність. Отже, прогнозування –

це попередній аналіз подій, тоді як діагностика – це подальший аналіз подій. У системах виробництва електроенергії, де скорочення часу простою машин неминуче, прогнозування перевершує системи діагностики. Однак, коли прогностична система не може передбачити несправність, необхідна діагностика, щоб ізолювати несправність системи та усунути її. Отже, підхід SVM включає один або обидва діагностичні та прогностичні методи ідентифікації несправності.

Прогнозування є важливим видом діяльності для передбачення правил експлуатації та оптимізації енергетичної системи. Збої на таких ключових об'єктах можуть призвести до тривалих простоїв, що спричинить економічні збитки і порушить енергетичну безпеку. Тому вибір найбільш придатного і відповідного алгоритму для прогнозування цих складних систем є дуже важливим.

## 2.4 Висновки за розділом

В розділі розглянуті різноманітні методи та алгоритми штучного інтелекту, які можуть бути використані для прогнозування технічного обслуговування систем відновлюваної енергетики.

Наведено порівняння цих методів, висвітлені плюси і мінуси різних підходів. Класичні методи ML, такі як SVMs, Random Forest, Decision Trees та Nearest Neighbours, застосовуються для прогнозування на основі штучних ознак. До переваги можна віднести здатність до інтерпретації, але є і обмеження, пов'язані з роботою на невеликих наборах даних та необхідністю штучних ознак. Нечітка логіка привнесла високу інтерпретованість в моделі, але її обмеженням є потреба в глибоких знаннях експертів і складнощі визначення нечітких правил. Приховані марковські моделі (HMMs) дозволяють моделювати

деградацію та аналізувати динамічні системи, але мають обмеження стосовно навчання на неповних даних і великих навчальних наборах. Нейронні мережі (NNs), зокрема Convolutional Neural Networks (CNNs), відзначаються здатністю моделювати нелінійні багатовимірні системи, але вони можуть вимагати значних обчислювальних ресурсів.

Інноваційні алгоритми та методи, такі як машинне навчання (ML), використовуються для створення надійних систем прогнозного технічного обслуговування. Вони можуть ідентифікувати несправності до їх виникнення, сприяючи зменшенню часу простою та збільшенню залишкового терміну корисного використання обладнання (RUL).

Прогнозоване обслуговування є критичним для підтримки ефективності та надійності енергетичних систем, є ключовим елементом для оптимізації їх роботи та мінімізації економічних збитків, пов'язаних з простоями обладнання.

### РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ЗАСОБІВ МОДЕЛЮВАННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ (ПТК)

В таблиці 3.1 описано які діаграми буде доцільно побудувати в рамках роботи [24]. Технічне завдання на розробку програмно - технічного комплексу(ПТК) представлено в додатку Б.

Таблиця 3.1 - Перелік діаграм UML для побудови в роботі

| № | Тип діаграми                    | Роль у процесі проектування  |
|---|---------------------------------|--|
| 1 | Контекстна діаграма IDEF0       | Визначення та представлення функціональної структури системи. Основна мета - уявити систему на високому рівні та зазначити її взаємодію з оточуючим середовищем.   |
| 2 | Діаграма варіантів використання | Відображає функціональність системи та взаємодії між її складовими частинами (акторами) та випадками використання (use cases).   |
| 3 | Діаграма діяльності             | Представляє розкладання на складові частини деякої діяльності, а саме: скоординованого виконання окремих дій і вкладених видів діяльності, які з'єднуються між собою потоками від виходів одного вузла до входів іншого, із зазначенням їх виконавців. |
| 4 | Діаграма послідовності          | Відображає взаємодію між об'єктами в системі в залежності від часу. Вона використовується для моделювання взаємодій між різними частинами системи, такими як об'єкти, класи або компоненти, а також порядок викликів, які вони роблять один одному.    |
| 5 | Діаграма сутність-зв'язок       | Відображає взаємозв'язки між різними сутностями (об'єктами) у системі. Допомогає визначити сутності, їх атрибути та зв'язки між ними.  |

Структурно - функціональна модель у вигляді контекстної діаграми в нотації IDEF0 для розглянутого бізнес-процесу приведена на рисунку 3.1, ілюструє зовнішні сутності та системні інтерфейси для ПЗ, що розробляється.

Для проведення моніторингу стану ДБЖ формується перелік параметрів контролю (напруга, струм, навантаження, температура та ін.). Цей перелік є вхідним потоком для активності «Інтелектуальна система моніторингу стану ДБЖ». Вихідні дані у вигляді звітності і трендів використовуються сутністю «Користувач серверу візуалізації SCADA». Адміністратор системи надає рівень доступу для різних користувачів, обслуговує, відповідає за функціонування бази даних. В процесі експлуатації розроблюваної системи усі користувачі керуються існуючим стандартом ДБЖ.

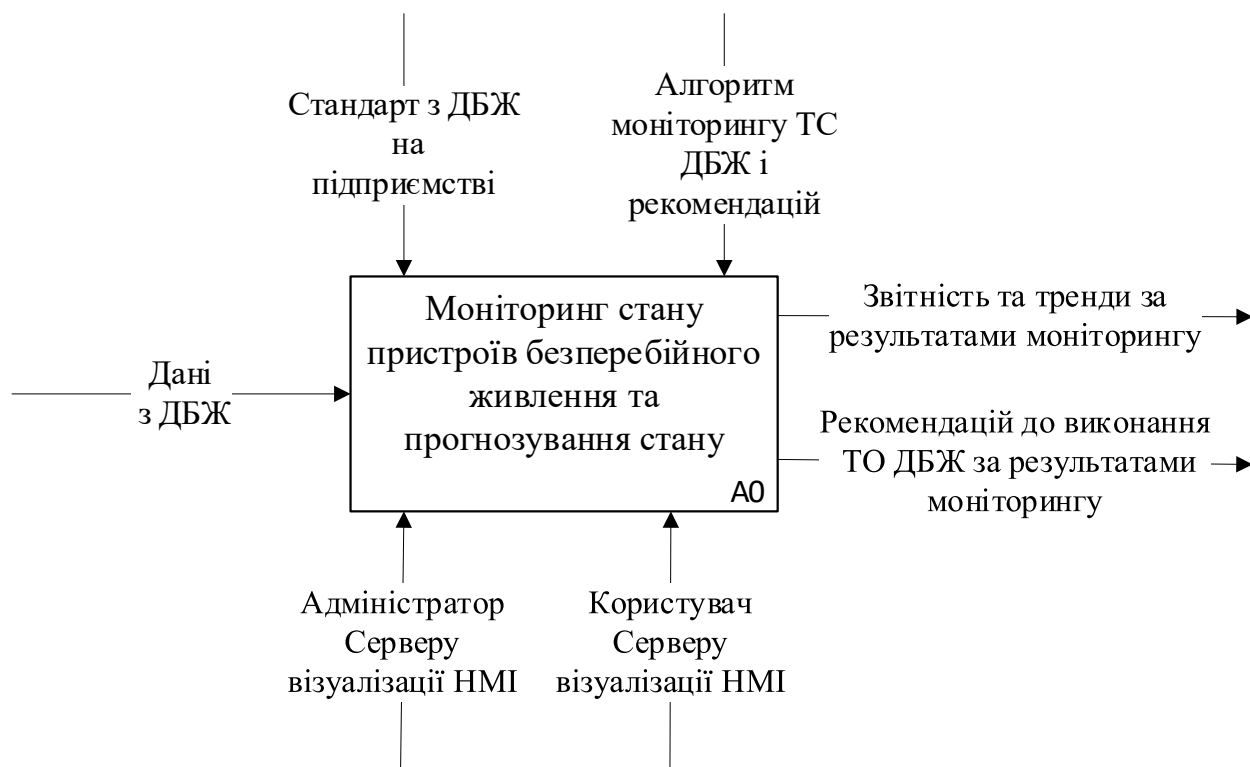


Рисунок 3.1 – Контекстна діаграма в нотації IDEF0

Список основних функцій представлений в таблиці 3.2:

Таблиця 3.2 - Список основних функцій розробляємої системи

| Код   | Функція  |
|-------|--|
| PF-01 | Отримання даних(вимірювальних параметрів) з окремих ДБЖ  |
| PF-02 | Візуалізація параметрів ДБЖ на існуючому сервері візуалізації SCADA-системи Factory Talk                 |
| PF-03 | Безперервний моніторинг параметрів ДБЖ   |
| PF-04 | Накопичення даних в БД MS SQL  |
| PF-05 | Формування звітності у вигляді усереднених таблиць   |
| PF-06 | Аутентифікація користувача на сервері візуалізації з правами «Аналітик»                                  |
| PF-07 | Формування звітності у вигляді трендів   |
| PF-08 | Виведення попереджувальної сигналізації про відхилення контрольованих параметрів ДБЖ від статусу «норма» |
| PF-09 | Експорт параметрів до зовнішній системи RapidMiner, MS Excel.  |
| PF-10 | Видача рекомендації, що до необхідності проведення технічного обслуговування ДБЖ                         |

Опис варіантів використання представлено в діаграмі Use Case на рисунку 3.2. Короткий опис користувачів системи наведено в таблиці 3.3

Таблиця 3.3 - Опис користувачів системи

| Користувач            | Короткий опис   |
|-----------------------|---|
| Адміністратор системи | Виконує керування обліковими записами.<br>Керує доступом до БД.   |
| Користувач системи    | Отримає інформацію від системи про параметри ДБЖ.<br>Формує запит на звітність та отримує звітність.  |
| Аналітик системи      | Виконує авторизацію в системі.<br>Виконує аналіз отриманих даних.<br>Виконує експорт в зовнішні програмні продукти.<br>Виконує побудову прогнозної моделі |

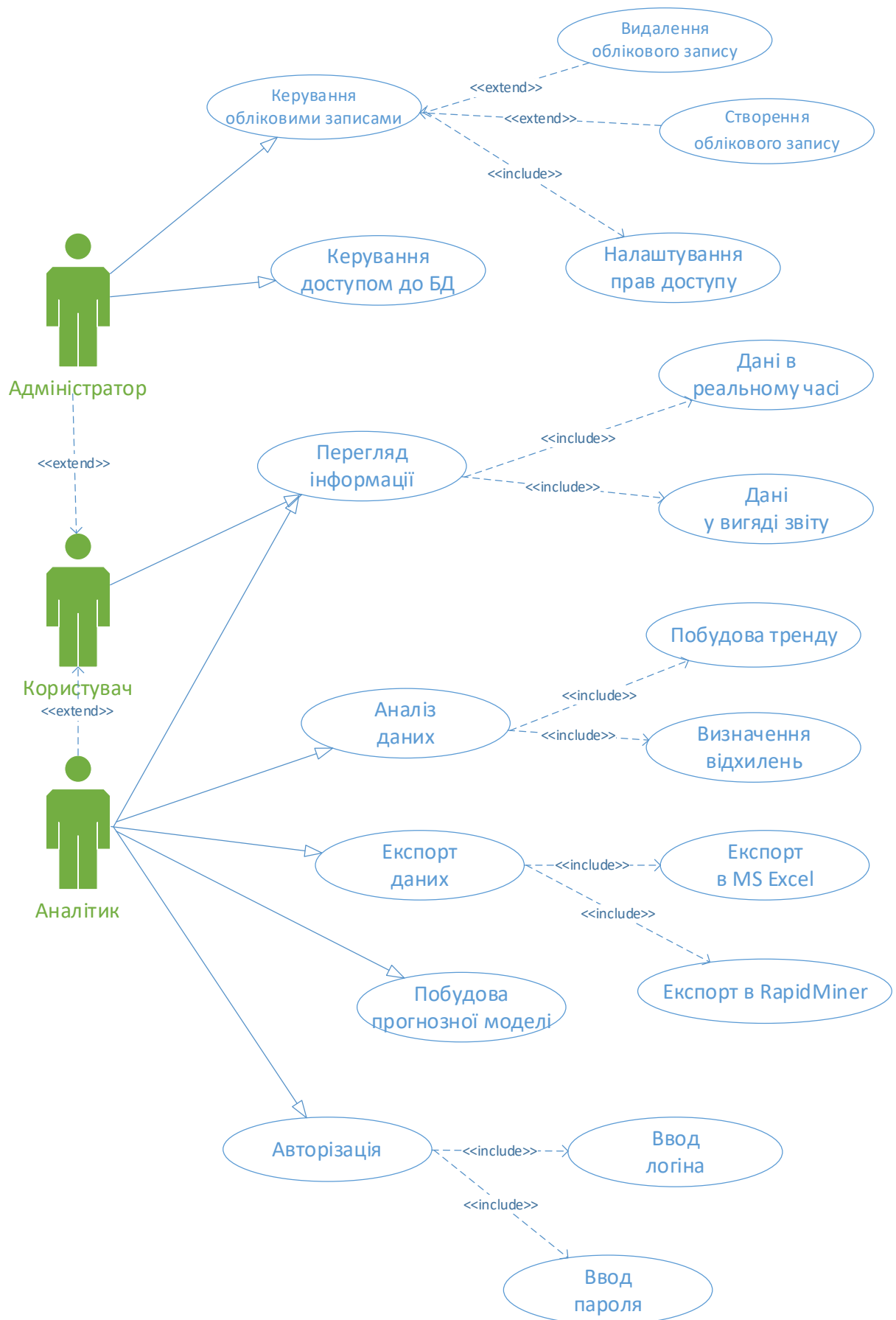


Рисунок 3.2 – Діаграма Use Case для системи моніторингу стану ДБЖ

Побудуємо діаграму діяльності для одного з варіантів використання системи «Аналіз даних – побудова тренду» (рисунок 3.3).

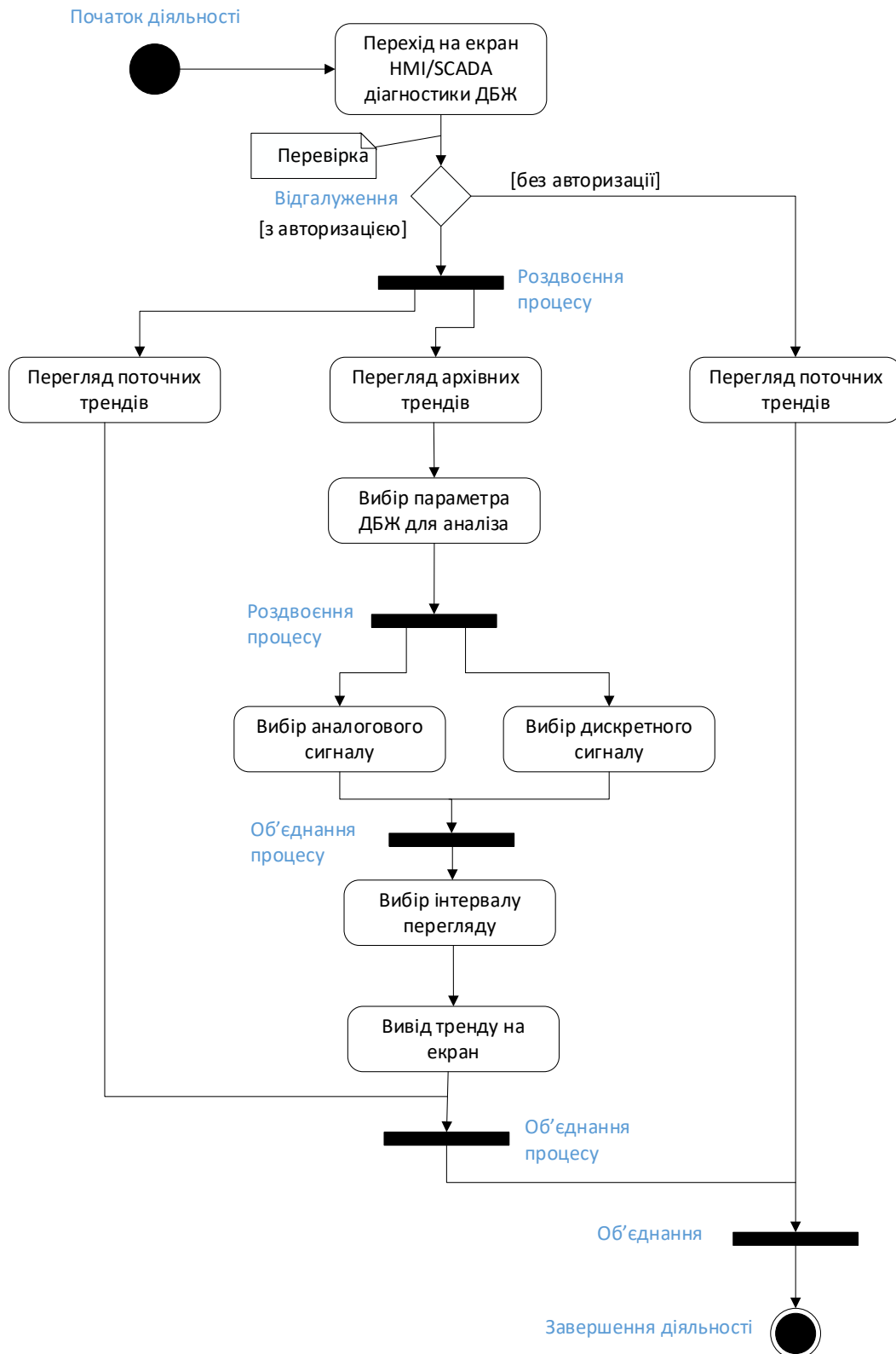


Рисунок 3.3 - Діаграма діяльності для процесу побудови трендів

За допомогою цієї діаграми детально розписано один з процесів(дій), а саме побудова тренду через окремий SCADA-екран діагностики, результатом якого є вивід на екран трендів двох видів – поточного чи архівного для проведення аналізу змін на заданому інтервалі часу. В діаграмі присутні одно відгалуження, та 2 роздвоєння процесу.

Створимо діаграму послідовності досліджуваного процесу формування звіту (рисунок 3.4).

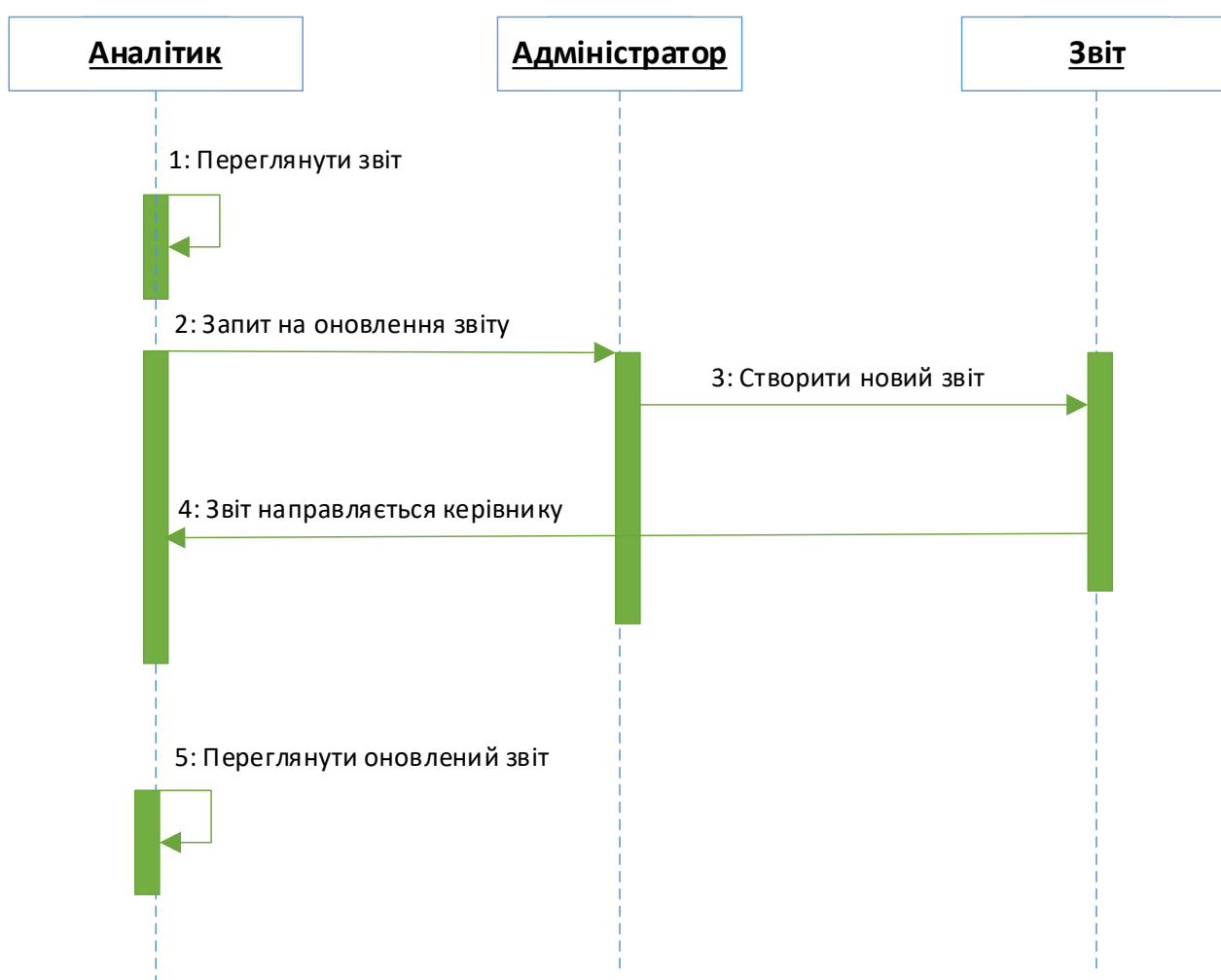


Рисунок 3.4 - Діаграма послідовності процесу формування звіту

На цій діаграмі для набору об'єктів (Аналітик, Адміністратор, Звіт) на єдиній часовій осі показано життєвий цикл об'єкта та взаємодію акторів інформаційної системи в рамках прецеденту.

Створимо діаграму сутності-зв'язку (ERD) (рисунок 3.5).

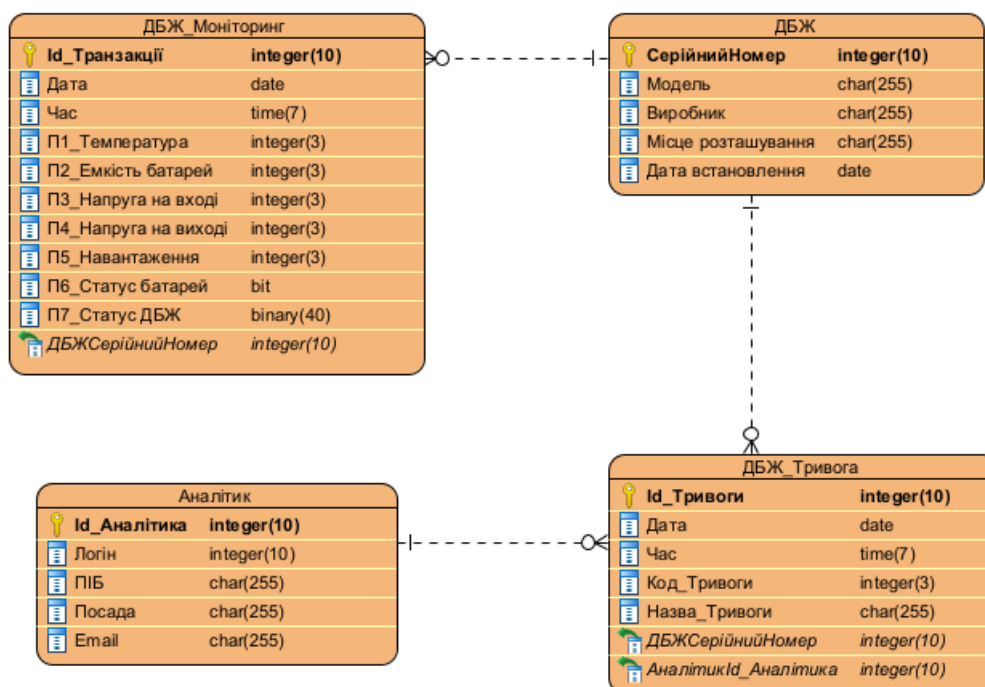


Рисунок 3.5 – Діаграма сутності-зв'язку (ERD)

Представлена структурна схема класів відповідає за виконання таких функцій програми, як встановлення з'єднання з СУБД MS SQL, робота з даними, формування звітів при виникненні тривожної ситуації.

Діаграма містить чотири класи, в яких зберігається інформація, а саме:

- «ДБЖ\_Моніторинг» - по контролюючим параметрам ДБЖ;
- «ДБЖ» - по характеристикам встановлених ДБЖ;
- «ДБЖ\_Тривога» - по всім виниклим тривогам;
- «Аналітик» - по відповідальним працівникам.

В процесі розробки програмного продукту для зберігання цієї інформації використовуються таблиці баз даних. Перелік таблиць, їх назви, призначення, перелік полів, типи даних будуть наведені у відповідному розділі цієї роботи.

### 3.1 Висновки за розділом

В рамках даного розділу магістерської роботи було проведено ретельний аналіз та моделювання програмно-технічного комплексу (ПТК) для розробляємої системи. В процесі проектування були розроблені різноманітні діаграми в нотації UML, такі як контекстна діаграма IDEF0, діаграма варіантів використання, діаграма діяльності, діаграма послідовності та діаграма сутність-зв'язок.

Вказано перелік основних функцій розроблюваної системи, та визначені її користувачі, надано короткий опис їх ролей та функцій у рамках системи.

Діаграми діяльності та послідовності ілюструють послідовність кроків та взаємодію між об'єктами системи. Діаграма сутності-зв'язку (ERD) відображає структуру бази даних та зв'язки між основними сутностями програмного продукту, служить основою для подальшої реалізації та зберігання інформації у базі даних MS SQL.





## РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

Для визначення втрат при виникненні аварійної ситуації в системі безперебійного живлення поведемо розрахунок на підставі інформації отриманої від економіста доменного цеху ПрАТ "КАМЕТ-СТАЛЬ".

При збої в роботі ДБЖ та умовному відновленні роботи за 1 годину вартість простою доменної печі №1М доменного цеху становитиме, з урахуванням ціноутворення на грудень 2020р.:

$$1/24 * 1,5 * 2625 = 164,06 \text{ т.} \quad (6.1)$$

(втрати чавуну в період простою в тонах)

$$164,06 * 649,89 = 106620,95 \text{ грн.} \quad (6.2)$$

(втрати чавуну в грошовому еквіваленті)

де: 1,5 - коефіцієнт зменшення часу простоїв на кожен 1%

2625 - планове добове виробництво

649,89 - умовно-постійна частина

Таким чином, при невиконанні контролю і технічного обслуговування ДБЖ втрати від одного збою становитимуть:

106620,95 грн = \$2,88 тис. (для розрахунків приймемо курс 1\$ = 37 грн.)

У разі щомісячних збоїв такого роду втрати на рік:

$$\text{\$}2,88 \text{ тис.} * 12 = \text{\$}34,58 \text{ тис.} \quad (6.3)$$

На рисунку 6.1 показано розрахунок оцінки ризиків за проектом.



## Оцінка ризиків за проектом

**34,6**  
тис. \$  
Розмір  
можливих  
втрат

|             |                  |                          |      |         |          |      |
|-------------|------------------|--------------------------|------|---------|----------|------|
| Імовірність | Висока           | 5-1                      | 5-2  | 5-3     | 5-4      | 5-5  |
|             | Вище Середнього  | 4-1                      | 4-2  | 4-3     | 4-4      | 4-5  |
|             | Середня          | 3-1                      | 3-2  | 3-3     | 3-4      | 3-5  |
|             | Нижче середнього | 2-1                      | 2-2  | 2-3     | 2-4      | 2-5  |
|             | Низька           | 1-1                      | 1-2  | 1-3     | 1-4      | 1-5  |
|             |                  | <2                       | 2-25 | 25 - 50 | 50 - 100 | >100 |
|             |                  | Рівень наслідків, \$ млн |      |         |          |      |

Формулювання ризикової події

Вимкнення живлення ПЛК агрегатів ДП-1М

Рисунок 6.1 - Розрахунок оцінки ризиків за проектом

Розглянемо структуру витрат на реалізацію програмного комплексу інтелектуальної системи моніторингу стану пристроїв ДБЖ. Витрати в узагальненому вигляді складається з 3-х частин.

1) Витрати на придбання ліцензій для програмного забезпечення:

- The SNMP Suite (Agent) для KEPServerEx для 1-15 пристроїв \$638 на рік.

- RapidMiner Studio. Є частиною платформи RapidMiner і доступна безкоштовно для науковців(студентів), які шукають наскрізну платформу науки про дані для навчальних або дослідницьких цілей. Була використана в рамках магістерської роботи.

Базова ліцензія - \$10.00 на місяць, \$120.00 на рік.

Разом затрати на стороннє ПЗ - \$758 на рік.

| [Company Name]   |                     | Date:              | 25.10.2023          |                    |                |                     |              |
|--|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|----------------|---------------------|--------------|
| [Street Address]   |                     | Quote #:           | -                   |                    |                |                     |              |
| [City, State, Zip Code]  |                     | Customer ID:       | 2300                |                    |                |                     |              |
| [Website]  |                     | Valid Until:       | 25.11.2023          |                    |                |                     |              |
| [Phone/Fax]  |                     |                    |                     |                    |                |                     |              |
| [Prepared By.]   |                     |                    |                     |                    |                |                     |              |
| [Customer]   |                     |                    |                     |                    |                |                     |              |
| [Name]   |                     |                    |                     |                    |                |                     |              |
| [Company Name] ПрАТ "КАМЕТ-СТАЛЬ"  |                     |                    |                     |                    |                |                     |              |
| [Street Address] вулиця Соборна, 18Б   |                     |                    |                     |                    |                |                     |              |
| [City, State, Zip Code] Кам'янське   |                     |                    |                     |                    |                |                     |              |
| [Phone/Fax/Email]  |                     |                    |                     |                    |                |                     |              |
| <b>Ініціація проекту</b>   | <b>Assigned To:</b> | <b>Labor</b>       | <b>Materials</b>    | <b>Other costs</b> | <b>Reserve</b> | <b>Total</b>        | <b>Notes</b> |
| Визначення потреб замовника та мети проекту  |                     | \$ 640,00          |                     | \$ 300,00          |                | \$ 940,00           |              |
| Збір інформації  |                     | \$ 280,00          |                     | \$ 500,00          |                | \$ 780,00           |              |
| Проведення аналізу   |                     | \$ 360,00          |                     |                    |                | \$ 360,00           |              |
| Визначення основних стейкхолдерів, проведення стартових зустрічей  |                     | \$ 640,00          |                     | \$ 200,00          |                | \$ 840,00           |              |
| Пошук альтернатив рішень на передових підприємствах, включаючи іноземні  |                     | \$ 1 120,00        |                     | \$ 300,00          |                | \$ 1 420,00         |              |
| <b>Subtotal</b>  |                     | <b>\$ 3 040,00</b> | <b>\$ -</b>         | <b>\$ 1 300,00</b> |                | <b>\$ 4 340,00</b>  |              |
| <b>Планування проекту</b>  | <b>Assigned To:</b> | <b>Labor</b>       | <b>Materials</b>    | <b>Other costs</b> | <b>Reserve</b> | <b>Total</b>        | <b>Notes</b> |
| Вибір теми проекту   |                     | \$ 400,00          |                     |                    |                | \$ 400,00           |              |
| Погодження теми з керівником від підприємства  |                     | \$ 320,00          |                     |                    |                | \$ 320,00           |              |
| Погодження теми з науковим керівником  |                     | \$ 240,00          |                     |                    |                | \$ 240,00           |              |
| Розробка проектного плану  |                     | \$ 280,00          |                     |                    |                | \$ 280,00           |              |
| Визначення завдань та ресурсів   |                     | \$ 160,00          |                     |                    |                | \$ 160,00           |              |
| Затвердження плану проекту науковим стейкхолдерами   |                     | \$ 640,00          |                     |                    |                | \$ 640,00           |              |
| <b>Subtotal</b>  |                     | <b>\$ 2 040,00</b> | <b>\$ -</b>         | <b>\$ -</b>        |                | <b>\$ 2 040,00</b>  |              |
| <b>Проектування системи</b>  | <b>Assigned To:</b> | <b>Labor</b>       | <b>Materials</b>    | <b>Other costs</b> | <b>Reserve</b> | <b>Total</b>        | <b>Notes</b> |
| Збір і аналіз функціональних та нефункціональних вимог   |                     | \$ 960,00          |                     |                    |                | \$ 960,00           |              |
| Проектування архітектури системи   |                     | \$ 240,00          |                     |                    |                | \$ 240,00           |              |
| Вибір технологій та інструментів   |                     | \$ 200,00          |                     |                    |                | \$ 200,00           |              |
| Розробка технічного завдання (ТЗ)  |                     | \$ 320,00          |                     |                    |                | \$ 320,00           |              |
| Погодження стейкхолдерами  |                     | \$ 400,00          |                     | \$ 200,00          |                | \$ 600,00           |              |
| <b>Subtotal</b>  |                     | <b>\$ 2 120,00</b> | <b>\$ -</b>         | <b>\$ 200,00</b>   |                | <b>\$ 2 320,00</b>  |              |
| <b>Розробка системи</b>  | <b>Assigned To:</b> | <b>Labor</b>       | <b>Materials</b>    | <b>Other costs</b> | <b>Reserve</b> | <b>Total</b>        | <b>Notes</b> |
| Проектування БД MS SQL для зберігання параметрів ДБЖ.  |                     | \$ 1 500,00        | \$ 2 000,00         |                    |                | \$ 3 500,00         |              |
| Налаштування механізму запису в БД сигналів з датчиків ДБЖ переданих по протоколу SNMP з використанням OPC-технології. |                     | \$ 900,00          | \$ 2 000,00         |                    |                | \$ 2 900,00         |              |
| Розробка інтерфейсу користувача на сервері візуалізації доменного цеху «КАМЕТ-СТАЛЬ».                                  |                     | \$ 800,00          |                     |                    |                | \$ 800,00           |              |
| Інтелектуальний аналіз даних отриманих з ДБЖ   |                     | \$ 900,00          |                     | \$ 1 000,00        | 3,00%          | \$ 1 927,00         |              |
| Розв'язання задач машинного навчання   |                     | \$ 1 400,00        |                     | \$ 1 000,00        | 3,00%          | \$ 2 442,00         |              |
| Налаштування звітності по прогнозованому технічному обслуговуванню ДБЖ на основі даних про його роботу та стан         |                     | \$ 1 100,00        |                     | \$ 1 000,00        | 3,00%          | \$ 2 133,00         |              |
| <b>Subtotal</b>  |                     | <b>\$ 6 600,00</b> | <b>\$ 4 000,00</b>  | <b>\$ 3 000,00</b> |                | <b>\$ 13 702,00</b> |              |
| <b>Тестування та валідація</b>   | <b>Assigned To:</b> | <b>Labor</b>       | <b>Materials</b>    | <b>Other costs</b> | <b>Reserve</b> | <b>Total</b>        | <b>Notes</b> |
| Функціональне тестування   |                     | \$ 400,00          | \$ 500,00           |                    |                | \$ 900,00           |              |
| Системне тестування  |                     | \$ 480,00          | \$ 500,00           | \$ 500,00          |                | \$ 1 480,00         |              |
| Зустріч зі стейкхолдерами для перевірки відповідності вимогам  |                     | \$ 240,00          |                     | \$ 300,00          |                | \$ 540,00           |              |
| Виправлення помилок за відгуками користувачів  |                     | \$ 400,00          |                     |                    |                | \$ 400,00           |              |
| <b>Subtotal</b>  |                     | <b>\$ 1 520,00</b> | <b>\$ 1 000,00</b>  | <b>\$ 800,00</b>   |                | <b>\$ 3 320,00</b>  |              |
| <b>Впровадження та навчання персоналу</b>  | <b>Assigned To:</b> | <b>Labor</b>       | <b>Materials</b>    | <b>Other costs</b> | <b>Reserve</b> | <b>Total</b>        | <b>Notes</b> |
| Впровадження системи   |                     | \$ 700,00          | \$ 5 000,00         |                    |                | \$ 5 700,00         |              |
| Підготовка інструкцій, супровідної документації  |                     | \$ 240,00          | \$ 300,00           |                    |                | \$ 540,00           |              |
| Тренування персоналу   |                     | \$ 160,00          | \$ 400,00           | \$ 200,00          |                | \$ 760,00           |              |
| <b>Subtotal</b>  |                     | <b>\$ 1 100,00</b> | <b>\$ 5 700,00</b>  | <b>\$ 200,00</b>   |                | <b>\$ 7 000,00</b>  |              |
| <b>Завершення проекту</b>  | <b>Assigned To:</b> | <b>Labor</b>       | <b>Materials</b>    | <b>Other costs</b> | <b>Reserve</b> | <b>Total</b>        | <b>Notes</b> |
| Складання акту про завершення проекту  |                     | \$ 240,00          |                     |                    |                | \$ 240,00           |              |
| Підготовка документації за магістерською роботою   |                     | \$ 1 060,00        | \$ 200,00           |                    |                | \$ 1 260,00         |              |
| Погодження роботи з науковим керівником  |                     | \$ 360,00          |                     |                    |                | \$ 360,00           |              |
| Погодження роботи з керівником від підприємства  |                     | \$ 400,00          |                     |                    |                | \$ 400,00           |              |
| Захист магістерської роботи  |                     | \$ 250,00          |                     |                    |                | \$ 250,00           |              |
| <b>Subtotal</b>  |                     | <b>\$ 2 310,00</b> | <b>\$ 200,00</b>    | <b>\$ -</b>        |                | <b>\$ 2 510,00</b>  |              |
| <b>Grand Total</b>   |                     | <b>\$18 730,00</b> | <b>\$ 10 900,00</b> | <b>\$ 5 500,00</b> |                | <b>\$ 35 232,00</b> |              |

Рисунок 6.2. Розрахунок бюджету проекту

2) Витрати на проектування і розробку ПЗ складатимуть:

474 710 грн. = \$22 402

3) Витрати на впровадження ПЗ складатимуть:

828 874 грн. = \$12 830

Ці витрати було взято з сформованого бюджетного плану проекту, використовуючи шаблони «2\_Free\_Project\_Estimate\_Template\_PM» [29]. Детальний розрахунок показано на рисунку 6.2.

Для предметної області дипломної роботи була розроблена бізнес-модель, використовуючи шаблон Canvas Model [30]. Результат показано в таблиці 6.1.

Точка беззбитковості може буде досягнута через 13 місяців після впровадження програмного продукту.

#### 6.1 Висновки за розділом

У цьому розділі були виконані економічні розрахунки, щодо втрат під час простоїв технологічного обладнання та розраховано вартість розробки і впровадження нової системи інтелектуального моніторингу. Загалом, робота включає в себе не лише розрахунки витрат, але і оцінку ризиків, бізнес-модель та перспективи точки беззбитковості, що дозволяє отримати достатній обсяг економічного аналізу проекту.

Таблиця 6.1 – Бізнес-модель Lean Canvas для розроблюємо ПЗ в рамках дипломної роботи

|   |  |  |   |   |
|---|--|--|---|---|
| <p><b>1. Problem</b> (проблеми)</p> <p>1) Необхідність підвищити якість контролю за станом ДБЖ, щоб зменшити ризики виходу з ладу ДБЖ</p> <p>2) Відсутність прогнозування виходу з ладу ДБЖ, робота на відмову</p>  | <p><b>4. Solution</b> (рішення)</p> <p>1) Постійний моніторинг параметрів ДБЖ на сторінці SCADA сервера візуалізації доменної печі ПрАТ "КАМЕТ-СТАЛЬ".</p> <p>2) Розробка системи рекомендацій, що до необхідності проведення технічного обслуговування ДБЖ.</p> | <p><b>3. Unique Value Proposition</b> (унікальність ціннісної пропозиції)</p> <p>Можливість інтеграції системи, що розробляється в існуючий сервера візуалізації доменної печі підприємства. Можливість накопичувати контрольовані параметри ДБЖ в БД з подальшим використанням в зовнішніх продуктах.</p> <p>На ПрАТ "КАМЕТ-СТАЛЬ, аналогічні програмні рішення відсутні.</p>   | <p><b>9. Unfair Advantage</b> (прихована перевага)</p> <p>Неможливо скопіювати без ліцензії</p> | <p><b>2. Customer Segments</b> (сегменти споживачів)</p> <p>1) Управління автоматизації ПрАТ "КАМЕТ-СТАЛЬ".</p> <p>2) Управління надійності ПрАТ "КАМЕТ-СТАЛЬ".</p> |
| <p><b>8. Key Metrics</b> (ключові метрики)</p> <p>1) Прибуток від впровадження ПЗ як компонента програмної системи управління підприємством.</p> <p>2) Прибуток від використання ПЗ як програмного продукту на інших активах Метінвест</p>  |  | <p><b>5. Channels</b> (канали комунікації)</p> <p>1) Прямі продажі ПЗ потенційним клієнтам - металургійним заводам;</p> <p>2) Презентація продукту під час участі у галузевих конференціях з проблем металургійної галузі</p> <p>3) Публікація статі на порталі Метінвест.</p>   |   |   |
| <p><b>7. Cost Structure</b> (структура витрат)</p> <p>Витрати на придбання стороннього ПЗ = 28 000 грн. = \$758</p> <p>Витрати на проектування і розробку ПЗ = 474 710 грн. = \$22 402</p> <p>Витрати на впровадження ПЗ = 828 874 грн. = \$12 830</p> <p>Приведенні витрати на одиницю ПЗ = 1 331 584 грн. = \$ 35 990</p> |  | <p><b>6. Revenue Structure</b> (потоки виручки)</p> <p>Дохід дотягатиметься, за рахунок зниження позапланових простоїв доменної печі на 720 хв. на рік, за рахунок поліпшеного моніторингу за станом ДБЖ і прогнозуванням виходу з ладу.</p> <p>1 хв. простою ДП – втрата маржинального прибутку на 1777 грн.</p> <p>Разом на рік дохід становитиме 1 279 451 грн. = \$34 580</p> <p>Точка беззбитковості буде досягнута через 13 місяців.</p> |   |   |

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Вирішення мети і задач поставлених в магістерської роботі проходило в декілька етапів.

Були розглянуті програмні продукти інтелектуального моніторингу, підкреслена їхня різноманітність і важливість вибору оптимального рішення для конкретних потреб підприємства. Показані переваги штучного інтелекту в енергетичному управлінні, включаючи прогнозування, автоматизацію та управління, що свідчить про його перспективність у покращенні ефективності та надійності електроенергетичних систем. В роботі детально розглянуто різноманітні методи та алгоритми штучного інтелекту для прогнозування технічного обслуговування систем енергетики. Виконано порівняльний аналіз методів, включаючи класичні ML-підходи, нечітку логіку, приховані марковські моделі та нейронні мережі, вказано на їхні переваги та обмеження.

Представлені результати аналізу та моделювання програмно-технічного комплексу, який впроваджується для моніторингу стану пристроїв безперебійного живлення. Розроблені діаграми в нотації UML надають повний огляд структури та взаємодії системи. Виділені основні функції системи та її користувачі.

Надано докладний опис технічного та програмного забезпечення розроблюваної системи моніторингу стану пристроїв безперебійного живлення, представлена структура ПТК. Розроблено та впроваджено SCADA-екран моніторингу ДБЖ з використанням сучасної платформи Rockwell FactoryTalk, який дозволяє експлуатаційному персоналу оперативніше реагувати на відхилення параметрів ДБЖ, приймати рішення що до необхідності проведення технічного обслуговування ДБЖ. Важливим аспектом є використання протоколу SNMP для обміну

даними з ДБЖ в реальному часі та застосування в середовищі RapidMiner Studio регресійної моделі для прогнозування стану акумуляторів, враховуючи обмеження обчислювальної потужності.

Проведено експериментальні дослідження стану системи безперебійного живлення під час знеструмлення, підтверджено недоліки існуючої системи та проаналізовано параметри ДБЖ. На основі отриманих даних побудовано графік зміни ємності акумуляторів та успішно використано регресійну модель для встановлення лінійної залежності між рівнем напруги на батареях та ємністю ДБЖ. За допомогою статистичного аналізу підтверджено її адекватність, при цьому всі коефіцієнти моделі статистично значущі, а сама модель адекватна. Це було підтверджено розрахунками в двох незалежних програмних продуктах.

Виконані економічні розрахунки та визначено вартість розробки та впровадження нової системи інтелектуального моніторингу. Робота включає в себе не лише розрахунки витрат, але і оцінку ризиків, бізнес-модель та перспективи точки беззбитковості, надаючи обсяг економічного аналізу проекту.

Таким чином, проведені теоретичні та експериментальні дослідження сприяли отриманню надійних результатів, які можуть бути використані для подальшого вдосконалення системи моніторингу та управління безперебійним живленням обладнання АСУТП доменному цеху.

Практична цінність роботи полягає в розробці додаткових інструментів контролю за станом пристроїв безперебійного живлення з використанням інтелектуальних алгоритмів для прогнозного технічного обслуговування UPS на основі даних про його роботу та стан. Цю систему можна впроваджувати в практику та використовувати у виробничих процесах з використанням систем АСУТП в умовах металургійних підприємств Групи «МЕТІНВЕСТ». Це дозволить

підвищити надійність роботи обладнання, зменшити можливі ризики виникнення аварійних ситуацій та зменшити кількість простоїв основних агрегатів, що в свою чергу сприяє підвищенню ефективності та безпеки промислових об'єктів.

Загалом, дана магістерська робота вирішує актуальну проблему моніторингу та управління системою безперебійного живлення, використовуючи новітні технології та методи. Результати експериментальних досліджень та розрахунків підтверджують ефективність розробленого програмного комплексу.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Стандарт джерел безперебійного живлення для засобів обчислювальної техніки та автоматизованих систем керування технологічними процесами. «Метінвест Діджітал»,Київ,2019, 34 с.

2. Паспорт продукту. Технічні характеристики ДБЖ APC Symmetra LX 16 кВА з можливістю нарощування до 16 кВА N+1, стійкового

виконання, 220/230/240 В або 380/400/415 В. URL: [https://www.se.com/ua/uk/download/document/SYA16K16RMI DATASHEET/](https://www.se.com/ua/uk/download/document/SYA16K16RMI_DATASHEET/) (дата звернення: 05.12.2023)

3. Start UP Guide Symmetra LX Tower Rack-Mount. EN 990-1546B-001. APC by Schneider Electric, 2018

4. ДСТУ ІЕС 62040-2. Системи гарантованого електропостачання. Агрегати безперебійного живлення. Вимоги до електромагнітної сумісності

5. Можливості EcoStruxure IT від Schneider Electric. URL: <https://ecostruxureit.com/ecostruxure-it-expert/> (дата звернення: 07.12.2023)

6. Vertiv™ Power Insight URL: <https://www.vertiv.com/en-in/products-catalog/monitoring-control-and-management/software/vertiv-power-insight-application/> (дата звернення: 10.12.2023)

7. Remote Monitoring Service for mission-critical IT. URL: <https://www.eaton.com/us/en-us/digital/brightlayer/brightlayer-data-centers-suite/remote-monitoring-and-predictive-service.html> (дата звернення: 12.12.2023)

8. Рішення пропонувані платформою RapidMiner. URL: <https://rapidminer.com/solutions/> (дата звернення: 15.12.2023)

9. Ledesma J.G., Nascimento K.B., Araujo L.R., Penido D.R. A two-level ANN-based method using synchronized measurements to locate high-impedance fault in distribution systems. *Electr. Power Syst.* 2020. Vol. 188, 106576. URL:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106576> (дата звернення: 18.12.2023)

10. Kayapinar K., Erginel N. Futuristic airport: A sustainable airport design by integrating hesitant fuzzy SWARA and hesitant fuzzy sustainable quality function deployment. 2020. *Prod.* 275, 123880. URL:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123880> (дата звернення: 18.12.2023)

11. GhaffarianHoseini A., Zhang T., Nwadigo O., et al. Application of nD BIM integrated knowledge-based building management system (BIM-IKBMS) for inspecting post-construction energy efficiency. *Renew. Sustain. Energy.* 2017. Rev. 72. P. 935–949. URL:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.061> (дата звернення: 20.12.2023)

12. Pesaran H., Nazari-Heris M., Mohammadi-Ivatloo B., Seyedi H. A hybrid genetic particle swarm optimization for distributed generation allocation in power distribution networks. *Energy.* 2020. Vol. 209. 118218. URL:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2020.118218> (дата звернення: 20.12.2023)

13. Del Valle Y., Venayagamoorthy G., Mohagheghi S., Hernandez J., Harley R. Particle swarm optimization: Basic concepts, variants and applications in power systems. *IEEE Trans. Evol. Comput.* 2008. Vol 12. P. 171–195. URL:

<http://dx.doi.org/10.1109/TEVC.2007.896686> (дата звернення: 22.12.2023)

14. Sidhu T., Ao Z. On-line evaluation of capacity and energy losses in power transmission systems by using artificial neural networks. IEEE Trans. Power Deliv. 1995. Vol. 10. P. 1913–1919. URL: <http://dx.doi.org/10.1109/61.473363> (дата звернення: 22.12.2023)
15. Biagini V., Subasic, M., Oudalov A., Kreusel J. The autonomous grid: Automation, intelligence and the future of power systems. Energy Res. Soc. Sci. 2020. Vol. 65. 101460. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.erss.2020.101460> (дата звернення: 22.12.2023)
16. Borunda M., Jaramillo O, Reyes A., Hlbarg'uengoytia P. Bayesian networks in renewable energy systems: A bibliographical survey. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. № 62. P. 32–45.
17. Kusiak A., Li W. The prediction and diagnosis of wind turbine faults. Renewable energy. 2011. № 36(1). P. 16–23.
18. Sugumaran V., Muralidharan V., Ramachandran K. Feature selection using decision tree and classification through proximal support vector machine for fault diagnostics of roller bearing. Mechanical systems and signal processing. 2007. № 21(2). P. 930–942.
19. Merabet H., Bahi T., Halem N. Condition monitoring and fault detection in wind turbine based on dfig by the fuzzy logic. Energy Procedia. 2015. №74. P. 518–528.
20. Carlos J., Freire A., Rosa A., Homci M., Meiguins B., Magalhaes J. Transmission line fault classification using hidden markov models. IEEE Access. 2019. Vol.7. P. 113499–113510.
21. Polo A., M´arquez A. A review of the use of artificial neural network models for energy and reliability prediction. a study of the solar pv, hydraulic and wind energy sources. Applied Sciences. 2019. № 9(9). P. 1844-1848.
22. Gregory L., Computational Intelligence in Reliability Engineering, Springer. 2006. Vol. 39. P. 1–41.

23. Martin K. A review by discussion of condition monitoring and fault diagnosis in machine tools. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 1994. № 34(4). P. 527–551.

24. Авраменко В.С., Авраменко А.С. Проектування інформаційних систем: навчальний посібник / В.С. Авраменко, А.С. Авраменко. – Черкаси: Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького, 2017. – 434 с.

25. ИБП APC - конфигурация SNMP. URL:

<https://techexpert.tips/ru/apc-ru/конфигурация-snmp-ups-apc/>

(дата звернення: 28.12.2023)

26. Плєснецов С., Колесніченко А., Ященко К. Розробка програмного засобу для статистичного аналізу сигналу в режимі реального часу. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. 2018. № 31(1306). С.67-71.

27. Кузнецов Д. Інформаційна система визначення поточного стану електрообладнання для Smart Grid мереж. Вісник Криворізького національного університету. 2019. № 49. С.30-35.

28. ДСТУ ІЕС 62040-3. Системи гарантованого електропостачання. агрегати безперебійного живлення загальні технічні вимоги. Методи випробування

29. Project management software for business excellence. URL:

[https://www.projectmanager.com/?utm\\_medium=content%20library&utm\\_source=project\\_manager\\_com&utm\\_term=none&utm\\_campaign=excel-resourceplant](https://www.projectmanager.com/?utm_medium=content%20library&utm_source=project_manager_com&utm_term=none&utm_campaign=excel-resourceplant) (дата звернення: 03.01.2024)

30. The 9-Step Business Model Canvas Explained. URL: <https://www.thepowermba.com/en/blog/business-model-canvas> (дата звернення: 04.01.2024)

## ДОДАТОК А

## ВІДОМІСТЬ РОБОТИ

| Формат           | № п/п | Назва документу  | Найменування об'єкта або виробу | Кількість сторінок |
|------------------|-------|--|---------------------------------|--------------------|
|                  | 1     | Пояснювальна записка   | КЦТПАР.122-22-2м.01.00.КР.ПЗ    | 103                |
| Графічна частина |       |  |                                 |                    |
| A4               | 2     | Мета, об'єкт, предмет і завдання дослідження   | КЦТПАР.122-22-2м.02.00.КР.ПЛ    | 2                  |
| A4               | 3     | Порівняльний аналіз методів прогнозного обслуговування складних систем.  | КЦТПАР.122-22-2м.03.00.КР.ПЛ    | 2                  |
| A4               | 4     | Порівняльний аналіз функціональних можливостей існуючих програмних систем  | КЦТПАР.122-22-2м.04.00.КР.ПЛ    | 1                  |
| A4               | 5     | Контекстна діаграма IDEF0 для «Інтелектуальної системи моніторингу стану ДБЖ   | КЦТПАР.122-22-2м.04.00.КР.ПЛ    | 1                  |
| A4               | 6     | Діаграма прецедентів використання для системи моніторингу стану ДБЖ  | КЦТПАР.122-22-2м.05.00.КР.ПЛ    | 1                  |
| A4               | 7     | Діаграма діяльності для процесу «Побудова трендів»   | КЦТПАР.122-22-2м.06.00.КР.ПЛ    | 1                  |
| A4               | 8     | Діаграма послідовності для процесу «Формування звіту»  | КЦТПАР.122-22-2м.07.00.КР.ПЛ    | 1                  |
| A4               | 9     | Діаграма сутності-зв'язку (ERD) предметної області   | КЦТПАР.122-22-2м.08.00.КР.ПЛ    | 1                  |
| A4               | 10    | Структурно-функціональна схема розробляємої системи  | КЦТПАР.122-22-2м.09.00.КР.ПЛ    | 1                  |
| A4               | 11    | Екран моніторингу параметрів ДБЖ в SCADA Factory Talk  | КЦТПАР.122-22-2м.10.00.КР.ПЛ    | 1                  |
| A4               | 12    | Регресійна модель в Rapidminer   | КЦТПАР.122-22-2м.11.00.КР.ПЛ    | 1                  |
| A4               | 13    | Результати дослідження побудованої моделі  | КЦТПАР.122-22-2м.12.00.КР.ПЛ    | 2                  |
| A4               | 14    | Економічні розрахунки  | КЦТПАР.122-22-2м.13.00.КР.ПЛ    | 1                  |
|                  | 15    | Посилання на Github<br><a href="https://github.com/ViktorHedikov/MR.git">https://github.com/ViktorHedikov/MR.git</a> |                                 |                    |

## ДОДАТОК Б

Технічне завдання на розробку програмно - технічного комплексу(ПТК) інтелектуальної системи моніторингу стану пристроїв безперебійного живлення

### Б.1 ВСТУП

В рамках дипломної роботи потрібна розробка програмного продукту(ПП). ПП є реалізацією окремої сторінки для моніторингу стану ДБЖ в існуючому проекті SCADA сервера візуалізації доменної печі, а також розробка методики оцінки даних з існуючих ДБЖ і побудова прогностичної моделі в програмному пакеті Rapid Miner.

### Б.2 ПІДСТАВИ ДЛЯ РОЗРОБКИ

Підставою для розробки ПП є завдання на кваліфікаційну роботу магістра, яке було затверджено факультетом «Цифрових технологій та автоматизації виробництва», кафедрою «Цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень» ТОВ «Технічний університет «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА».

### Б.3 ПРИЗНАЧЕННЯ РОЗРОБКИ

Мета даної роботи розробка додаткових інструментів контролю за станом пристроїв безперебійного живлення. Це дозволить експлуатаційному персоналу АСУТП оперативніше реагувати на відхилення параметрів ДБЖ, приймати рішення що до необхідності проведення технічного обслуговування ДБЖ.

## Б.4 ВИМОГИ ДО ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ

### Б.4.1 Вимоги до функціональних характеристик

Перелік виконуваних функцій даним ПП наступний:

- простий і інтуїтивно-зрозумілий інтерфейс системи, з наявністю спливаючих підказок при наведенні на контролюючий параметр;
- контроль поточних параметрів ДБЖ(змінний інженер АСУТП стежить по екрану візуалізації SCADA за станом сигналів ДБЖ, в разі відхилення від рівня «норма», оперативно реагує виконуючи ремонтні дії (інтервал оновлення 5 секунд);
- контроль історичних параметрів ДБЖ(змінний інженер АСУТП аналізує параметри за минулий період по трендам SCADA, в разі виявлення відхилення від рівня «норма», оперативно реагує виконуючи ремонтні дії. (займає не більше 1 хвилини);
- імпорт інформації з БД MS SQL(параметри стану ДБЖ – напруга, струм, частота, температура та ін.), всього 19 шт. по кожному ДБЖ (займає не більше 2-х хвилини); зберігання інформації в БД MS SQL - 365 днів;
- побудова прогностичної моделі в програмному пакеті Rapid Miner. (займає до 5 хвилини).

### Б.4.2 Вимоги до надійності

Для виконання основних вимог по надійності, ПП повинен:

- функціонувати без помилок, не приводити до збоїв операційної системи;
- забезпечувати обробку помилкових дій користувача з видачою відповідних повідомлень на екран;

- працювати в спільному режимі (з ПЗ підприємства);
- підтримувати функції захисту від несанкціонованого доступу (поділ прав доступу до інформації баз даних для користувачів системи).
- доступність - час, що витрачається на обслуговування системи не повинно перевищувати 2% від загального часу роботи.

#### Б.4.3 Умови експлуатації

АРМи експлуатаційного персоналу встановлюються в опалюваних та вентиляваних приміщеннях. Температура повітря в приміщенні цілорічно має бути не нижчою за 18 °С та не вище 24 °С, відносна вологість 65±15%. Обслуговування системи виконуватиме інженер-програміст дільниці АСУТП ДЦ.

#### Б.4.4 Вимоги до складу і параметрів технічних засобів

Згідно стандарту робочих станцій АСУТП "Метінвест" IT\_GROUP\_ST\_PMO\_00\_STD\_02\_v04 до робочої станції АСУТП висуваються наступні вимоги:

- процесор: Intel Core i3;
- відеокарта: інтегрована;
- оперативна пам'ять: 8 Gb DDR4;
- накопичувач: 500 Gb HDD;
- монітор: 23", роздільна здатність 1920x1080, інтерфейси DVI+DP;
- клавіатура: USB;
- миша: оптична – scroll optical USB.

Рекомендована модель: HP EliteDesk 800 G3.

#### Б.4.5 Вимоги до інформаційної та програмної сумісності

Система створюється і функціонує з використанням програмних засобів на

операційній системі Microsoft Windows 10 Enterprise LTSC:

- iReasoning MIB Browser;
- KEPServerEx v4.5;
- Microsoft SQL Server 2022;
- Microsoft SQL Server Management Studio 19.2;
- Rockwell FactoryTalk v10;
- RapidMiner Studio V10.1

#### Б.5 ВИМОГИ ДО ПРОГРАМНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

До переліку програмної документації повинно входити:

- робочий проект ПП на мові UML;
- конфігураційний файл RapidMiner, з описом операторів;
- SCADA-екран контролю параметрів ДБЖ;
- керівництво програміста;
- Керівництво по інсталяції ПЗ

#### Б.6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

Економічна ефективність від впровадження ПП забезпечується за рахунок зменшення кількості збоїв у роботі ДБЖ та скорочення тривалості простоїв основних технологічних агрегатів доменної печі.

#### Б.7 СТАДІЇ ТА ЕТАПИ РОЗРОБКИ

Нижче наведена таблиця Б.1, яка показує стадії і етапи розробки ПП.

Таблиця Б.1 - Стадії і етапи розробки програмно-технічного комплексу(ПТК) інтелектуальної системи моніторингу стану пристроїв безперебійного живлення

| № п/п | Етап/Термін виконання                      | Зміст робіт   |
|-------|--|---|
| 1     | Технічне завдання<br>(01.12.23 – 10.12.23) | Розробка технічного завдання на розробку ПТК для інтелектуальної системи моніторингу стану пристроїв безперебійного живлення  |
| 2     | Ескізний проект<br>(10.12.23 – 20.12.23)   | Розробка логічної моделі ПТК для інтелектуальної системи моніторингу стану пристроїв безперебійного живлення  |
| 3     | Технічний проект<br>(20.12.23 – 30.12.23)  | Реалізація технічного проекту програмного комплексу за допомогою об'єктно-орієнтованого підходу. Розробка UML-діаграм прецедентів класів, послідовностей. Вибір і обґрунтування засобів розробки.               |
| 4     | Робочий проект<br>(31.12.23 – 08.01.24)    | Реалізація робочої версії проекту ПТК моніторингу стану пристроїв безперебійного живлення. Розробка програмного коду, для реалізації необхідних функціональних можливостей.                                     |
| 5     | Оформлення<br>(08.01.24 – 12.01.24)        | Оформлення документації(текстової, програмної та графічної) ПТК для інтелектуальної системи моніторингу стану пристроїв безперебійного живлення   |
| 6     | Впровадження<br>(13.01.24 – 15.01.24)      | Розробка заходів щодо впровадження та супроводу ПТК для інтелектуальної системи моніторингу стану пристроїв безперебійного живлення. Тестування роботи. виправлення помилок, завантаження оновленої версії ПТК. |

## Б.8 ПОРЯДОК КОНТРОЛЮ І ПРИЙМАННЯ

ПП при введенні в дію має пройти попередні випробування на працездатність та приймальні випробування.

Приймальним випробуванням має передувати дослідна експлуатація. За результатами попередніх випробувань складається "Протокол попередніх випробувань". За результатами приймальних випробувань складається протокол випробувань та акт про введення системи у промислову експлуатацію. Приймальні випробування проводяться комісією у складі замовника та розробника системи.

## Б.9 ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ

Впровадження ПП повинно відбуватися згідно з документацією по розгортанню програмного продукту.

## ДОДАТОК В

## ПЕРЕЛІК НАУКОВИХ ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ

Тези:

<http://baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/book/384>

Riga, the Republic of Latvia

November 29–30, 2023

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-72>

**RESEARCH AND DESIGN OF SOFTWARE COMPONENTS  
FOR THE INTELLIGENT SYSTEM OF MONITORING THE STATE  
OF UNINTERRUPTED POWER SUPPLY DEVICES OF THE APCS  
EQUIPMENT OF THE BLAST-FURNACE DEPARTMENT  
OF “KAMET-STEEL”**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНИХ  
КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ  
МОНІТОРИНГУ СТАНУ ПРИСТРОЇВ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО  
ЖИВЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ АСУТП ДОМЕННОГО ЦЕХУ  
ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»**

**Hedikov V.O.**  
*student (group 122-22-m),  
LLC “Technical university  
“Metinvest polytechnic”,  
Zaporizhzhia, Ukraine*

**Гедіков В.О.**  
*студент гр. 122-22-м,  
ТОВ «Технічний університет  
«Метінвест політехніка»,  
м. Запоріжжя, Україна*

Сучасні металургійні підприємства мають високий рівень автоматизації технологічних процесів, щоб забезпечити стабільний і ефективний процес виробництва. Джерела безперебійного живлення широко застосовуються на виробництві для захисту електроживлення дорогих компонентів систем АСУТП та іншої відповідальної апаратури. Використання пристроїв безперебійного живлення (ДБЖ) дозволяє підтримувати працездатність критичного обладнання АСУТП протягом заданого часу і є ефективним рішенням для підвищення надійності систем автоматизації.

В умовах повномасштабної війни і ракетних атак на об'єкти енергетики періодично виникають проблеми з якістю та надійністю живлення, що збільшує навантаження на існуючі ДБЖ (UPS), знижує їх ресурс та іноді приводить до виходу з ладу. Що в свою чергу є спричиняє простої обладнання та втрати продуктивності агрегатів.

Організація контролю стану ДБЖ та технічного обслуговування відповідальне завдання. Поширення мережевих технологій полегшує дистанційний контроль за ДБЖ.

Інтелектуальні системи моніторингу (ИСМ) є комплексними рішеннями, що поєднують в собі сенсори, аналітичне програмне

Участь у конференції:

TSC-2930046-MIP dated 30.11.2023

**CERTIFICATE** 

*Viktor HEDIKOV*

*for Participation in the International scientific-technical conference*

**MININGMETALTECH 2023 - The mining  
and metals sector: integration of business,  
technology and education**

**November 29-30, 2023**

*Total: 15 hours – 0.5 ECTS credit*

**Oleksandr POVAZHNYI**  
Doctor of Economics, Professor  
Rector of LLC "TECHNICAL UNIVERSITY  
"METINVEST POLYTECHNIC"





## ДОДАТОК Д

## РЕГРЕСІЙНА МОДЕЛЬ В RAPIDMINER

