

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти _____ другий (магістерський)
«Розроблення автоматизованої системи віддаленого керування аварійним
електропостачанням на виробничому підприємстві»
(тема)

Виконав:
здобувач 2 року навчання,
групи КІТПВм-24-1
Даніель АЛЕКСАНДРОВИЧ
(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ю-
терно-інтегровані технології та робототехніка
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Комп'ютерно-інтегровані
технологічні процеси і виробництва
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Сергій НОВОСЕЛОВ
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Завідувач кафедри _____

(підпис)

Ігор НЕВЛЮДОВ
(власне ім'я, прізвище)

2025 р.

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

«27» листопада 2025 р.



Даніель АЛЕКСАНДРОВИЧ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАР _____

(підпис)

« ____ »

_____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Александровичу Даніелю Павловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення автоматизованої системи віддаленого керування аварійним електропостачанням на виробничому підприємстві
затверджена наказом по університету від 10.11.2025 № 1029 Ст.

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 05.12.2025р

3. Вихідні дані до роботи Макет системи автоматизованого керування аварійним електропостачанням на виробничому підприємстві; метод статистичного аналізу та регресії, методи часових рядів; мова програмування Typescript, фреймворк Nest.js; база даних MySQL

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

Вступ;

Аналіз сучасного стану автоматизованих систем для віддаленого керування аварійним електропостачанням на виробничому підприємстві;

Розробка структури автоматизованої системи віддаленого керування аварійним електропостачанням на виробничому підприємстві;

Реалізація моделі системи;

Охорона праці;

Висновки;

Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій
демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint
 (*.pptx) – 11 с. та відеоматеріал

6. Консультанти розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання до кваліфікаційної роботи	10.09.24	<i>виконано</i>
2	Вступ	08.01 – 10.01.25	<i>виконано</i>
3	Аналіз технічного завдання	11.01 – 13.02.25	<i>виконано</i>
4	Аналіз інструментів розробки та аналіз технічного завдання	14.02 – 23.02.25	<i>виконано</i>
5	Проектування системи додатку керування	15.03 – 25.03.25	<i>виконано</i>
6	Моделювання складових системи або та їх поєднання	26.03 – 10.04.25	<i>виконано</i>
7	Охорона праці	11.04 – 28.04.25	<i>виконано</i>
8	Висновок	29.04 – 30.05.25	<i>виконано</i>
9	Оформлення пояснювальної записки	01.09 – 21.09.25	<i>виконано</i>
10	Подання роботи до нормоконтролю	29.11.25	
11	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом Unichек	11.12 – 13.12.25	
12	Подання роботи на рецензію	13.12 – 17.12.25	
13	Подання роботи на підпис зав. кафедри	17.12– 21.12.25	
14	Подання атестаційної роботи в ЕК	23.12.25	

Дата видачі завдання 10 09 2024 р.

Здобувач _____
 (підпис)

Керівник роботи _____
 (підпис)

Даніель АЛЕКСАНДРОВИЧ
 (власне ім'я, прізвище)

проф. Сергій НОВОСЕЛОВ
 (посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 81 с., 9 табл., 29 рис., 3 дод., 21 джерело.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, ВІДДАЛЕНЕ КЕРУВАННЯ, МІКРОКОНТРОЛЕР, СЕРВЕРНИЙ ДОДАТОК, СИСТЕМА БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ, БАЗА ДАНИХ, ПІДПРИЄМСТВО.

Об'єкт дослідження – процес керування аварійним електропостачанням на виробничому підприємстві.

Предмет дослідження – макет автоматизованої системи віддаленого керування аварійним електропостачанням на виробничому підприємстві.

Мета роботи – покращення керування електропостачанням на виробничих підприємствах і підвищення рівня автоматизації та безпеки роботи електричних складових на виробничих підприємствах.

В роботі розглянуто актуальні питання за темою, запропоновано рішення з автоматизації віддаленого керування аварійним електропостачанням на виробничих підприємствах. Створено макет системи віддаленого керування аварійним електропостачанням на виробничому підприємстві, оснований на обмін командами через систему обміну повідомленнями.

Отримана модель може бути використана як основа для створення автоматизованої системи віддаленого керування аварійним електропостачанням на виробничому підприємстві. Дана робота може слугувати основою для подальших досліджень та розвитку подібних систем в цій сфері.

Також отримані результати роботи можна віднести до Цілі сталого розвитку 7 “Доступна та чиста енергія”, а саме п. 7.1 “Розширити інфраструктуру та модернізувати мережі для забезпечення надійного та сталого енергопостачання на основі впровадження інноваційних технологій”.

ABSTRACT

Explanatory note: 81 p., 9 tabl., 29 fig., 3 app., 21 sources.

AUTOMATED SYSTEM, VIDDALENE KERUVANYA,
MICROCONTROLLER, SERVER APPENDIX, UNINTERRUPTED LIVING
SYSTEM, DATABASE, ENTERPRISE.

The object of development is the process of automating emergency power supply management operations at a manufacturing enterprise.

The subject of development is a model of an automated remote control system for emergency power supply at a manufacturing enterprise.

The purpose of the work is to improve power supply management in warehouses and increase the level of automation and safety of electrical components in manufacturing enterprises.

The paper considers current issues on the topic, proposes solutions for automating remote control of emergency power supply at manufacturing enterprises. A mock-up of a remote control system for emergency power supply at a manufacturing enterprise has been created, based on the exchange of commands through a messaging system.

The resulting model can be used as a basis for creating an automated remote control system for emergency power supply at a manufacturing enterprise. This work can serve as a basis for further research and development of similar systems in this area.

The results of the work can also be attributed to Sustainable Development Goal 7 “Affordable and Clean Energy”, namely item 7.1 “Expand infrastructure and modernize networks to ensure reliable and sustainable energy supply based on the implementation of innovative technologies”.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	9
Вступ.....	10
1 Аналіз сучасного стану автоматизованих систем для керування аварійним електропостачанням.....	12
1.1 Сучасні пристрої отримання аварійного електроживлення для приладобудівних підприємств.....	12
1.2 Аналіз структури та принципу дії сучасної системи автономного електропостачання, яка використовує сонячне випромінювання, як джерело енергії.....	15
1.3 Аналіз сучасних засобів автоматичного керування аварійним електропостачанням	16
1.4 Аналіз подібних автоматизованих систем віддаленого керування електропостачанням	19
1.5 Аналіз інструментів збереження історії аварійних відключень електроенергії на виробництві	22
1.6 Аналіз стану енергозатрат цехових приміщень на сучасних виробництвах	24
1.7 Постановка завдання на розробку.....	25
2 Розробка структури моделі автоматизованої системи віддаленого керування аварійним електропостачанням на виробничому підприємстві.....	26
2.1 Розробка структурної схеми	26
2.2 Розробка структури та обрання технологій реалізації сервера керування і його складових	28

2.3 Обрання технології реалізації та розробка структури зв'язків сервера керування із платою керування	31
2.4 Розробка алгоритму, за яким працює модель системи	33
2.5 Вибір компонентної бази для реалізації системи.....	35
2.6 Обрання методів аналізу і прогнозування процесів системи.....	40
2.7 Порівняння надійності керування розроблюваної системи із сучасними аналогами.....	48
3 Реалізація інтерфейсу, функціоналу, програмної складової та процесів системи	50
3.1 Реалізація інтерфейсу в системі обміну повідомленнями.....	51
3.2 Реалізація розрахунку прогнозованих значень електроенергії.....	54
3.3 Програмна реалізація взаємодії із платою керування.....	60
3.4 Реалізація процесу фізичного забезпечення електроенергією.....	62
3.5 Використання методів аналізу і прогнозування процесів системи	64
4 Охорона праці	74
4.1 Охорона праці при розробленні автоматизованої системи віддаленого керування аварійним електропостачанням на виробничому підприємстві.....	74
Висновки	76
Перелік джерел посилання	78
Додаток А Код програми.....	82
Додаток Б Опубліковані результати.....	109
Додаток В Демонстраційний матеріал.....	121

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АКБ – акумуляторна батарея;

АСВКАЕ – автоматизована система віддаленого керування аварійним електропостачанням;

БД – база даних;

ПБЖ – пристрій безперебійного живлення;

ПЗ – програмне забезпечення;

СК – система керування;

СКБД – система керування базою даних.

ВСТУП

Сьогодні у світі отримує постійне поширення явище автоматизації для заміни людської праці на роботизовані та комп'ютеризовані системи. Цього впливу отримали і виробничі підприємства. На практиці дані інновації надають зручність в керуванні процесами.

Автоматизація – це процес, при якому ручна праця замінюється на системи, що працюють без участі людини. Вона стосується галузей виробництва, логістики, медицина та інших процесів.

Актуальність підвищення рівня автоматизації процесів на виробничих підприємствах посилюється зростанням кількості виробничих підприємств та обсягів виробництва. Впровадження систем автоматизованого керування аварійним електропостачанням на виробничих підприємствах є необхідним для підвищення гнучкості в керуванні роботою підприємств в умовах нестабільного електропостачання та перебоїв. Розробка моделі даної системи – це початок підвищення гнучкості та ефективності процесів стабільного електропостачання. Потрібно продовжувати розвиток і вдосконалення таких систем, тому що це сприяє стабільній роботі промисловості і приладобудування.

Мета роботи – покращення керування електропостачанням на виробничих підприємствах і підвищення рівня автоматизації та безпеки роботи електричних складових на виробничих підприємствах.

Об'єкт дослідження – процес керування аварійним електропостачанням на виробничому підприємстві.

Предмет дослідження – макет автоматизованої системи віддаленого керування аварійним електропостачанням на виробничому підприємстві.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- розробити структурну схему моделі;
- провести аналіз та підбір компонентної бази на якій буде працювати система;

- виконати реалізацію моделі системи;
- оформити кваліфікаційну роботу згідно ДСТУ 3008:2015 [1] і методичними вказівками з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка освітньої програми «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва» [2].

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ДЛЯ КЕРУВАННЯ АВАРІЙНИМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯМ

1.1 Сучасні пристрої отримання аварійного електроживлення для приладобудівних підприємств

На даний час для забезпечення аварійного електропостачання у більшості приладобудівних підприємствах використовується три основних типи джерела енергії: паливо, вітер та сонячне випромінювання. В залежності від типу джерела енергії – по різному здійснюється керування.

На рисунку 1.1 приведено зовнішній вигляд дизельного генератору.



Рисунок 1.1 – Дизельний генератор [3]

Перевагою такого пристрою є відносно невеликі розміри, а очевидним недоліком такої системи – викиди в атмосферу. Так наприклад, генератор потужністю 10 кВт викидує в атмосферу близько 7,2 кг діоксиду вуглецю, 0,1 кг оксиду азоту, 0,006 кг дрібносперсного пилу, 0,03 кг чадного газу та 0,0004 кг сірчатого газу за годину.

Крім цього суттєвим недоліком є споживання палива. Для дизельного генератора потужністю 10 кВт – це до 3 літрів на годину.

Для отримання електроенергії із використання переміщення повітряних потоків використовуються вітрові електрогенератори (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Вітрогенератор [4]

Недоліком такого пристрою є потрібність відповідних кліматичних умов, тобто вітряність місцевості.

Для отримання сонячної енергії використовуються сонячні панелі (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Сонячні панелі [4]

Недоліком сонячних панелей є необхідність досить великого місця для їх розташування. Але в деяких випадках це вирішується розташуванням їх на даху будівель або інших місцях. В даній роботі обрано спосіб отримання електроенергії із використанням сонячних панелей, що є розповсюдженим рішенням в міських зонах.

Порівняння вітряка та сонячної панелі з однаковою номінальною потужністю приведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння сонячної панелі та вітряка з однаковим номіналом

Показник	Вітряк 400 Вт	Панель 400 Вт
Номінал	400 Вт при 14 м/с	400 Вт при 1000 В/м ²
Реальна середня потужність	від 10 Вт до 50 Вт	від 60 Вт до 120 Вт
Добова генерація	від 0,3 кВт·год до 1,2 кВт·год	Від 1,2 кВт·год до 2,2 кВт·год
Річна генерація	від 100 кВт·год до 260 кВт·год	Від 450 кВт·год до 550 кВт·год
ККД системи	від 20 % до 30 %	від 17 % до 21 %
Обслуговування	високе: підшипники, вібрації, лопаті	мінімальне
Рівень шуму	від 40 дБ до 65 дБ	0 дБ
Ресурс	від 3 років до 7 років	понад 25 років
Окупність	рідко окупається	окупається від 5 років до 7 років

За таблицею 1.1 видно, що сонячна панель вигідніша за вітряк в 2 – 4 рази.

1.2 Аналіз структури та принципу дії сучасної системи автономного електропостачання, яка використовує сонячне випромінювання, як джерело енергії

Наразі в сонячних електростанціях розповсюдженою є така структура:

- сонячні панелі;
- контролер заряду;
- акумуляторна батарея (АКБ);
- інвертор;
- навантаження.

Також в багатьох системах додаються (не є обов'язковими) пристрої для продажу зайвої електроенергії. Для цього використовуються вимірювач струму та лічильник, який поєднаний із мережею. Графічне відображення подібної структури приведено на рисунку 1.4.

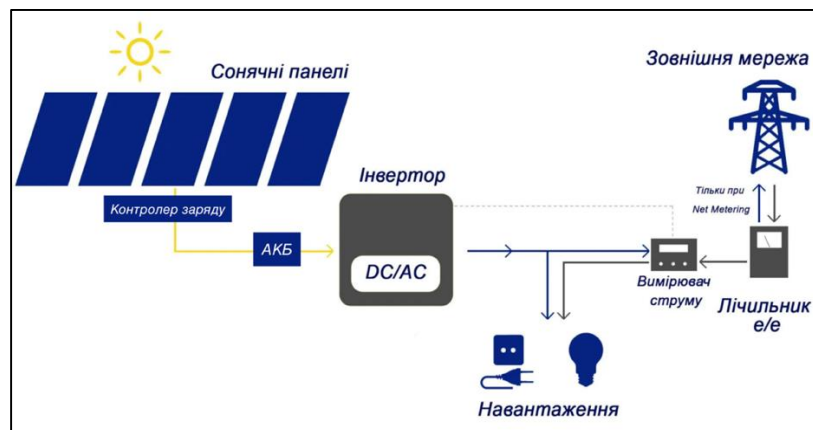


Рисунок 1.4 – Сонячні панелі [5]

Принцип дії наступний: сонячні промені потрапляють на панелі, які генерують електроенергію. Після цього струм проходить через контролер заряду і потрапляє на АКБ у випадку, якщо вона не заряджена повністю. Далі струм потрапляє до інвертора, який перетворює енергію на мережеву, тобто змінює напругу. Отже, на виході з інвертора отримується струм, який може бути

використаний як для живлення промислових об'єктів, так і для експорту на продаж.

В даній роботі дана структура є основою системи, але вона містить певні зміни та доповнення, які будуть означені далі. Крім цього слід зазначити, що в структурі розроблюваної системи немає пристроїв для експорту електроенергії для продажу.

1.3 Аналіз сучасних засобів автоматичного керування аварійним електропостачанням

Поширеним рішенням автоматичного регулювання електропостачання є пристрій безперебійного живлення (ПБЖ). Типову модель такого пристрою приведено на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – ПБЖ фірми ФОРТ [6]

Схематичне зображення ПБЖ приведено на рисунку 1.6.

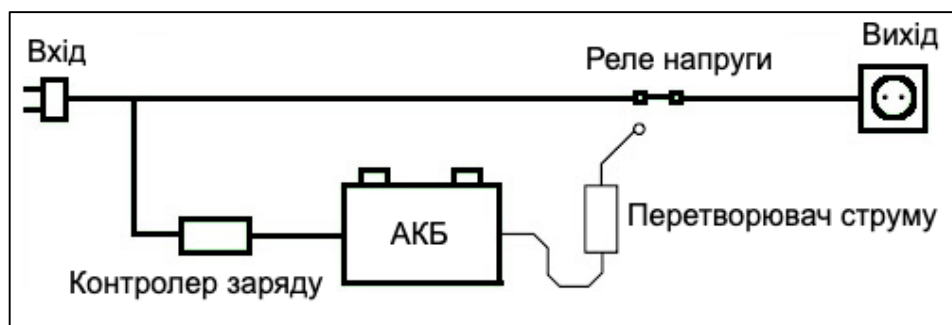


Рисунок 1.6 – Схема ПБЖ

Такі пристрої мають два режими роботи. Першим є режим простого пропускання електроенергії за її наявності в мережі. Також в такому випадку відбувається підзарядка АКБ. Наглядно це показано на рисунку 1.7.

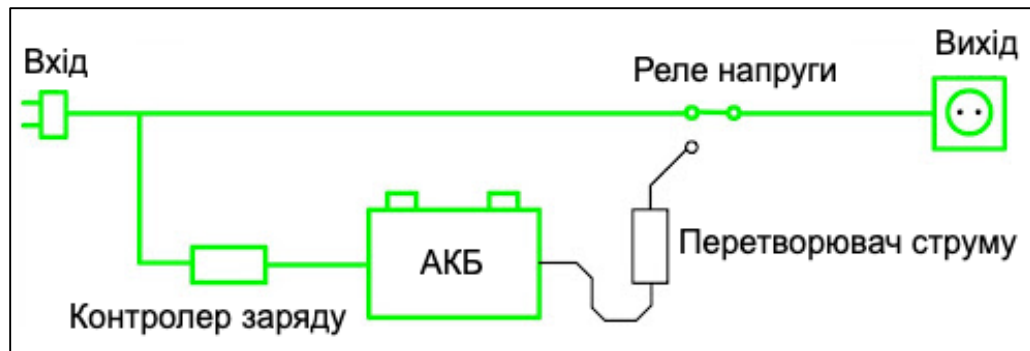


Рисунок 1.7 – Схема ПБЖ в нормальному режимі

У випадку вимкнення електроенергії ПБЖ автоматично перемикається в режим аварійного живлення, схему якого приведено на рисунку 1.8.

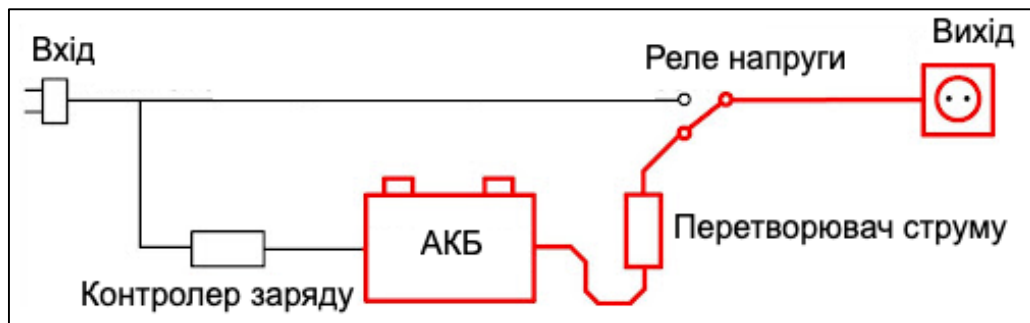


Рисунок 1.8 – Схема ПБЖ в аварійному режимі

Іншим варіантом є сонячні гібридні та автономні інвертори. Вони за своєю функцією подібні до ПБЖ. Зовнішній вигляд типового автономного інвертора приведено на рисунку 1.9.



Рисунок 1.9 – Автономний інвертор Luxpower SNA5000 Wide PV [7]

Для роботи таких пристроїв необхідною є АКБ. Також є можливість підключення та використання енергії сонячних панелей. Зовнішній вигляд системи автоматичного забезпечення аварійним електроспоживанням із використанням інвертору приведено на рисунку 1.10.



Рисунок 1.10 – Автоматична система аварійного електропостачання [8]

В таблиці 1.2 приведено порівняння ПБЖ та автономних інверторів.

Таблиця 1.2 – Порівняння сонячної панелі та вітряка з однаковим номіналом

Пристрій	Потужність макс, Вт	Орієнтовна ціна, грн
UPS та батарея 200 А·год	Від 500 В до 1000 В	Від 22500 грн до 26500 грн
Інвертор та батарея 200 А·год	Від 1000 В до 3000 В	Від 26500 грн до 41500 грн

З порівняльної таблиці видно, суттєвої цінової різниці між ПБЖ та інверторами немає.

В даній роботі принцип роботи ПБЖ є одним з ключових для роботи розроблюваної системи. Але також внесено деякі зміни, які дозволяють здійснювати як автоматичне, так і автоматизоване керування.

1.4 Аналіз подібних автоматизованих систем віддаленого керування електропостачанням

В якості систем для аналізу буде використано системи керування електроживленням в розумних будинках.

Керування електроживленням здійснюється за допомогою мобільного додатку. Типовий вигляд інтерфейсу такого додатку приведено на рисунку 1.9.

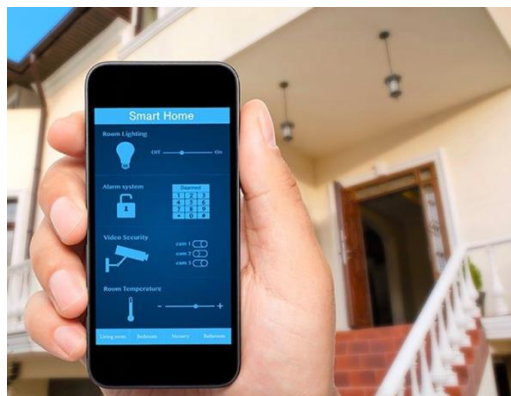


Рисунок 1.9 – Зовнішній вигляд сторінки керування у додатку Smart Home [9]

Обладнання, необхідне для побудови такої системи приведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.3 – Огляд обладнання

Тип обладнання	Найменування	Особливості
Модуль зв'язку	GSM/GPRS модем “ОВЕН ПМ01”	Автоматичне перезавантаження зі змінним інтервалом. Підключення по інтерфейсам RS-232 або RS-485. Канали зв'язку: GPRS/CSD/GSM
Програмований контролер	Логічно вільно програмуємий контролер “ОВЕН ПЛК 100”	Вільно програмуємий. Без початкової ОС. Програмне середовище CodeSys. Чотири інтерфейси зв'язку.
Комутація навантаження	Модульні контактори ABB ESB-20	-
	Автоматичні вимикачі ABB S201	-
	Диференційний автомат ABB DSH941	-
Аналізатори середовища	Датчики контактного типу, напівпровідникові, імпульсні лічильники.	-
Модуль вводу-виводу	Модуль дискретного вводу-виводу “ОВЕН МДВВ”	12 дискретних входів та 8 виходів

В залежності від потреб, керування може бути здійснено за допомогою SMS-обміну, через відправку коду команд, або через GPRS сервер. При цьому користувач може використовувати різні інструменти для керування, як утиліту Windows або Android-додаток.

Типову схему такої збірки приведено на рисунку 1.10.

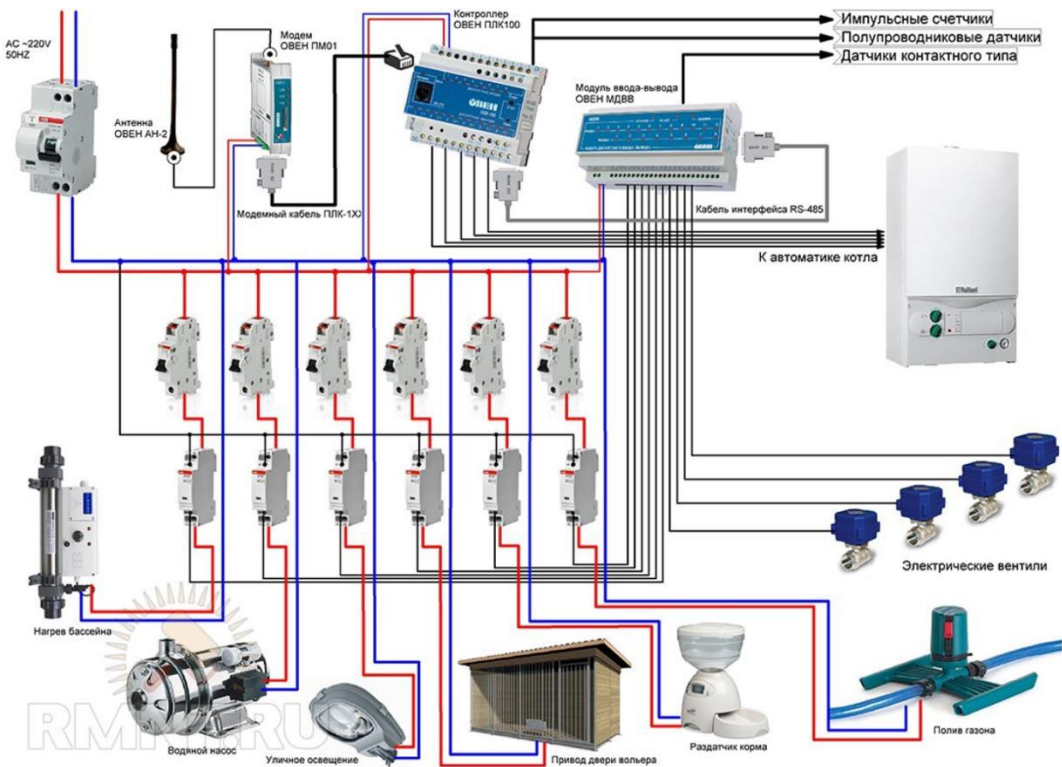


Рисунок 1.10 – Типова схема збірки [9]

Дана збірка надає можливість віддалено активувати будь-який з режимів роботи насоса в басейні, підігрівати воду, наповнити систему опалення та прогріти приміщення, включити полив газону та поливу, освітлення тощо [9].

В даній роботі буде використано принцип обміну SMS-повідомленнями як основу для зручного віддаленого керування з відмінністю, що для обміну повідомленнями буде використано систему обміну повідомленнями – месенджер

1.5 Аналіз інструментів збереження історії аварійних відключень електроенергії на виробництві

Існує декілька варіантів місць для збереження даних історії подій: файли, реляційні БД, нереляційні БД. Порівняння цих технологій за цілісністю збереження даних і іншими параметрами приведено на рисунку 1.11.

Показник	File	NoSQL	SQL
ACID транзакції	-	■	■■■■
Складні запити	-	■	■■■■
Цілісність даних	■	■■■■	■■■■

Рисунок 1.11 – Порівняння SQL БД, NoSQL БД та файлів

На сьогоднішній день, всі дані історії подій, пов'язаних з аварійними відключенням або включенням електроенергії найкраще зберігати в базах даних (БД). БД є набором даних в організованому вигляді, що зберігається на комп'ютері та керується за допомогою його ж. До можливостей БД належать зберігання, видалення, отримання та оновлення даних.

БД бувають різних видів. Основними видами БД є текстові файли, NoSQL, документно-орієнтовані та реляційні або SQL (тобто ті, що використовують мову запитів SQL) БД.

SQL бази використовують для загального призначення та великих проєктів. Дані та їх зв'язки структуруються за допомогою таблиць. У таблиці всі стовпці мають унікальну назву, означений тип даних і можуть включати додаткові налаштування. Кожний рядок є окремим записом, який містить значення для кожного стовпця, відповідно до його типу даних. Реляційні БД, такі як Oracle, SQLite, MySQL, є прикладами цього підходу. Приклад відображення записів бази MySQL приведено на рисунку 1.11.

The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a MySQL database named 'electricity_db'. The selected table is 'ChatEvents'. The table structure is as follows:

id	action	eventDate
1	Електрику вимкнено	2024-11-25 17:48:23
2	Електрику вимкнено	2024-11-25 17:48:36
3	Електрику вимкнено	2024-11-25 17:51:23
4	Електрику вимкнено	2024-11-25 17:53:12
5	Електрика була вмиюкнута	2024-11-25 17:53:43
6	Електрику вимкнено	2024-11-25 18:00:29
7	Електрику вимкнено	2024-11-25 18:05:12
8	Електрику вимкнено	2024-11-25 18:06:03
9	Електрику вимкнено	2024-11-25 18:07:30
10	Електрику вимкнено	2024-11-25 18:36:59
11	Електрику вимкнено	2024-12-03 18:25:11
12	Електрика була вмиюкнута	2024-12-03 18:26:01
13	Електрику вимкнено	2024-12-03 18:26:15
14	Електрику вимкнено	2024-12-03 18:26:43
15	Електрику вимкнено	2024-12-03 18:26:05
16	Електрику вимкнено	2024-12-03 18:29:26
17	Електрику вимкнено	2024-12-03 18:32:13
18	Електрику вимкнено	2024-12-03 18:32:56
19	Електрику вимкнено	2024-12-03 19:37:20
20	Електрику вимкнено	2024-12-03 19:44:19
21	Електрику вимкнено	2024-12-03 19:45:41
22	Електрика була вмиюкнута	2024-12-03 19:47:00
23	Електрику вимкнено	2024-12-03 19:47:46
24	Електрику вимкнено	2024-12-03 19:48:22
25	Електрику вимкнено	2024-12-03 19:58:03

Рисунок 1.11 – Записи в MySQL базі

Текстові файли використовуються для обробки та зберігання невеликих обсягів даних. У файлах певних форматів, таких як CSV, для розділення полів використовуються спеціальні символи, наприклад, крапка з комою або кома. Файли мають обмежені можливості по складності збережених даних, але дозволяють працювати з даними без використання додаткового програмного забезпечення, або інструментів.

NoSQL є базами даних типу “ключ-значення”, в яких використовується підхід, коли інформація зберігається у вигляді ключа та відповідного об'єкта або одиниці даних. Такою одиницею даних може бути JSON, текст або зображення. Для отримання даних потрібно передати ключ. З бази отримується blob-об'єкт. Прикладом такої бази даних є Cassandra.

Документні бази даних мають схожі властивості з NoSQL, але зберігають дані у форматах, таких як JSON, BSON або XML. Однією з найпопулярніших документних БД є MongoDB.

Деякі сучасні компанії надають хмарні сервіси та пропонують власні бази даних, наприклад Amazon DynamoDB. Місце розташування БД залежить від локації сервера, який здійснює операції з базою. Наприклад, якщо сервер

знаходиться в Україні, БД доцільно розгортати на сервісі, який є найближчою точкою до цієї локації.

В даній роботі для зберігання історії подій обрано одну з SQL баз.

1.6 Аналіз стану енергозатрат цехових приміщень на сучасних виробництвах

На сучасних виробничих підприємствах обсяг споживаємої електроенергії може дуже варіюватися в залежності від обладнання, яке використовується, його кількості, обсягу виробництва тощо. Нижче приведена зразкова таблиця, що відображає залежність між енергоспоживанням цехових приміщень та часом роботи, який може надати батарея безперебійного живлення із UPS 50 кВт·год.

Таблиця 1.4 – Таблиця даних енергоспоживання цехових приміщень та часу роботи, який може працювати за даним споживанням електричні пристрої

Потужність P, кВт	Реальна енергія АКБ, кВт	доступна	Час роботи, год
10	49		4,9
20	50		2,5
34	35		1,03
45	28		0,62

При низьких навантаженнях до 10 кВт, UPS може забезпечувати роботу системи протягом близько 5 годин, що є прийнятним лише для короткочасних аварійних ситуацій. При середніх значеннях навантаження (20–34 кВт), тривалість роботи зменшується в 2–5 разів – до 1–2,5 годин. Максимальне навантаження зменшує час автономної роботи ще більше – він становить менше години і це є критично недостатнім для промислового виробництва.

Як видно за даними таблиці 1.2 – час роботи, навіть при достатньо потужному АКБ (при напрузі 24 В ємність складає понад 2000 А·год) –

обладнання не може працювати навіть робочої зміни. Тож система потребує такої доробки, щоб з'явилась можливість як зарядження АКБ, так і здійснення керування електроенергією за графіком.

Для покращення ефективності роботи виробничих підприємств з точки зору енергоспоживання пропонується впровадження функціоналу для графіку чергування живлення, а також систем енергозабезпечення такої як сонячні панелі з контролером.

1.7 Постановка завдання на розробку

Враховуючи те, що мета кваліфікаційної роботи – покращення методів керування та підвищення рівня автоматизації роботи систем віддаленого керування аварійним електропостачанням на виробничому підприємстві, для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

- розробити структурну схему моделі;
- провести аналіз та підбір компонентної бази на якій буде працювати система;
- виконати реалізацію моделі системи.

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ МОДЕЛІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВІДДАЛЕНОГО КЕРУВАННЯ АВАРІЙНИМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯМ НА ВИРОБНИЧОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

2.1 Розробка структурної схеми

Структурна схема повинна створюватися при здійсненні перших кроків розробки проекту з тієї причини, адже вона надає можливість проаналізувати всі складові об'єкту, який розробляється і покращує розробку подальших схем, які необхідні для реалізації даного проекту. Така схема може бути узагальненою, а окремі її компоненти можуть підлягати декомпозиції. Узагальнену структурну схему приведено на рисунку 2.1.

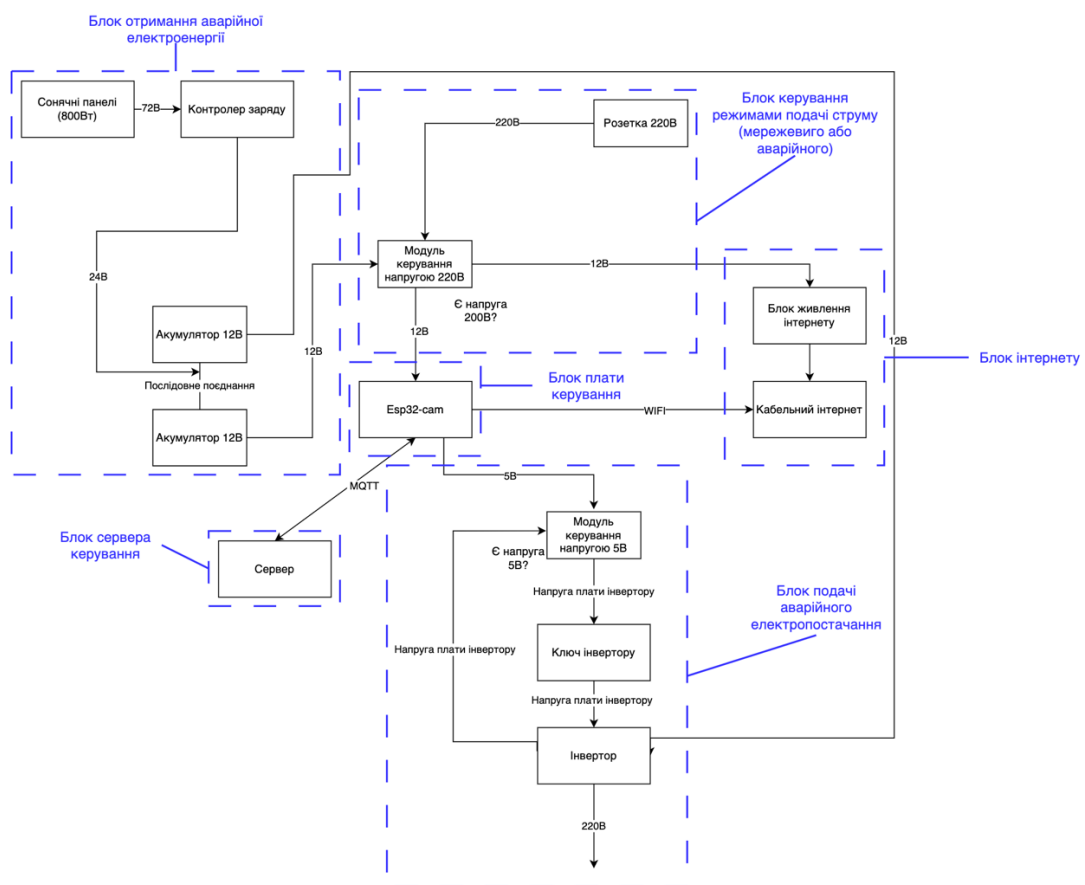


Рисунок 2.1 – Структурна схема автоматизованої системи віддаленого управління роботизованим сховищем на виробничому підприємстві

Блок отримання аварійної електроенергії використовується як інструмент отримання та зберігання електроенергії, яка отримується із сонячних променів. Зв'язок між сонячними панелями та контролером заряду, а також контролером заряду та АКБ відбувається через дротове підключення. Контролер заряду слугує для захисту АКБ від перезарядження.

Блок керування режимами подачі струму слугує для контролю наявності мережевої електроенергії і у разі її вимкнення – переходу до аварійного живлення. Модулем керування напругою 220 В є реле, до якого, за допомогою дротів, підключені контакти струму 12 В з АКБ та 220 В від мережі. Саме воно і виконує цю функцію.

До блоку інтернету належать сам роутер та його блок живлення. Бажано, щоб сам блок живлення, у випадку переходу на аварійне живлення, вмикався від блоку керування режимами подачі струму.

З плати керування подачею електроенергії складається блок плати керування. Керування цією платою відбувається за допомогою WI-FI мережі.

Сервером є Nest.js додаток, написаний на мові Typescript із використанням підключення до месенджера, як інструменту для візуального керування, БД та стороннього ресурсу для отримання даних прогнозування погоди, яка впливає на роботу сонячних панелей. Месенджер є додатком для обміну повідомленнями та файлами між двома або більше сторонами через інтернет або іншу комп'ютерну мережу [10]. В даній роботі обрано WhatsApp, як найпопулярніший месенджер, який надає можливості для обміну повідомленнями, створення груп та боту. В якості БД обрано MySQL, адже це є дуже розповсюдженим рішенням, у якому дані легко структуруються в таблиці.

Блок подачі аварійного електропостачання відповідає за перетворення струму у такий вигляд, який є можливим для використання у мережі, а також в ньому здійснюється керування подачею напруги. До його складу входять інвертор та реле напруги 5 В.

2.2 Розробка структури та обрання технологій реалізації сервера керування і його складових

Структура сервера повинна розроблятися на початку його створення і допускає корегування під час його реалізації. Її приведено на рисунку 2.2.

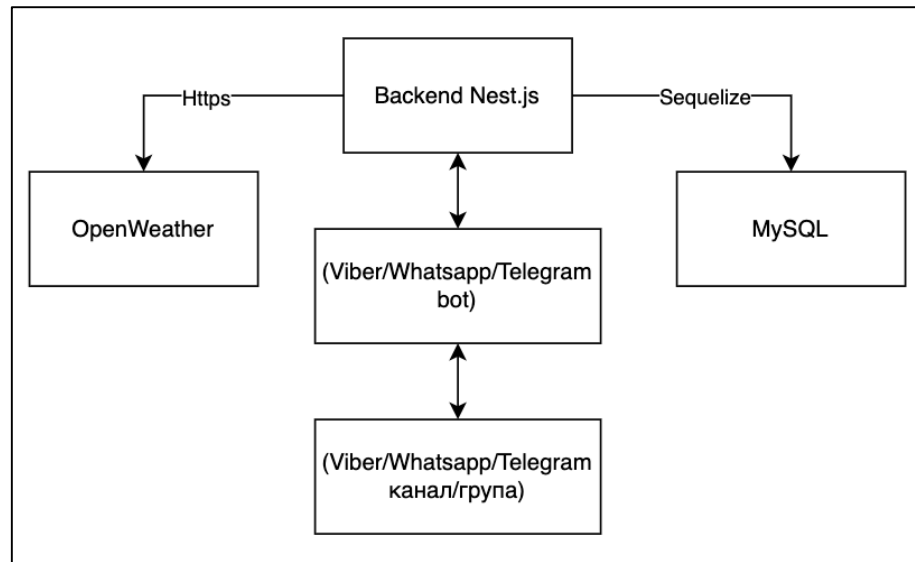


Рисунок 2.2 – Структура сервера з БД та сторонніми сервісами

Для реалізації серверного додатку використано обрано наступні технології:

- Node.js, як платформу для розробки;
- Typescript, що є популярною мовою програмування;
- фреймворк Nest.js для більш зручної реалізації сервера;
- Sequelize, як інструмент для підключення і взаємодії з БД;
- бібліотеку whatsapp-web.js для зручної взаємодії з WhatsApp ботом;
- бібліотеку axios для спрощення відправки HTTP запитів.

Структуру серверного додатку приведено на рисунку 2.3.

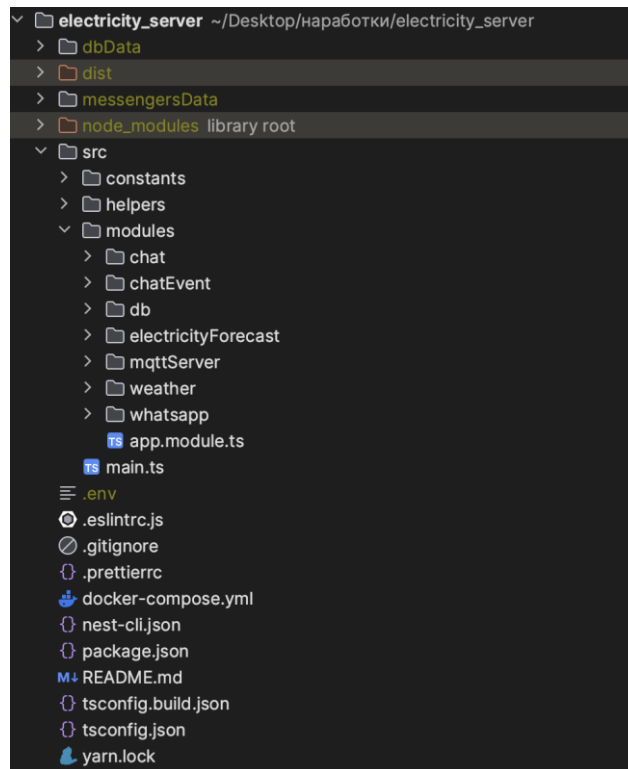


Рисунок 2.3 – Структура серверного додатку

В директорії `src` зберігаються основні файли проекту. Chat модуль є узагальненою оболонкою для взаємодії з месенджером. ChatEvent є модулем для взаємодії з БД для збереження або видалення подій включення або відключення електроенергії. Db використовується для підключення до MySQL за допомогою Sequelize. Модуль ElectricityForecast відповідає за розрахунок прогнозованих на завтрашній день значень ємності отриманої електроенергії та можливого часу роботи системи за цими даними. MqttServer є реалізацією взаємодії із платою керування через протокол MQTT. Weather використовується для отримання даних з ресурсу OpenWeatherMap. Whatsapp модуль відповідає за взаємодію з даним конкретним месенджером. App є корневим модулем, який поєднує всі вищезначені модулі, а також модуль конфігурації.

В якості БД обрано MySQL, яка є розповсюдженим рішенням серед SQL баз та дозволяє здійснювати структуроване в таблиці збереження та взаємодію з даними. Для даного проекту БД складається з однієї таблиці ChatEvents. Отже дана модель буде мати 3 поля. Опис приведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Модель події з електрикою

Назва поля	Тип даних, що зберігає	Призначення поля	Додаткові налаштування
id	integer	ідентифікатор події	поле є обов'язковим унікальним, а також самостійно заповнює значення, починаючи з 1 та збільшуючи на 1
action	string	опис події, що відбулась	поле є обов'язковим
eventDate	date	дата та час події	поле є обов'язковим, за замовчення автоматично встановлює поточну дату та час

В даній роботі, в якості системи обміну повідомленнями, або месенджера, використано WhatsApp, як найрозповсюдженіший месенджер у світі. Початкове підключення відбувається до бота і це надає можливості сумісного керування діями серверного додатку через інтеграцію бота, наприклад до групи. Це є рішенням, яке підходить до контексту даної роботи, адже роздивляється саме можливість керування для декількох працівників, які є відповідальними за електропостачання.

OpenWeatherMap є розповсюдженим ресурсом, що надає можливості отримання даних о стані погодних умов по всьому світу. Він пропонує API (тобто реалізовані серверні маршрути), за яким можна отримати стан актуальних прогнозів погоди, теперішнього стану та інших метеорологічних показників. Дані отримуються у форматі JSON, що є зручним форматом при обміні даними за протоколом HTTP. До основних можливостей OpenWeatherMap належать:

- отримання даних о поточній погоді за вказаною локацією по координатам, або іншими засобами;
- прогнозні дані до 16 діб із циклічним 3-4 годинним описом стану погоди;
- збереження стану погоди за минулі періоди;
- API, що надає розробникам можливість інтегрувати даних сервіс до власних проєктів;
- отримання кліматичних показників, як кількості опадів, середньорічної температури та інших.

В даній роботі використано API даного ресурсу для отримання прогнозованих та поточних даних погодних умов.

Сервер дозволяє здійснювати передачу команд включення та відключення електроенергії до плати керування, а також реалізацію графіку відключення та прогнозування отримуваної ємності електроенергії.

2.3 Обрання технології реалізації та розробка структури зв'язків сервера керування із платою керування

В якості технології для зв'язку сервера керування із платою керування обрано протокол MQTT. MQTT є протоколом обміну повідомленнями, який використовується для взаємодії між пристроями [11]. Суть роботи протоколу відображено на рисунку 2.4.

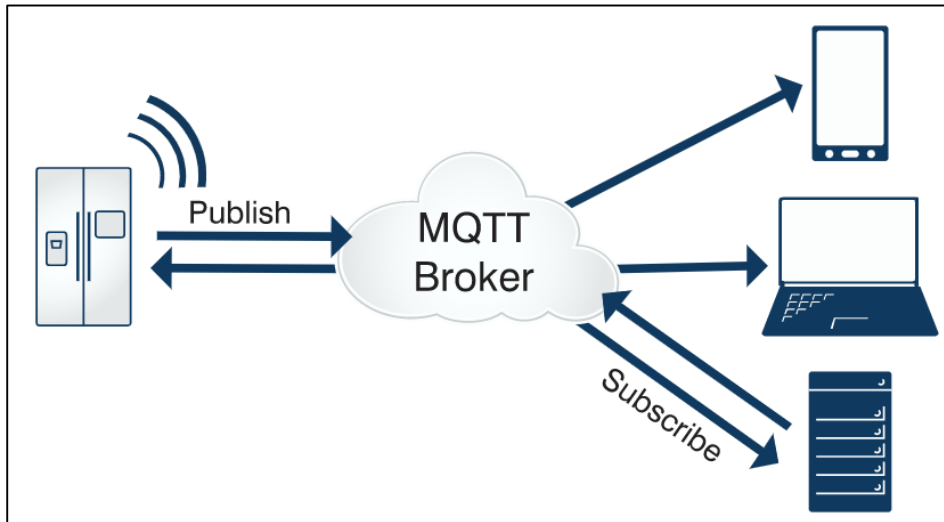


Рисунок 2.4 – Принцип обміну повідомленнями за протоколом MQTT [12]

За рисунком 2.4 центром обміну повідомленнями є віддалений сервіс – брокер. Пристрої відправляють повідомлення за певною темою (topic) і всі підписані на цю тему підписники отримують повідомлення.

Всі теми, з якими працює сервер приведено на рисунку 2.5.

```

export const mqttServerRoutes:{...} = {
  connect: 'connect',
  message: 'message',
  error: 'error',

  serverResFirstOn: 'server/res/first-on',

  serverResOn: 'server/res/on',
  serverResOff: 'server/res/off',

  serverResTest: 'server/res/test',

  serverReq: 'server/req/',

  serverReqSchedule: 'server/req/schedule',
} as const;
  
```

Рисунок 2.5 – Теми, з якими працює сервер

Перші три теми використовуються для реакції на події роботи вбудованого в розроблений сервер, MQTT сервера. Так наприклад за темою connect оброблюється подія підключення до брокера.

Теми з суфіксом res використовуються для підписки і отримання даних від брокера, на який повідомлення надходять із плати керування. На рисунку 2.6 приведено функцію-обробник надходження повідомлень за відповідними темами.

```

async router(topic: string, resData: string): Promise<void> {
  if (topic === mqttServerRoutes.serverResFirstOn) {
    this.chatService.sendMsgToSomeMessengers(
      this.chatService.messengers,
      data: `Електрику було вимкнено о ${getCurrentDateAsTimeString()}`,
    );
    await this.chatEventService.addChatEvent( action: 'Електрику вимкнено');
  } else if (topic === mqttServerRoutes.serverResOn) {
    this.chatService.sendMsgToSomeMessengers(
      this.chatService.messengers,
      data: 'Електрика була вмикнута',
    );
    await this.chatEventService.addChatEvent( action: 'Електрика була вмикнута');
  } else if (topic === mqttServerRoutes.serverResOff) {
    this.chatService.sendMsgToSomeMessengers(
      this.chatService.messengers,
      data: 'Електрику було вимкнено',
    );
    await this.chatEventService.addChatEvent( action: 'Електрика була вмикнута');
  } else if (topic === mqttServerRoutes.serverResTest)
    this.mqttServerTestResHandler(Number(resData));
}

```

Рисунок 2.6 – Структура обробника повідомлень за темами, до яких підписано сервер

Тобто, за даними темами повідомляється про включення та відключення електроенергії, а також відбувається перевірка роботи плати керування.

За темами з суфіксом req відбувається публікація повідомлень про зміну стану роботи системи.

2.4 Розробка алгоритму, за яким працює модель системи

Алгоритм, за яким працює АСВКАЕ має розроблятися при початку розроблення такої системи. Його приведено на рисунку 2.7.

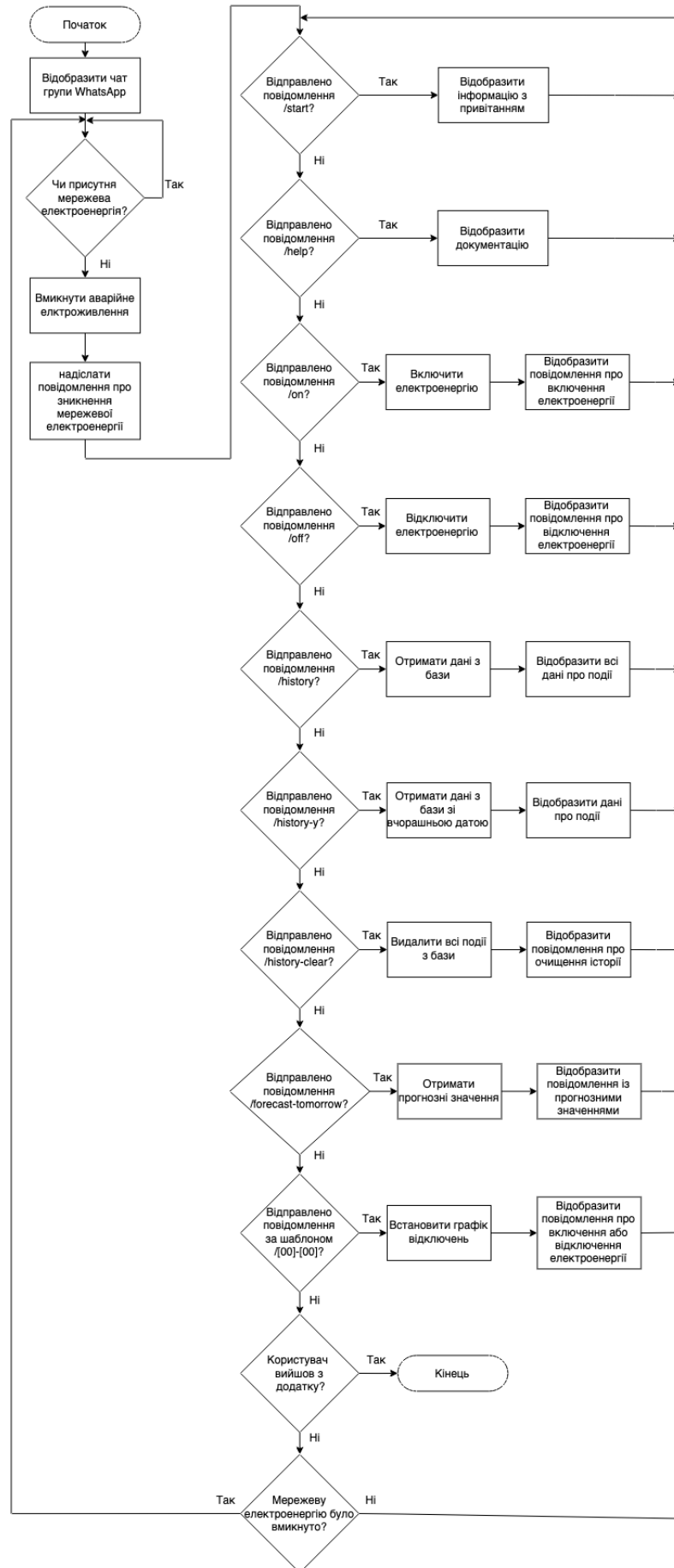


Рисунок 2.7 – Алгоритм, за яким працює система

Напочатку роботи системи необхідно відкрити додаток WhatsApp. Система починає свою роботу після знакнення мережевої електроенергії. Після цього вмикається аварійне електроживлення та надходить повідомлення про зникнення електроенергії в мережі. Після цього виконується прослуховування на відправку відповідних подій до чату. Якщо це подія включення електроенергії – її буде включено і навпаки, є можливість встановлення графіку відключень тощо. Звичайно, що користувач перестає взаємодіяти із системою після виходу із WhatsApp. Також припиняє свою дію після включення мережевої електроенергії.

2.5 Вибір компонентної бази для реалізації системи

В якості плати-сервера обрано ESP32-Cam. Її параметри та можливості наступні:

- наявність модуля WI-FI;
- напруга живлення 5 В;
- вихідна напруга 3,3 В або 5 В;
- процесор двохядерний, 32-бітний з низьким енергоспоживанням.

Зовнішній вигляд плати приведено на рисунку 2.8.



Рисунок 2.8 – ESP32-Cam [13]

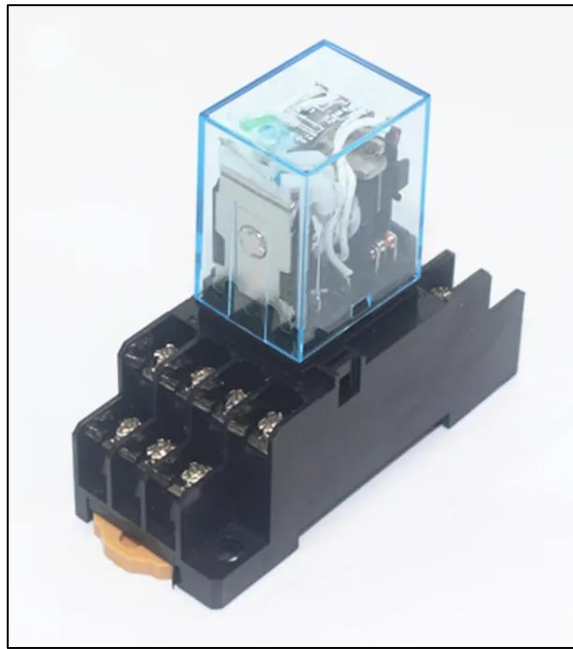


Рисунок 2.11 – Реле HH54P MY4NJ [16]

Його параметри наступні:

- вольтаж 220 В;
- являє собою реле змінного струму;
- за різновидом є електромагнітним реле.

Для керування напругою 3,3 В також використовується реле відповідного струму (рисунок 2.12).

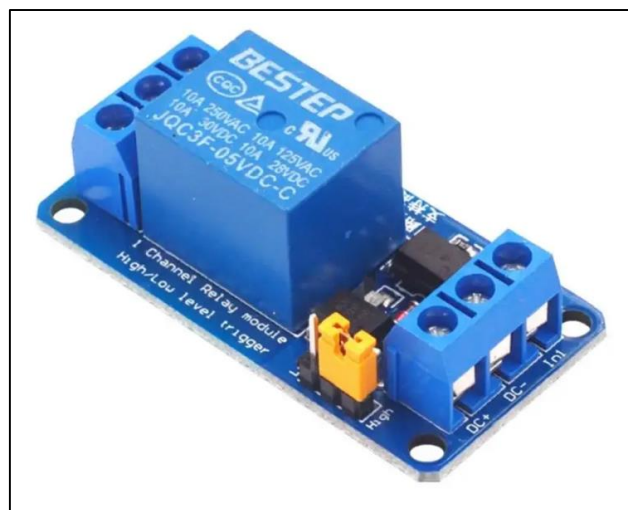


Рисунок 2.12 – Реле 3,3 В [17]

Опис даного пристрою:

- напруга живлення 5 В;
- струм спрацювання 5 мА;
- має подвійну оптрону ізоляцію.

Для перетворення напруги в 220 В обрано інвертор УКС 1500 Вт, зовнішній вигляд якого показано на рисунку 2.13.



Рисунок 2.13 – Реле 3,3В [18]

Параметрами даного інвертору є:

- напруга живлення 12 В;
- номінальна потужність 1500 Вт;
- автовідключення при низькій напрузі від 9,5 В до 10,3 В;
- наявність USB роз'єму.

Як засіб отримання сонячної енергії можливе використання сонячних панелей фірми Risen (рисунок 2.14).

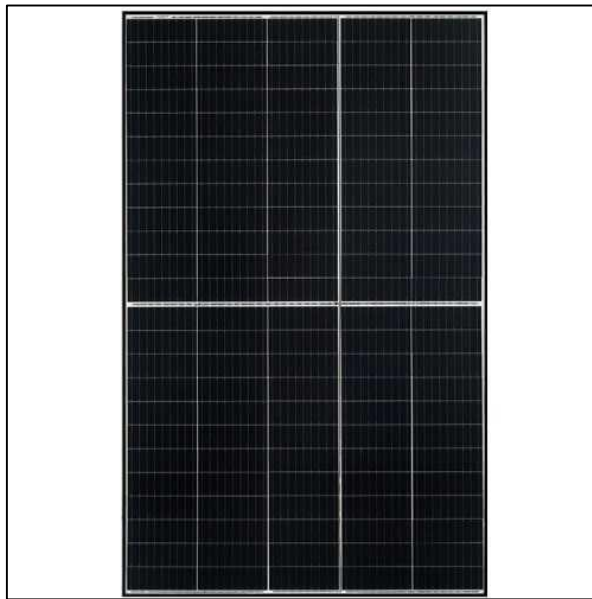


Рисунок 2.14 – Сонячна панель фірми Risen [19]

Вихідна напруга обраних панелей – 36 В із потужністю 450 Вт кожна.

Для забезпечення безпеки від перезарядження АКБ обрано контролер заряду, який приведено на рисунку 2.15. Його параметрами є:

- максимальна напруга до 160 В;
- струм 60 А;
- підходить до АКБ із напругою 12 В, 24 В, 36 В, 48 В.



Рисунок 2.15 – PowMr контролер заряду [20]

Для збереження енергії може бути обрано АКБ фірми Vadis ємністю 80 А·год, що приведено на рисунку 2.16.

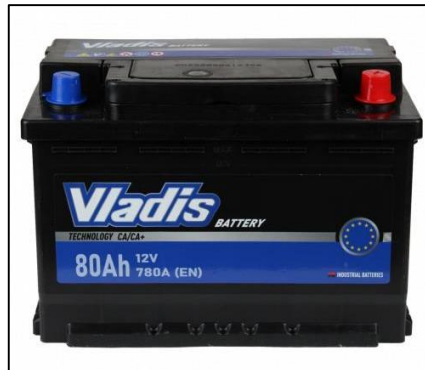


Рисунок 2.16 – АКБ фірми Vadis [21]

2.6 Обрання методів аналізу і прогнозування процесів системи

Система потребує розв’язку трьох основних проблем:

- аналізу історії споживання електроенергії;
- прогнозування кількості електроенергії, що буде спожита;
- прогнозування значень отримуваної електроенергії.

Для аналізу історії споживання електроенергії обрано статистичний аналіз та регресію.

До статистичного аналізу входять наступні складові:

- середнє споживання у робочі і вихідні дні;
- середнє споживання у робочі години та ніч;
- побудова діаграми споживання;
- виявлення пікових годин.

Зв’язок між регресантом Y та регресором X з урахуванням можливих відхилень записується у вигляді

$$Y = \alpha \cdot X + \beta + 1, \quad (2.1)$$

де α і β – це невідомі параметри регресії;

l – випадкова змінна, що є характеристикою відхилення паралельно осі ОУ точок, що спостерігаються, від лінії регресії.

Регресія є характеристикою тенденції зміни показника, яка зумовлена впливом зміни фактору. Формула (2.1) характеризує індивідуальне значення показника Y із урахуванням відхилень від середніх значень.

Якщо, наприклад, оцінки параметрів будуть позначені через a та b , то рівняння парної регресії $Y = a \cdot X + b + l$ буде оцінкою моделі (2.1).

Різниця має вигляд

$$y_i - \tilde{y}_i, (i = 1n), \quad (2.2)$$

де y_i – фактичні значення показника;

\tilde{y}_i – розраховані значення показника;

l – відхилення точки, що спостережується, від точки згладжуваної с кривої.

Метод парної лінійної регресії полягає у підборі таких оцінок параметрів регресії a та b , де сума квадратів відхилень спостережуваних значень показника від згладжувальних буде мінімальною (рисунок 2.14).

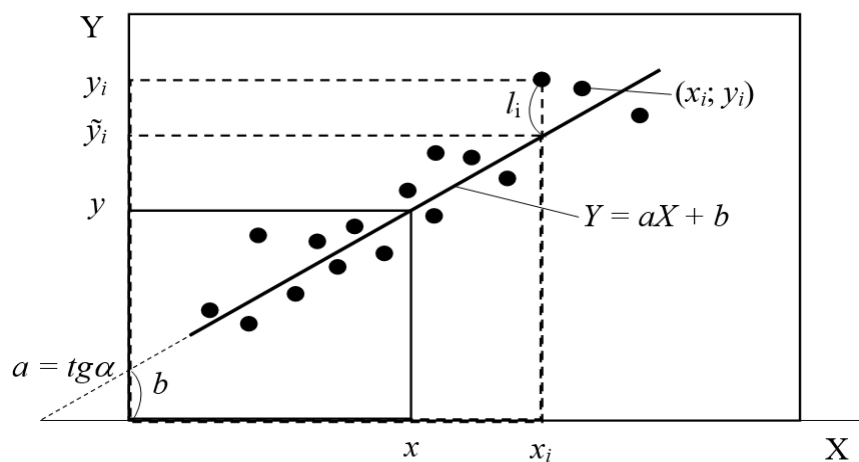


Рисунок 2.14 – Парна лінійна регресія

Формула суми квадратів відхилень має вигляд:

$$Q(a,b) = \sum_{i=1}^n l_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2. \quad (2.3)$$

Оцінки параметрів a і b лінії регресії $Y = a \cdot X + b$ повинні бути підібрані за методом найменших квадратів таким чином, щоб функціонал $Q(a,b)$ був мінімальним, тобто

$$Q(a,b) = \sum_{i=1}^n l_i^2 \rightarrow \min. \quad (2.4)$$

Необхідна умова мінімуму даного функціонала є рівність нулю частинних похідних даного функціонала за a і b :

$$\begin{cases} \frac{dQ(a,b)}{da} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)x_i = 0 \\ \frac{dQ(a,b)}{db} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b) = 0: \end{cases} \quad (2.5)$$

Система має єдиний розв'язок:

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - [\sum_{i=1}^n x_i]^2}, \quad (2.6)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - a \sum_{i=1}^n x_i}{n}. \quad (2.7)$$

Кореляційний момент є статистичною характеристикою системи випадкових величин, яка описує зв'язок між випадковими величинами X і Y і їх розсіяння:

$$\text{cov}(x,y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n}. \quad (2.8)$$

Для визначення зв'язку між величинами вводиться коефіцієнт кореляції:

$$r(x,y) = \frac{\text{cov}(x,y)}{\sigma[x]\sigma[y]} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}. \quad (2.9)$$

Даний коефіцієнт є характеристикою ступеню щільності лінійної залежності між випадковими величинами X і Y та змінюється в діапазоні від -1 до 1 , причому: за умови, якщо $r(x, y) > 0$, то між X і Y є пряма залежність, проте за умови що $r(x, y) < 0$, то між X і Y існує обернена залежність.

Нехай двовимірний випадковий вектор розподілений за нормальним законом. За такої умови, для вибірки обчислюється статистика:

$$t = \frac{r(x,y)}{\sigma_r} = \frac{r(x,y)\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2(x,y)}}. \quad (2.10)$$

Для заданої ймовірності p і ступенів вільності k , що дорівнює $n - 1$, знаходять табличне значення $t_{p,k}$ – статистики. За умови, що $t_{\text{розр}} \geq t_{p,k}$, то із заданою надійністю p гіпотезу про відсутність кореляційного зв'язку між випадковими величинами (X, Y) потрібно відкинути і прийняти альтернативну їй гіпотезу H_1 щодо наявності залежності між цими випадковими величинами.

Нехай $k_i = (y_i - \bar{y}) - a(x_i - \bar{x})$. Тоді відношення суми квадратів теоретичних відхилень y_i від середнього значення \bar{y} до суми квадратів відхилень спостережуваних значень y_i , від середнього значення \bar{y} для лінійної регресії:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n k_i^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = r^2(x,y). \quad (2.11)$$

Величина R^2 є вибіркоvim коефіцієнтом детермінації. У випадку парної лінійної регресії коефіцієнт детермінації дорівнює квадрату коефіцієнта кореляції. Чим ближче R^2 до одиниці, тим більше експериментальні значення до лінії регресії. Значущість коефіцієнта детермінації перевіряється за допомогою F-статистики за наступною формулою:

$$F_R = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{n-m-1}{m}, \quad (2.12)$$

де n – кількість вимірювань;

m – кількість параметрів рівняння регресії.

Для заданої надійності p , ступенів вільності $k_1 = m$, $k_2 = n-m-1$ знаходять за таблицями F_{p,k_1,k_2} - статистику.

За умови, що $F_R \geq F_{p,k_1,k_2}$ з надійністю p , тоді коефіцієнт детермінації статистично значущий.

Коефіцієнт еластичності для значення фактору знаходиться за формулою:

$$K_{X_i} = \frac{\Delta y_i}{y_i} / \frac{\Delta x_i}{x_i}, \quad (2.13)$$

де $\Delta y_i = y_{i+1} - y_i$;

$\Delta x_i = x_{i+1} - x_i$.

Якщо зробити граничний перехід при $\Delta x \Rightarrow 0$, то отримано наступну формулу точкової оцінки коефіцієнта еластичності:

$$K_{X_i} = \frac{Y' \cdot X}{Y}. \quad (2.14)$$

Коефіцієнт еластичності вказує не те, на скільки відсотків зміниться показник, за умови що фактор зміниться на один відсоток.

Для парної лінійної регресії коефіцієнт еластичності визначається за наступною формулою:

$$K_{X_i} = \frac{(aX+b)' \cdot X}{Y} = \frac{aX}{Y}. \quad (2.15)$$

Для прогнозування кількості електроенергії, що буде спожита, обрано методи часових рядів.

Першим методом є ковзні середні. Його суть, з точки зору електроспоживання полягає у усереднюємо споживання за останні n днів/годин:

$$Y_{t+1}^{\wedge} = \frac{Y_t + Y_{t-1} + \dots + Y_{t-n+1}}{n}. \quad (2.16)$$

Наступним методом є експоненціальне згладжування:

$$Y_{t+1}^{\wedge} = \alpha Y_t + (1 - \alpha) Y_t^{\wedge}, \quad (2.17)$$

де α – коефіцієнт згладжування ($0 < \alpha < 1$).

Суть методу: останнім даним надається більша вага.

Далі лінійна регресія за часом, де будується залежність між споживанням і часом за наступною формулою:

$$Y_t = a + b \cdot t. \quad (2.18)$$

Для прогнозування значень отриманої електроенергії в залежності від погоди обрано метод найменших квадратів. Нехай є набори спостережень $i=1..n$.

Отримана електроенергія (кВт·год) у момент/період i обчислюється за формулою:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \dots + \beta_p X_{ip} + \varepsilon_i, \quad (2.19)$$

де $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ip}$ – погодні предиктори (температура, сонячна радіація, вологість, вітер).

Нехай для зручності введено три матриці:

$$Y = \begin{pmatrix} Y_1 \\ \dots \\ Y_n \end{pmatrix}, X = \begin{pmatrix} 1 & X_{11} & \dots & X_{1p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & X_{n1} & \dots & X_{np} \end{pmatrix}, \beta = \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \dots \\ \beta_p \end{pmatrix}. \quad (2.20)$$

Тоді модель має вигляд: $Y = X\beta + \varepsilon$.

Оцінка параметрів методом найменших квадратів виконується за наступною формулою:

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y. \quad (2.21)$$

Формули (2.22) – (2.25) є оцінкою дисперсії та стандартних помилок.

Остаточна сума квадратів помилок:

$$SSE = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = (Y - X\hat{\beta})^T (Y - X\hat{\beta}). \quad (2.22)$$

Оцінка дисперсії шуму:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{SSE}{n - (p + 1)}. \quad (2.23)$$

Коваріаційна матриця оцінок:

$$\text{Var}(\hat{\beta}) = \sigma^2 (X^T X)^{-1}. \quad (2.24)$$

Стандартна помилка для коефіцієнта j :

$$\text{SE}(\hat{\beta}_j) = \sqrt{\sigma^2 [(X^T X)^{-1}]_{jj}}. \quad (2.25)$$

T-статистика для β_j обчислюється за формулою:

$$t_j = \frac{\hat{\beta}_j}{\text{SE}(\hat{\beta}_j)}. \quad (2.26)$$

Інтервали прогнозу є наступні:

- інтервал довіри до середнього значення при x_0 : $\hat{y}_0 \pm t_{n-(p+1), 1-\alpha/2} \cdot \text{SE}(\hat{y}_0)$;
- інтервал довіри до середнього значення при x_0 : $\hat{y}_0 \pm t_{n-(p+1), 1-\alpha/2} \cdot \text{SE}_{pred}$.

Далі виконується діагностика моделі, до якої входять:

- графік залишків та прогнозу, який є перевіркою випадковості;
- Q-Q plot (перевірка нормальності залишків);
- тест на автокореляцію залишків, що є важливим для часових рядів;
- перевірка на гетероскедастичність;
- перевірка мультиколінеарності предикторів;
- виявлення впливових спостережень.

Оцінка ефективності даних методів:

а) статистичний аналіз та регресія:

1) сильними сторонами є простота у використанні, надавання можливості виявлення базових залежностей, можливість побудови рівняння, що є поясненням залежності енергоспоживання від декількох факторів;

2) слабкими сторонами є те, що лінійна регресія не враховує складних нелінійних залежностей і також погано працює для довгострокових прогнозів, де вплив сезонності чи пікових навантажень важливіший;

3) ефективність є високою для початкового аналізу і короткострокових прогнозів, але ж є обмеженою для складних систем;

б) методи часових рядів:

1) до сильних сторін належать врахування динаміки у часі, трендів та сезонності, а також дані методи добре підходять для прогнозів на основі історичних даних; можуть давати точні прогнози, якщо даних достатньо;

2) слабкими сторонами є те, що не враховуються зовнішні фактори напряму (наприклад, погода, виробниче навантаження) без додаткових моделей і потрібні якісні і повні історичні дані;

3) ефективність є дуже високою для коротких і середньострокових прогнозів за умови наявності історичних даних;

в) парна лінійна регресія за методом найменших квадратів у залежності від погоди:

1) плюсом даного методу є його простота, він дозволяє оцінити вплив температури, вологості або іншого фактора на енергоспоживання; добре працює для виробничих систем, де є очевидний зв'язок;

2) слабкими сторонами є те, що має можливість описувати тільки одну залежність і крім цього за умови впливу кількох факторів одночасно, метод може бути недостатньо точним;

3) ефективність є середньою, є корисним як додатковий інструмент, але не достатній для комплексного прогнозування.

2.7 Порівняння надійності керування розроблюваної системи із сучасними аналогами

Як приклад для порівняння взято MUST EP1500 PRO, характеристики якого приведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристики MUST EP1500 PRO

Параметр	Значення
потужність інвертора	1500 Вт
напруга АКБ	12 В
сонячні панелі	600 Вт
тип керування	ручний
вбудована АКБ	-

Кількість помилок за добу при перемиканні розраховується за наступною формулою:

$$E_h = N \cdot p_h, \quad (2.27)$$

де N – кількість перемикань на добу (типово 2–6 для сонячних систем);

p_h – ймовірність людської помилки при перемиканні (від 5 % до 20 %).

За звичайної ситуації ймовірність людської помилки при ручному керуванні складає 10 %, а кількість перемикань – 3.

$E_h = 3 \cdot 0,1 = 0,3$ помилки/добу.

Порівняння надійності керування розроблюваної системи із MUST EP1500 PRO приведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Порівняння надійності керування

Параметр	MUST EP1500 PRO	Розроблювана система
помилки за добу	0.3 шт	0 шт
помилки за рік	приблизно 110 шт	від 0 шт до 2 шт
головна причина	людський фактор	алгоритм, синхронізація
Затримка перемикання	понад 5 хв	менше 1 с
Зношення обладнання	середнє/підвищене	мінімальне
Ризик розряду АКБ	високий	майже нульовий

Як видно з таблиці 2.3 – середня кількість помилок і затримка перемикачів у розроблюваній системі набагато менша, ніж у MUST EP1500 PRO. Тому віддалене керування є великим покращенням подібних систем аварійного електроживлення.

3 РЕАЛІЗАЦІЯ ІНТЕРФЕЙСУ, ФУНКЦІОНАЛУ, ПРОГРАМНОЇ СКЛАДОВОЇ ТА ПРОЦЕСІВ СИСТЕМИ

3.1 Реалізація інтерфейсу в системі обміну повідомленнями

Початковою є команда `/start`, яка надає привітання. Результат її виконання приведено на рисунку 3.1.

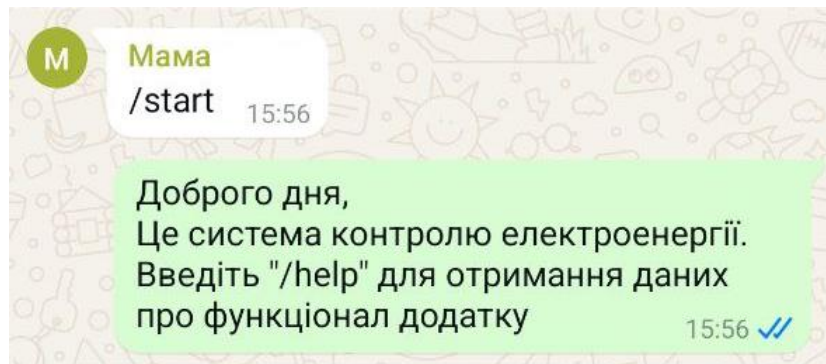


Рисунок 3.1 – Результат виконання початкової команди

Команда `/help` повертає список основних запитів, що мають функціональний зміст (рисунок 3.2).

Перші дві команди відповідають за включення та відключення електроенергії. Команди з коренем `history` повертають дані про події з електроенергією або відповідають за очищення історії. `/forecast-tomorrow` є запитом для отримання прогнозованих значень ємності, яка може бути отримана протягом наступного дня та часу роботи, який може система працювати за отриманою ємністю. Шаблонний запит є універсальним для встановлення графіку включення та відключення електроенергії. Так, наприклад, він може мати вигляд `/12-12`, `/10-14`, `/06-18` тощо, де перше число – час, коли електроенергія присутня, а друге – час, коли відсутня.

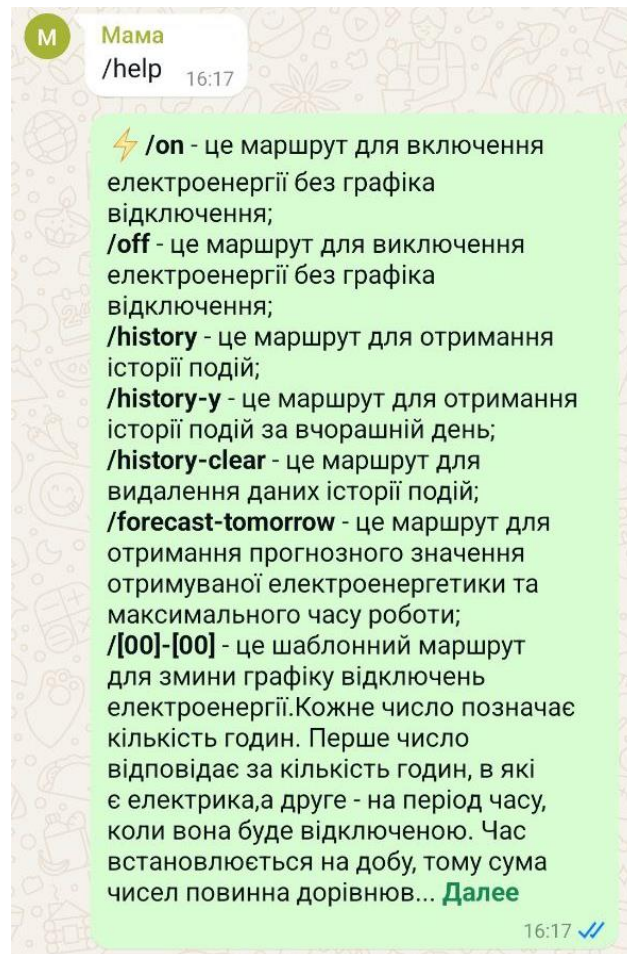


Рисунок 3.2 – Документація по запитам системи

Результат виконання запитів /on та /off приведено на рисунку 3.3.

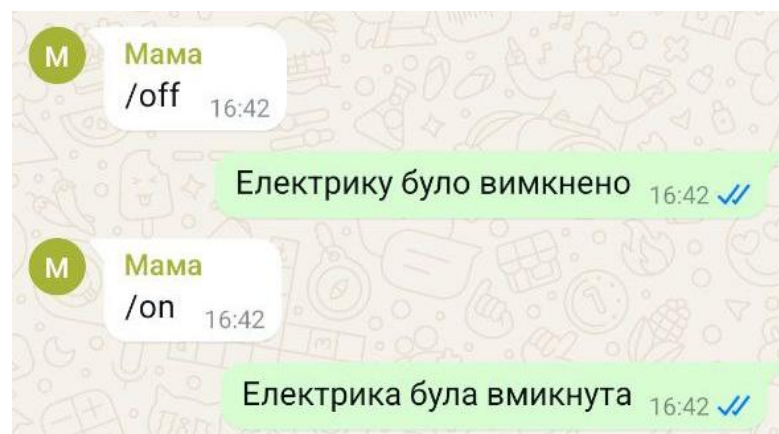


Рисунок 3.3 – Повідомлення на запити /on та /off

Повернення історії подій приведено на рисунку 3.4.

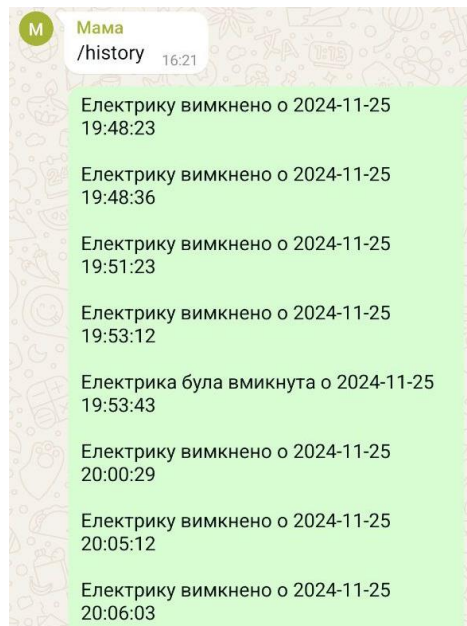


Рисунок 3.4 – Події з електроенергією в системі

Очищення історії приведено на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 – Очищення історії

Повернені прогноровані значення приведено на рисунку 3.6.

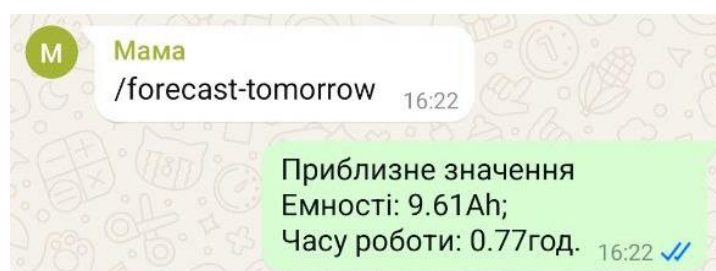


Рисунок 3.6 – Прогноровані значення ємності та часу роботи

Рисунок 3.7 відображає один із шаблонних запитів та результат його виконання у якості повідомлень.

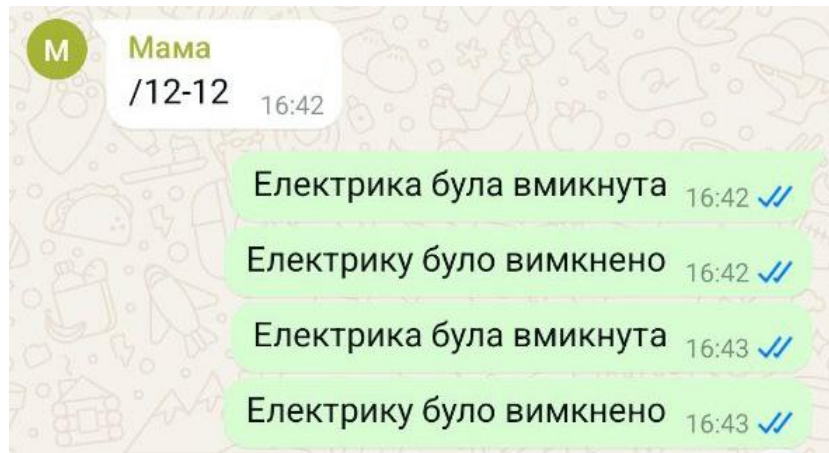


Рисунок 3.7 – Графік включень та відключень електроенергії

Через певний час після включення електроенергії відбувається повідомлення про відключення системи (рисунок 3.8).

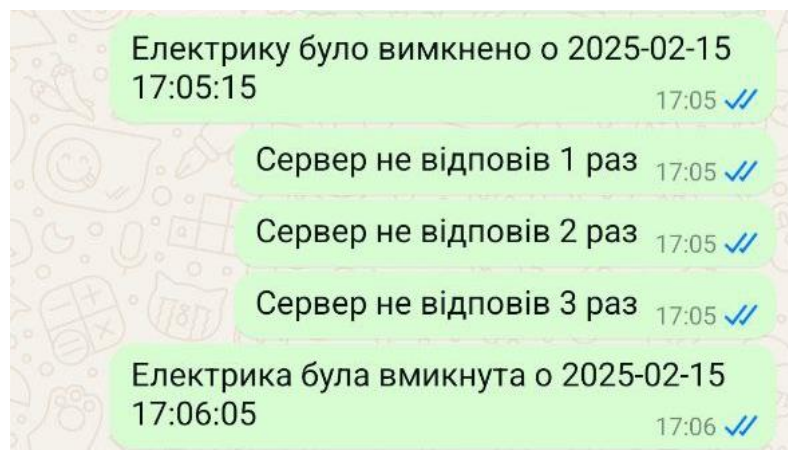


Рисунок 3.8 – Реакція системи на вмикання електроенергії

3.2 Реалізація розрахунку прогнозованих значень електроенергії

Під час розрахунку прогнозованих значень часу роботи та ємності електроенергії треба враховувати декілька складових: параметри пристроїв,

погодні умови, які впливають на роботу сонячних панелей, довжину сонячного періоду протягом дня тощо.

Дані о погоді отримуються з ресурсу `openweathermap`, однією із можливостей якого є отримання даних о погоді протягом чотирьох наступних днів через кожні 3-4 години. Дані приходять у форматі JSON і вигляд одного об'єкту-прикладу даних погоди наступний:

```
{
  "dt": 1731358800,
  "main": {
    "temp": 276.42,
    "feels_like": 274.53,
    "temp_min": 275.79,
    "temp_max": 276.42,
    "pressure": 1032,
    "sea_level": 1032,
    "grnd_level": 1014,
    "humidity": 70,
    "temp_kf": 0.63
  },
  "weather": [
    {
      "id": 803,
      "main": "Clouds",
      "description": "broken clouds",
      "icon": "04n"
    }
  ],
  "clouds": {
    "all": 56
  },
}
```

```
"wind": {
  "speed": 1.98,
  "deg": 79,
  "gust": 4.03
},
"visibility": 10000,
"pop": 0,
"sys": {
  "pod": "n"
},
"dt_txt": "2024-11-11 21:00:00"
}
```

Також використано інше посилання цього ресурсу для отримання даних о погоді у вигляді:

```
{
  "coord": {
    "lon": 36.25,
    "lat": 50
  },
  "weather": [
    {
      "id": 501,
      "main": "Rain",
      "description": "moderate rain",
      "icon": "10n"
    }
  ],
  "base": "stations",
  "main": {
    "temp": 276.04,
```

```
"feels_like": 276.04,  
"temp_min": 276.04,  
"temp_max": 276.04,  
"pressure": 1029,  
"humidity": 64,  
"sea_level": 1029,  
"grnd_level": 1010  
},  
"visibility": 10000,  
"wind": {  
  "speed": 1.16,  
  "deg": 119,  
  "gust": 1.6  
},  
"rain": {  
  "1h": 1.21  
},  
"clouds": {  
  "all": 100  
},  
"dt": 1731511383,  
"sys": {  
  "country": "UA",  
  "sunrise": 1731473096,  
  "sunset": 1731506032  
},  
"timezone": 7200,  
"id": 706483,  
"name": "Kharkiv",  
"cod": 200
```

}

Після отримання даних про погоду на завтрашній день, в сонячний період, є можливість використати розрахункові формули. Отже, необхідно перевести значення температури так, щоб воно було представлено за шкалою Цельсія. Дана дія виконується із використанням наступної формули:

$$T = t - T_0, \quad (3.1)$$

де t – значення температури за шкалою Кельвіна;

T_0 – константа, яка відповідає близько 273.

Потім, маючи дані о температурі, можна отримати значення потужності сонячної панелі з урахуванням температурних умов у навколишньому середовищі. Потужність сонячної панелі за підвищенням температури понад 20 °C змінюється і зміна розраховується за формулою:

$$P_{\text{term}} = P_{\text{nom}} \cdot (1 - \alpha \cdot (T - 20)), \quad (3.2)$$

де P_{nom} – номінальне значення потужності батареї;

α – температурний коефіцієнт потужності (дорівнює 0,5%/°C або 0,05);

Ефективна потужність панелей із урахуванням хмарності отримується за формулою:

$$P_{\text{ef}} = P_{\text{term}} \cdot \left(1 - \frac{C_{cl}}{100}\right), \quad (3.3)$$

де C_{cl} – є відсотком хмарності.

З сонячних панелей енергія передається на контролер заряду, тому струм, який подається контролером на АКБ отримується за наступною формулою:

$$I_{\text{charge}} = \frac{P_{\text{ef}}}{V_{\text{out}}}, \quad (3.4)$$

де V_{out} – напруга виходу з контролера.

Значення передбачуваної ємності, що отримана за проміжок часу розраховується за формулою:

$$C_{forecast} = \sum_{i=1}^N I_{charge}(i) \cdot \Delta t, \quad (3.5)$$

де $I_{charge}(i)$ – струм заряду кожної години;

Δt – інтервал часу (наприклад 3 або 4 години);

N – кількість інтервалів протягом доби.

Маючи дані о параметрах інвертору можна розрахувати струм, що споживається від АКБ за формулою:

$$I_{consum} = \frac{P_{current\ inverter}}{U_{battery}}, \quad (3.6)$$

де $P_{current\ inverter}$ – значення потужності навантаження інвертору в даний момент часу;

$U_{battery}$ – напруга АКБ.

Тому час роботи, протягом якого зможе працювати інвертор визначається за формулою:

$$T_{роботи} = \frac{C}{I_{consum}}, \quad (3.7)$$

де C – ємність для якої обчислюється значення часу роботи.

Внесені в код формули приведені на рисунку 3.9.

```

import { alpha, t0 } from '@constants/ physics';

2 usages  ▲ Daniel
export const getTCelsius = (tKelvin: number) => tKelvin - t0;

2 usages  ▲ Daniel
export const getPTerm = (pNom: number, tCelsius: number) =>
  pNom * (1 - alpha * (tCelsius - 20));

2 usages  ▲ Daniel
export const getPEf = (pTerm: number, cCloud: number) =>
  pTerm * (1 - cCloud / 100);

2 usages  ▲ Daniel
export const getIChange = (pEf: number, vOut: number) => pEf / vOut;

2 usages  ▲ Daniel
export const getCForecast = (iChangeArr: number[], deltaTArr: number[]) =>
  iChangeArr.reduce(
    (sum: number, item: number, currentIndex: number) => sum + item * deltaTArr[currentIndex],
    0,
  );

2 usages  ▲ Daniel
export const getIConsumer = (pCurrentInverter: number, uBattery: number) =>
  pCurrentInverter / uBattery;

2 usages  ▲ Daniel
export const getTWork = (c: number, iConsumer: number) => c / iConsumer;

```

Рисунок 3.9 – Формули для розрахунку прогнозованих значень ємності електроенергії та часу роботи

Результат виконання запиту приведено на рисунку 3.6.

3.3 Програмна реалізація взаємодії із платою керування

Після зникнення мережевої електроенергії спрацьовує функція `startServerHandler`, яку відображено на рисунку 3.10.

```

void startServerHandler() {
  digitalWrite(RELE_PORT, HIGH);
  Serial.print("Працює startServerHandler");
  sendMessage("server/res/first-on", "Електрика зникла, сервер було запущено");
}

```

Рисунок 3.10 – Функціонал для повідомлення про зникнення електроенергії

При цьому автоматично вмикається електроенергія. Далі виводиться в монітор порту повідомлення про те що функція `startServerHandler` працює. Після цього до брокера відправляється повідомлення про зникнення електроенергії.

Нижче, на рисунку 3.11 приведено фрагмент коду для включення аварійної електроенергії.

```

void onHandler(char* chatID) {
    digitalWrite(RELE_PORT, HIGH);
    sendMessage("server/res/on", chatID);
}

```

Рисунок 3.11 – Функція включення електроенергії

На вході даний метод отримує ідентифікатор чату, до якого буде надходити повідомлення. Спочатку подається струм на порт, призначений для перемикання стану реле, яке керує інвертором. Після цього до чату надсилається повідомлення, що є сигналом включення електроенергії.

За схожим принципом працює процедура для відключення (рисунок 3.12).

```

void offHandler(char* chatID) {
    digitalWrite(RELE_PORT, LOW);
    sendMessage("server/res/off", chatID);
}

```

Рисунок 3.12 – Функція включення електроенергії

Для постійної моніторингу, що електроенергія мережі ще не була вмикнута використовується функція testServerHandler, яка показана на рисунку 3.13.

```

void testServerHandler() {
    unsigned long currentMillis = millis();

    if (currentMillis - testIntervalPreviousMillis >= testInterval) {
        testIntervalPreviousMillis = currentMillis;

        if(testReqID == 100000) testReqID = 1;

        String testReqIDStr = String(testReqID);
        sendMessage("server/res/test", testReqIDStr.c_str());

        testReqID++;
    }
}

```

Рисунок 3.13 – Процедура для повідомлення про те, що система знаходиться в робочому стані

В даному блоці коду організовано затримку з якою відправляється повідомлення про те, що система знаходиться в робочому стані.

3.4 Реалізація процесу фізичного забезпечення електроенергією

Емітацію відключення електроенергії приведено на рисунку 3.14.

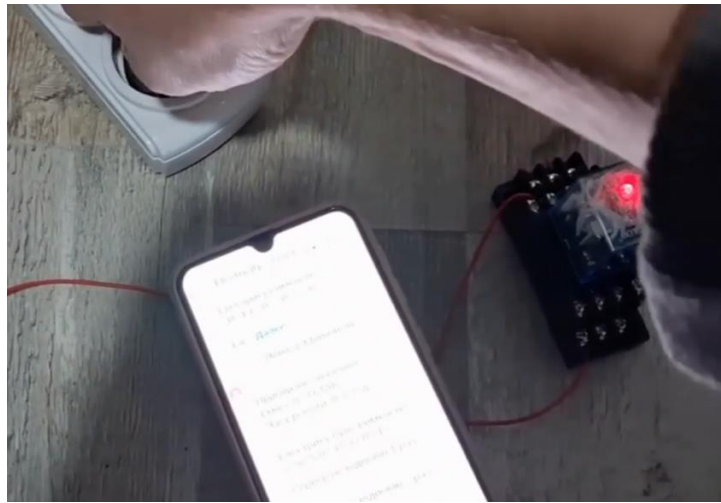


Рисунок 3.14 – Емітація відключення електроенергії

Після цього відбувається перемикання реле напруги, включення інвертору та, для випробування, як видно з рисунку 3.15 – вмикання освітлення, що працює від інвертору.

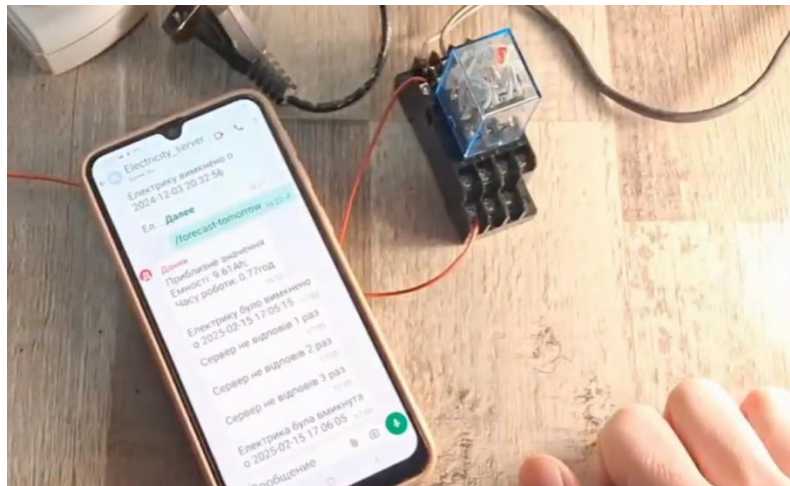


Рисунок 3.15 – Включення аварійного електроживлення

Після цього надходить повідомлення про вимкнення електроенергії (рисунок 3.16).

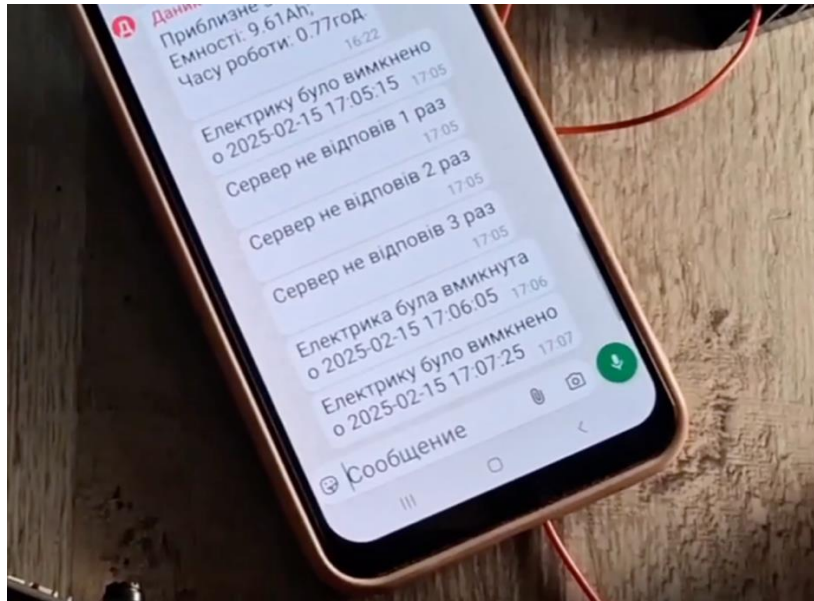


Рисунок 3.16 – Повідомлення про вимкнення мережевої електроенергії

Вимкнення електроенергії через повідомлення приведено на рисунку 3.17.

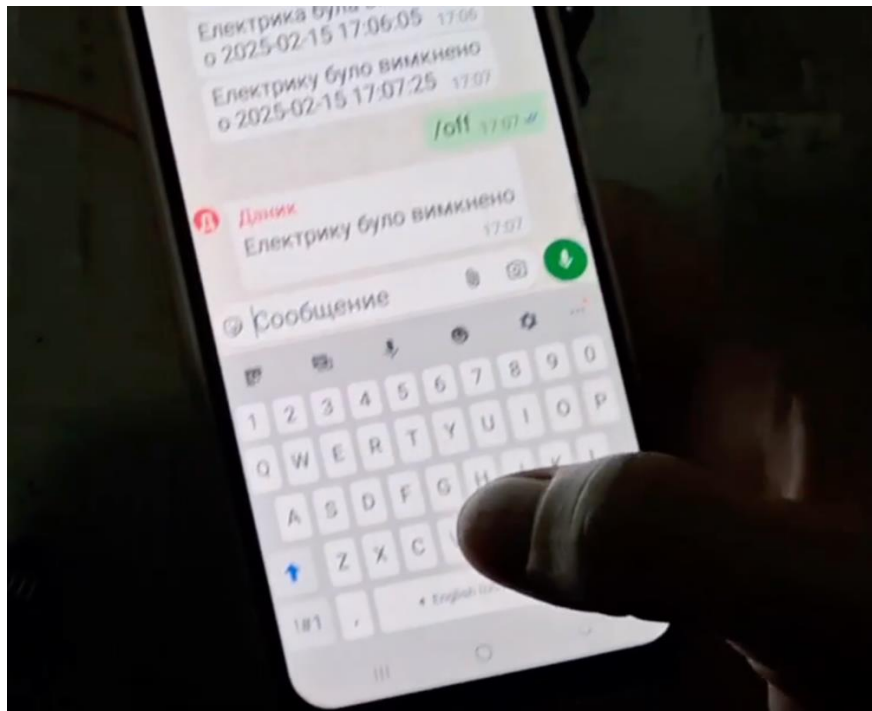


Рисунок 3.17 – Результат вимкнення електроенергії

Роботу за графіком приведено на рисунку 3.18.

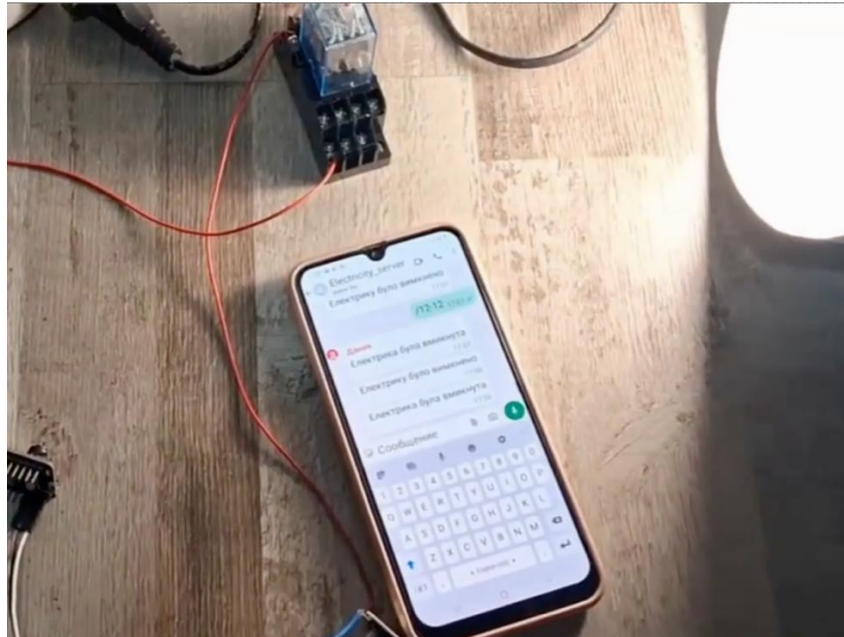


Рисунок 3.18 – Встановлення графіку /12-12

3.5 Використання методів аналізу і прогнозування процесів системи

Дані для аналізу історії споживання електроенергії методами статистичного аналізу та регресії приведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Дані для розрахунку методами статистичного аналізу та регресії

День	Температура (°C)	Споживання (кВт·год)
1	15	1200
2	18	1350
3	20	1500
4	22	1600
5	25	1750
6	28	1900
7	30	2100

Середнє споживання $\bar{y} = (1200 + 1350 + 1500 + 1600 + 1750 + 1900 + 2100) / 7 = 1628,6$ кВт·год.

Дисперсія та стандартне відхилення показують, що розкид даних помірний.

Кореляція між температурою та споживанням $r \approx 0,98$, тобто чим вище значення температури, тим більша кількість енергії витрачається для охолодження.

Перед виконанням розрахунків оцінок параметрів регресії було виконано попередні розрахункові з початковими даними операції, що приведені на рисунку 3.19.

Y_i	X_i	$X_i - \bar{x}$	$Y_i - \bar{y}$	$(X_i - \bar{x})^2$	$(Y_i - \bar{y})^2$	$X_i * Y_i$	X_i^2
1200	15	-7,57142857	-428,571429	57,32653061	183673,4694	18000	225
1350	18	-4,57142857	-278,571429	20,89795918	77602,04082	24300	324
1500	20	-2,57142857	-128,571429	6,612244898	16530,61224	30000	400
1600	22	-0,57142857	-28,5714286	0,326530612	816,3265306	35200	484
1750	25	2,428571429	121,428571	5,897959184	14744,89796	43750	625
1900	28	5,428571429	271,428571	29,46938776	73673,46939	53200	784
2100	30	7,428571429	471,428571	55,18367347	222244,898	63000	900
1628,571429	22,571429						
11400	158	0,00	0,00	175,7142857	589285,7143	267450	3742

Рисунок 3.19 – Розрахунки з початковими даними

Розрахунок оцінок параметрів регресії за відповідними формулами приведено на рисунку 3.20.

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left[\sum_{i=1}^n x_i \right]^2};$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - a \sum_{i=1}^n x_i}{n}.$$

a =	57,682927	
b =	326,58537	

Рисунок 3.20 – Розрахунок параметрів регресії

За рівнянням прямої було визначено Y_p (рисунок 3.21).

Y_p
1191,829268
1364,878049
1480,243902
1595,609756
1768,658537
1941,707317
2057,073171

Рисунок 3.21 – Значення Y_p

Для розрахунку коефіцієнт кореляції було проведено допоміжні розрахунки (рисунок 3.22).

$(Y_i - Y)(X_i - X)$
3244,897959
1273,469388
330,6122449
16,32653061
294,8979592
1473,469388
3502,040816
1273,469388
11409,18367

Рисунок 3.22 – Розраховане значення коефіцієнту кореляції

Коефіцієнт кореляції, що характеризує ступінь щільності лінійної залежності між випадковими величинами, приведено на рисунку 3.23.

$r(x,y)=$	1,12121288	
-----------	------------	--

$$r(x, y) = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sigma[x] \cdot \sigma[y]} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Рисунок 3.23 – Розраховане значення коефіцієнту кореляції

Коефіцієнт детермінації має прямий розрахунковий зв'язок із коефіцієнтом кореляції і показаний на рисунку 3.24.

$R^2(x,y)=$	1,25711833	
-------------	------------	--

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n k_i^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = r^2(x, y)$$

Рисунок 3.24 – Розраховане значення коефіцієнту детермінації

Окрім цього отримано значення t та F статистик і їхні табличні значення (рисунок 3.25).

$t_{розр} =$	4,9443196	$T_{table} =$	2,1603687
$F_{розр} =$	-9,7785206	F_{table}	3,8852938
$t = \frac{r(x, y)}{\sigma_r} = \frac{r(x, y)\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2(x, y)}}$			

Рисунок 3.25 – Розраховані та табличні значення статистик

Використавши формулу 2.15 отримано значення коефіцієнту еластичності, що приведено на рисунку 3.26.

Kel
0,72103659
0,76910569
0,76910569
0,79314024
0,82404181
0,85006418
0,82404181

Рисунок 3.26 – Значення коефіцієнту еластичності

Крім цього було побудовано графіки залежностей фактичних значень та лінії регресії (рисунок 3.27).

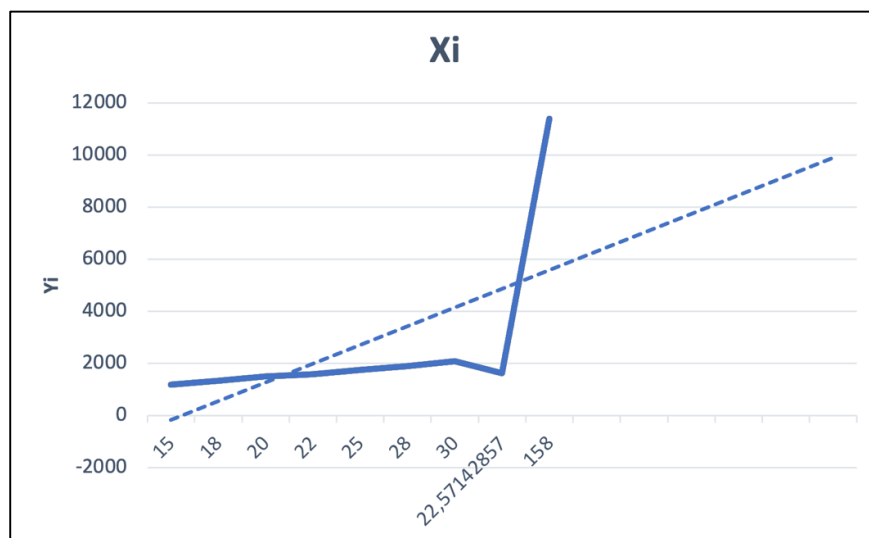


Рисунок 3.27 – Графіки залежностей фактичних значень та лінії регресії

Проведені розрахунки за методом найменших квадратів виявило сильну лінійну залежність між досліджуваними змінними, що підтверджується високим коефіцієнтом кореляції ($r \approx 1,12$) та значним коефіцієнтом детермінації ($R^2 \approx 1,257$). Розрахунки показали, що всі варіації залежної змінної можуть бути пояснені змінами незалежної змінної.

В таблиці 3.2 приведено початкові дані щоденного споживання електроенергії.

Таблиця 3.2 – Початкові дані щоденного споживання

День	Споживання Y (кВт·год)
1	100
2	110
3	130
4	125
5	140
6	150
7	160
8	155
9	170
10	165

Далі приведено розрахунки методом ковзних середніх.

День 4: $Y^*_4 = (100 + 110 + 130) / 3 = 340 / 3 = 113,3333$.

Помилка: $|125 - 113,3333| = 11,6667$.

День 5: $Y^*_5 = (110 + 130 + 125) / 3 = 365 / 3 = 121,6667$.

Помилка: $|140 - 121,6667| = 18,3333$.

День 6: $Y^*_6 = (130 + 125 + 140) / 3 = 395 / 3 = 131,6667$.

Помилка: $|150 - 131,6667| = 18,3333$.

День 7: $Y^*_7 = (125 + 140 + 150) / 3 = 415 / 3 = 138,3333$.

Помилка: $|160 - 138,3333| = 21,6667$.

День 8: $Y^*_8 = (140 + 150 + 160) / 3 = 450 / 3 = 150,0000$.

Помилка: $|155 - 150| = 5$.

День 9: $Y^*_9 = (150 + 160 + 155) / 3 = 465 / 3 = 155$.

Помилка: $|170 - 155| = 15$.

День 10: $Y^*_{10} = (160 + 155 + 170) / 3 = 485 / 3 = 161,6667$.

Помилка: $|165 - 161,6667| = 3,3333$.

Оцінка якості для днів з 4 по 10: $MAE_{SMA3} = (11,6667 + 18,3333 + 18,3333 + 21,6667 + 5 + 15 + 3,3333) / 7 = 13,3333$.

Прогноз на 11 день: $Y_{11}^{SMA3} = (Y_8 + Y_9 + Y_{10}) / 3 = (155 + 170 + 165) / 3 = 490 / 3 \approx 163,3333$ кВт·год.

Далі приведено розрахунки методом простого експоненціального згладжування. Нехай S_t – згладжене значення на момент t . Ітерація: $S_1 = Y_1$; $S_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)S_{t-1}$, $0 < \alpha \leq S_{t-1}$. Тоді прогноз на наступний період: $Y_{t+1} = S_t$.

Нехай $\alpha = 0,3$, тобто помірна вага для нових спостережень.

$$S_1 = Y_1 = 100.$$

Прогноз на день 2: $Y_2 = S_1 = 100$ (реальне $Y_2 = 110$).

$$S_2 = 0,3 \cdot 110 + 0,7 \cdot 100 = 33 + 70 = 103.$$

Прогноз на день 3: $Y_3 = 103$ (реальне 130).

$$S_3 = 0,3 \cdot 130 + 0,7 \cdot 103 = 39 + 72,1 = 111,1.$$

Прогноз на день 4: $Y_4 = 111,1$.

$$S_4 = 0,3 \cdot 125 + 0,7 \cdot 111,1 = 37,5 + 77,77 = 115,27.$$

Прогноз на день 5: $Y_5 = 115,27$.

$$S_5 = 0,3 \cdot 140 + 0,7 \cdot 115,27 = 42 + 80,689 = 122,689.$$

Прогноз на день 6: $Y_6 = 122,689$.

$$S_6 = 0,3 \cdot 150 + 0,7 \cdot 122,689 = 45 + 85,8823 = 130,8823$$

Прогноз на день 7: $Y_7 = 130,8823$.

$$S_7 = 0,3 \cdot 160 + 0,7 \cdot 130,8823 = 48 + 91,61761 = 139,61761.$$

Прогноз на день 8: $Y_8 = 139,61761$.

$$S_8 = 0,3 \cdot 155 + 0,7 \cdot 139,61761 = 46,5 + 97,732327 = 144,232327.$$

Прогноз на день 9: $Y_9 = 144,232327$.

$$S_9 = 0,3 \cdot 170 + 0,7 \cdot 144,232327 = 51 + 100,962629 = 151,962629.$$

Прогноз на день 10: $Y_{10} = 151,962629$.

$S_{10} = 0,3 \cdot 165 + 0,7 \cdot 151,962629 = 49,5 + 106,3738403 = 155,8738403$ (це вже згладжене значення після дня 10).

В таблиці 3.3 приведені прогнози (SES) для днів 2..10.

Таблиця 3.3 – Прогнози (SES) для днів 2..10

День	Прогноз SES \hat{Y}	Реальне (Y)	Абс. похибка
2	100,0000	110	10,0000
3	103,0000	130	27,0000
4	111,1000	125	13,9000
5	115,2700	140	24,7300
6	122,6890	150	27,3110
7	130,8823	160	29,1177
8	139,6176	155	15,3824
9	144,2323	170	25,7677
10	151,9626	165	13,0374

Далі виконується оцінка якості, на інтервалі днів 2..10:

– MAE_{SES} = середнє абсолютних помилок $\approx 20,69$;

– $RMSE_{SES} \approx 23$ (приблизно).

Прогноз на день 11 (враховуючи S_{10}): $\hat{Y}_{11}^{SES} = S_{10} \approx 155,8738$ кВт·год.

В таблиці 3.4 наведені початкові дані для серії спостережень отриманої електроенергії Y в залежності від температури X.

Таблиця 3.4 – Початкові дані отриманої електроенергії

№ спостереження	X, °C	Y, кВт
1	5	0,9
2	10	1,4
3	15	2
4	20	2,7
5	25	3,3
6	30	3,8

Вибіркові середні: $\bar{X} = 17,5$; $\bar{Y} = 2,35$.

Сумарні квадрати: $S_{XX} = \sum(X_i - \bar{X})^2 = 437,5$; $S_{XY} = \sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) = 52,25$.

Оцінка коефіцієнтів: $\beta^{\wedge}_1 = S_{XX} / S_{XY} \approx 0,1194286$; $\beta^{\wedge}_0 = \bar{Y} - \beta^{\wedge}_1 \bar{X} \approx 0,26$.

Тож модель має вигляд: $Y = 0,2600 + 0,11943 \cdot X$.

Передбачені Y^{\wedge}_i :

– при $X = 5$, $Y^{\wedge} = 0,85714$;

– при $X = 10$, $Y^{\wedge} = 1,45429$;

– при $X = 15$, $Y^{\wedge} = 2,05143$;

– при $X = 20$, $Y^{\wedge} = 2,64857$;

– при $X = 25$, $Y^{\wedge} = 3,24571$;

– при $X = 30$, $Y^{\wedge} = 3,84286$.

Залишки $e_i = Y_i - Y^{\wedge}_i$: 0,04286; -0,05429; -0,05143; 0,05143; 0,05429; -0,04286.

$SSE = \sum e_i^2 \approx 0,01485714$.

$SSR \approx 6,24014286$.

$SST \approx 6,255$.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = SST / SSR \approx 0,9976$; тобто модель пояснює 99,76% варіації.

Оцінка дисперсії похибки: $\sigma^{\wedge 2} = SSE / (n - 2) \approx 0,00371429$.

Стандартні похибки коефіцієнтів: $SE(\beta^{\wedge}_1) \approx 0,0029137$; $SE(\beta^{\wedge}_0) \approx 0,0567367$.

t-статистики: $t_{\beta^{\wedge}_1} \approx 40,99$ (дуже значущий); $t_{\beta^{\wedge}_0} \approx 4,58$.

Для $df = n - 2 = 4$ та рівня довіри 95% критичне $t_{0,9754} \approx 2,7764$.

95% довірчі інтервали:

– для β_1 : (0,11134; 0,12752);

– для β_0 : (0,10247; 0,41753).

Нехай $X_0 = 22^\circ\text{C}$, тоді $Y^{\wedge}_0 = 0,26 + 0,1194286 \cdot 22 \approx 2,88743$ кВт·год.

95% довірчий інтервал для середнього при X_0 : (2,80934; 2,96551) кВт·год.

95 % прогнознй інтервал для окремого майбутнього спостереження:
(2,70107; 3,07379) кВт·год.

Нахил $\beta_1 \approx 0,1194$ означає, що при підвищенні температури на 1 °C очікуване зростання виробленої енергії $\approx 0,1194$ кВт·год у цій моделі. Дуже високий R^2 означає сильну лінійну залежність.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Охорона праці при розробленні автоматизованої системи віддаленого керування аварійним електропостачанням на виробничому підприємстві

Охорона праці являє собою комплекс заходів, які спрямовані на попередження випадків, що є загрозою для безпеки і здоров'я людей під час виконання ними роботи. Охорона праці при розробленні автоматизованої системи віддаленого керування аварійним електропостачанням на виробничому підприємстві є комплексом заходів, які включають питання медицини, організації, техніки та інші заходи, які використовуються для запобігання нещасних, травматичних випадків, небезпечних впливів, вибухів, захисту від шкідливих речовин, завдання шкоди від удару струму, уникнення помилок, що мають небезпечні наслідки для здоров'я людини та безпеки підприємства.

Розроблення систем віддаленого управління, які основані на автоматизації, є важливим етапом у багатьох виробничих підприємствах. Проте, разом із перевагами з'являється потреба у забезпеченні безпеки та охорони праці працівників, які працюють користуючись даною системою.

Суттєвим та необхідним етапом охорони праці є навчання працівників дотримуватись правил безпеки, надавання споряджень індивідуального захисту і спеціального обладнання.

Тож по-перше, для забезпечення безпечного процесу розробки системи необхідно виявити можливі небезпеки, виникнення яких є вірогідним під час розробки системи. При розробленні даної системи такими небезпеками можуть бути:

- небезпека впливу на зір розробника під час створення або підтримки додатків серверу чату та серверу плати esp32-sam: за умови невиконання правил безпеки роботи за комп'ютером, зір розробника може бути пошкодженим;

- ризик удару струму: якщо електричні складові системи поєднані некоректно або система зазнала впливу від рідини чи при інших недопустимих діях, користувач може отримати як удар низького струму, який тече між платами, так і удар мережевим струмом, що може викликати навіть смертельні наслідки;

- небезпека травм: компоненти системи можуть бути розташовані в небезпечних місцях;

- втрата інформації при її передаванні, помилки програмного забезпечення та недоступність MQTT брокера: помилки в роботі програмного забезпечення, обриви зв'язку з брокером та інші подібні проблеми можуть призвести до несподіваних наслідків в роботі системи.

Наступним етапом після того, як було визначено потенційні загрози є вживання відповідних заходів безпеки запобігання цих загроз і зменшення кількості ризиків. Певні такі заходи можуть складатись з:

- використання захисних окуляр для захисту очей під час розробки ПЗ;
- обрання надійного MQTT брокера для зменшення вирогідності браку його роботи і як наслідку – втрати інформації;

- приховування всіх зв'язків системи, де проходить високий струм за допомогою захисних кожухів, для запобігання небезпеки вдару струму;

- запровадження періодичного інструктажу, а також навчання працівників із правил безпечної розробки та роботи з автоматизованою системою, її компонентами, використовуваними платами та комп'ютерами. Працівники повинні бути інформовані щодо потенційних небезпек і методами роботи з системою. Можливим також є запровадження ліквідації при виниканні небезпек у вкрай необхідних випадках.

ВИСНОВКИ

Метою магістерської роботи є покращення керування аварійним електропостачанням на виробничих підприємствах і підвищення рівня безпеки та автоматизації роботи виробничих приміщень на виробничих підприємствах з точки зору забезпечення електроенергією. При виконанні магістерської роботи, що полягає у аналізі і дослідженні аспектів даної сфери, було встановлено і виконано ряд наступних завдань:

- аналіз стану, на теперешній момент, автоматизованих систем для віддаленого керування аварійним електропостачанням на виробничих підприємствах;

- обрано інструменти та технології і виконано розробку макету системи, а саме макет системи безперебійного живлення із можливістю віддаленого керування;

- було реалізовано макет системи та її складових частин.

Протягом виконання роботи було здійснено аналіз сучасного стану систем отримання електроенергії та систем безперебійного живлення. В межах аналізу було приведено основні інструменти отримання електроенергії природним чи перетворювальним шляхом.

Виконано аналіз існуючих технологій для реалізації таких систем віддаленого зв'язку; було виконано аналіз архітектури і принципів роботи протоколу MQTT.

Розроблено програмний додаток серверної частини для керування процесами віддаленого керування системою.

Для безпосереднього керування вмиканням та вимиканням електроенергії було використано модуль esp32-sam із відповідним програмним кодом.

Було розроблено алгоритм прогнозування отримуваної електроенергії з урахуванням погодних умов.

За результатами наопрацювання було опубліковано статтю в науковому

збірнику ADED [22] (додаток А).

Також отримані результати роботи можна віднести до Цілі сталого розвитку 7 “Доступна та чиста енергія”, а саме п. 7.1 “Розширити інфраструктуру та модернізувати мережі для забезпечення надійного та сталого енергопостачання на основі впровадження інноваційних технологій”.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008: 2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. К.: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 30 с.
2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи магістра для студентів усіх форм навчання спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, С.П. Новоселов, О.В Сичова. Харків: ХНУРЕ, 2025. – 55 с.
3. Невлюдов І. Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / І. Ш. Невлюдов та інш. Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2017 р. – 444 с.
4. В. І. Мілих, Т. П. Павленко. Електропостачання промислових підприємств: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / В. І. Мілих та інш. Харків: Національний технічний університет ХПІ, 2016 р. – 272 с.
5. Сонячна станція для економії на підприємстві [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові та графічні дані. – Режим доступу : <https://onlysolar.in.ua/uk/katalog/solnechnaya-stanciya-dlya-ekonomii-na-predpriyatii/>. – 02.10.2024.
6. ПБЖ [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові та графічні дані. – Режим доступу : https://avante.com.ua/ua/catalog/ibp_off-line_fort_fcx30-24__24v_2_kvт_pikovaja_3_kvт-04560/. – 10.10.2024.
7. Luxpower [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові та графічні дані. – Режим доступу : <https://energoseti.com.ua/uk/product/avtonomnyj-invertor-luxpower-sna5000-wide-pv/>. – 01.11.2024.
8. Автоматична система аварійного електропостачання [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові та графічні дані. – Режим доступу :

<https://energoseti.com.ua/uk/nashi-posluhy/avarijne-rezervne-elektropostachannia/>. – 20.11.2024.

9. Дистанційне керування електроживленням [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові та графічні дані. – Режим доступу : <https://www.blog.expert24.com.ua/scho-take-rozumnyy-dim/>. – 19.12.2024.

10. Миттєвий обмін повідомленнями [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові та графічні дані. – Режим доступу : <https://www.microsoft.com/uk-ua/microsoft-teams/instant-messaging>. – 08.03.2025.

11. Протокол MQTT [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу : <https://pupenasan.github.io/TI40/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86/MQTT.html>. – 30.03.2025.

12. Характеристики та застосування протоколу MQTT [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові та графічні дані. – Режим доступу : <https://ebyteiot.com/blogs/ebyte-iot-blog/characteristics-and-applications-of-mqtt-protocol> – 05.05.2025.

13. Модуль камери ESP32-CAM [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові та графічні дані. – Режим доступу : https://1duim.com.ua/p2224538685-modul-kamery-esp32.html?source=merchant_center&gad_source=1&gclid=CjwKCAiAtYy9BhBcEiwANWQQL76IYvgw882TuW7uqEm4l1kXS-FzJtLVuixUumrPsPkofxqwlPucVhoCXTQQA_vD_BwE. – 11.05.2025.

14. FT232RL [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові та графічні дані. – Режим доступу : https://nl.aliexpress.com/item/1005006150103471.html?spm=a2g0o.productlist.main.8.3385A73zA73z3C&aem_p4p_detail=202512081217551084583679591060003810998&algo_pvid=6b0d4234-1f69-4f5e-9590-579de29dd9a0&algo_exp_id=6b0d4234-1f69-4f5e-9590-579de29dd9a0-7&pdp_ext_f=%7B%22order%22%3A%2287%22%2C%22eval%22%3A%221%22%2C%22fromPage%22%3A%22search%22%7D&pdp_npi=6%40dis%21EUR%210

.91%210.91%21%21%217.34%217.34%21%40211b80c217652250753753048e811c%2112000035988893082%21sea%21NL%210%21ABX%211%210%21n_tag%3A-29910%3Bd%3A617bb481%3Bm03_new_user%3A-29895&curPageLogUid=GyhX8DsDg25g&utparam-url=scene%3Asearch%7Cquery_from%3A%7Cx_object_id%3A1005006150103471%7C_p_origin_prod%3A&search_p4p_id=202512081217551084583679591060003810998_2. – 13.05.2025.

15. USB QC3.0 [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові та графічні дані. – Режим доступу : <https://beegreen.com.ua/ponizhuuyuchij-modul-shvidka-zaryadka-qc2-0-qc3-0-usb-17941>. – 13.05.2025.

16. Мініатюрне електромагнітне реле загального призначення [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові та графічні дані. – Режим доступу : https://www.aliexpress.com/item/1005002225939213.html?spm=a2g0o.detail.pcDetailTopMoreOtherSeller.6.46a38Yyg8YygxZ&gps-id=pcDetailTopMoreOtherSeller&scm=1007.40000.327270.0&scm_id=1007.40000.327270.0&scm-url=1007.40000.327270.0&pvid=6606cf3f-d211-4be2-a8d6-b9181913cff8&_t=gps-id:pcDetailTopMoreOtherSeller,scm-url:1007.40000.327270.0,pvid:6606cf3f-d211-4be2-a8d6-b9181913cff8,tpb_buckets:668%232846%238115%232000&pdp_npi=4%40dis%21UAH%21138.54%2141.81%21%21%2123.12%216.98%21%40211b617a17289262676458136ea629%2112000019427069088%21rec%21UA%21%21ABXZ&utparam-url=scene%3ApcDetailTopMoreOtherSeller%7Cquery_from%3A#nav-description. – 15.05.2025.

17. Модуль каналного реле з високим та низьким рівнем тригера, плата модуля реле ізоляції з подвійною оптопарою [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові та графічні дані. – Режим доступу : https://www.aliexpress.com/item/1005005319972049.html?srcSns=sns_More&spreadType=socialShare&bizType=ProductDetail&social_params=60824064790&aff_fcid=d4ee7a370a2c4703b5e77ecaf08ec3be-1728926246900-01709-_EHZoOUH&tt=MG&aff_fsk=_EHZoOUH&aff_platform=default&sk=_EHZoOUH

&aff_trace_key=d4ee7a370a2c4703b5e77ecaf08ec3be-1728926246900-01709-
_EHZoOUH&shareId=60824064790&businessType=ProductDetail&platform=AE&t
erminal_id=bb268d3100d042bd8b16b9e4a7d4010a&afSmartRedirect=y#nav-
description. – 15.05.2025.

18. Перетворювач AC/DC 1500W 12V SSK UKC автомобільний [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові та графічні дані. – Режим доступу : https://globus-shop.co.ua/product/14818/preobrazovatel-ac-dc-1500w-12v-ssk-ukc/?utm_source=Google+Shopping&utm_medium=cpc&utm_campaign=fullfeed&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=19611286512&utm_term=&utm_content=&utm_position=&utm_matchtype=&utm_placement=&utm_network=x&gad_source=1&gclid=CjwKCAiAtYy9BhBcEiwANWQQL2Xn3yiHezZdgvzxVzMjyWI_IH0Q9IcIO-DpT8a9RmO-xmwrQ4c9txoCbJkQAvD_BwE. – 18.05.2025.

19. Сонячна батарея Risen RSM40-8-395 [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові та графічні дані. – Режим доступу : <https://www.olx.ua/d/uk/obyavlenie/solnechnaya-batareya-panel-risen-rsm40-8-395m-395-vt-black-IDVUCqW.html?isPreviewActive=1&sliderIndex=0>. – 21.05.2025.

20. RowMr [Електронний ресурс]. – Електрон. графічні дані. – Режим доступу : https://ae-pic-a1.aliexpress-media.com/kf/Hfee39148540840c9bb45d6290c2e58deo.jpg_960x960q75.jpg_.avif. – 21.05.2025.

21. Акумулятори для автомобілей [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові та графічні дані. – Режим доступу : <https://akb.10ki.ua/p3655594-akkumulyatory-dlya-avtomobilej-vladis-6st-80ah-780a>. – 23.05.2025.

22. Збірник наукових статей : збірник / І. Ш. Невлюдов, О. І. Филипенко, О. І. Цимбал, А. О. Андрусевич ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Kharkiv : OKTAN PRINT, 2025. – 468 с. <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/e942ee5a-62ee-401c-8a77-3465a73043e8/content>.