

Міністерство освіти і науки України

Відокремлений структурний підрозділ «Тернопільський фаховий коледж
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Відділення телекомунікацій та електронних систем

(назва відділення)

Циклова комісія комп'ютерної інженерії

(повна назва циклової комісії)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА до кваліфікаційної роботи

бакалавра

(освітній ступінь)

на тему: **Розробка системи контролю електроспоживання**

Виконав: студент VI курсу, групи KI6-602

Спеціальності **123 Комп'ютерна інженерія**
(шифр і назва, спеціальності)

Олександр Залізницький

(ім'я та прізвище)

Керівник Андрій Недошитко

(ім'я та прізвище)

Рецензент

(ім'я та прізвище)

**ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ
«ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ
ТЕРНОПІЛЬСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
імені ІВАНА ПУЛЮЯ»**

Відділення телекомунікацій та електронних систем
Циклова комісія комп'ютерної інженерії
Освітній ступінь бакалавр
Освітньо-професійна програма: Комп'ютерна інженерія
Спеціальність: 123 Комп'ютерна інженерія
Галузь знань: 12 Інформаційні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова циклової комісії
комп'ютерної інженерії

Андрій ЮЗЬКІВ

“08” травня 2025 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Залізницький Олександр Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Розробка системи контролю електроспоживання

керівник роботи Недошитко Андрій Григорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

затверджені наказом Відокремленого структурного підрозділу «Тернопільський фаховий коледж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя» від 07.05.2025 р №4/9-224.

2. Строк подання студентом роботи: 25.06.2025

3. Вихідні дані до роботи: структурна схема системи, електрична принципова схема, алгоритм роботи системи, економічно-технічні показники, вигляд основної Web-сторінки, вигляд Web-сторінки “Історія” вихідний код мікроконтролера.

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

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Обґрунтування актуальності теми кваліфікаційної роботи

1.2 Аналітичний огляд існуючих рішень

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ТА РОБОЧОГО ПРОЕКТУ

- 2.1. Аналіз технічного завдання КРБ
- 2.2. Опис і обґрунтування вибору елементної бази
- 2.3 Розробка електричної принципової схеми
- 2.4 Розробка алгоритму роботи системи
- 2.5 Написання текстів програми
- 2.6 Розробка Web-сервера
- 3 Спеціальний розділ
- 3.1. Розробка інструкції з монтажу та первинного налаштування електронного пристрою
- 3.2 Розробка методики перевірки, функціонування (контролю, випробування) електронного пристрою

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИ

- 4.1. Визначення стадій технологічного процесу та загальної тривалості проведення НДР
- 4.2 Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальні заходи
- 4.3 Розрахунок матеріальних витрат
- 4.4 Розрахунок витрат на електроенергію
- 4.5 Визначення транспортних затрат
- 4.6 Розрахунок суми амортизаційних відрахувань
- 4.7 Обчислення накладних витрат
- 4.8 Складання кошторису витрат та визначення собівартості НДР
- 4.9 Розрахунок ціни НДР
- 4.10 Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень

РОЗДІЛ 5. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

- 5.1 Розрахунок системи штучного освітлення для приміщення, де здійснюються роботи зі створення системи контролю електроспоживання
- 5.2 Комплекс організаційних заходів щодо забезпечення безпеки робіт з електричним обладнанням.

ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

ДОДАТКИ

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

- Схема алгоритм роботи системи (А3)
- схема електрична принципова (А3)
- блок схема електрична структурна (А3)
- таблиця техніко-економічних показників (А3)
- вигляду основної Web-сторінки (А3)
- вигляду Web-сторінки "Історія" (А3)

Додаткові вказівки:

Виконання проекту (з виготовленням макета, стенда, приладу і т.д.)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічний розділ	Оксана РЕДЬКВА заст. директора з НВР		
Охорона праці, техніка безпеки та екологічні вимоги	Володимир ШТОКАЛО викладач		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання і аналіз технічного завдання	08.05	
2	Збір і узагальнення інформації	20.05	
3	Написання першого розділу	24.05	
4	Розробка технічного та робочого проекту	28.05	
5	Написання спеціального розділу	3.06	
6	Розрахунок економічної частини	5.06	
7	Написання розділу охорони праці	7.06	
8	Виконання графічної частини	10.06	
9	Оформлення проекту	14.06	
10	Погодження нормоконтролю	17.06	
11	Попередній захист роботи	20.06	
12	Захист кваліфікаційної роботи	24.06	

7. Дата видачі завдання: 08 травня 2025 року

Студент

(підпис)

Олександр Залізницький

(ім'я та прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

Андрій Недошитко

(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Розробка системи контролю електроспоживання».

У даній кваліфікаційній роботі розроблено мікропроцесорну систему контролю електроспоживання, яка забезпечує в режимі реального часу зчитування основних параметрів електромережі: напруги, струму, потужності, частоти, коефіцієнта потужності та загального обсягу спожитої енергії. Система побудована на основі мікроконтролера ESP32 та вимірювального модуля PZEM-004T v3.0 з підтримкою передачі даних на веб-сервер, що дає змогу користувачу переглядати показники через інтуїтивно зрозумілий вебінтерфейс. Додатково реалізовано функцію дистанційного керування реле через серверну частину з використанням бази даних MySQL.

Пояснювальна записка містить п'ять розділів:

У першому розділі обґрунтовано актуальність обраної теми, розглянуто сучасні комерційні рішення в галузі енергообліку, а також визначено мету, завдання.

У другому розділі проведено аналіз технічного завдання, обґрунтовано вибір компонентів (ESP32, PZEM-004T v3.0, модуль реле HL-52S), розроблено структурну, функціональну та алгоритмічну схеми, а також описано програмну реалізацію на платформі Arduino IDE та створення серверної частини з використанням PHP, MySQL та JavaScript.

У третьому розділі наведено алгоритм перевірки та налагодження роботи пристрою, розробку методики тестування та технічного обслуговування електронної системи.

У четвертому розділі наведено економічне обґрунтування ефективності розробки, включаючи розрахунок загальної вартості системи, аналіз витрат та оцінку терміну окупності.

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У п'ятому розділі розглянуто заходи з охорони праці, електробезпеки та здійснено розрахунок системи штучного освітлення для приміщення, де здійснюються роботи зі створення системи контролю електроспоживання

Загальний обсяг пояснювальної записки становить сторінок. До складу кваліфікаційної роботи входить графічна частина, яка включає: електричну структурну схему, алгоритм роботи системи, електричну принципову схему, економічно-технічні показники, плакат вигляду основної Web-сторінки, плакат вигляду Web-сторінки "Історія".

Усі графічні матеріали виконано на аркушах формату А3.

Ключові слова: контроль електроспоживання, ESP32, PZEM-004T, Wi-Fi, вебінтерфейс, PHP, база даних, енергомоніторинг.

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ANNOTATION

Qualification thesis topic: “Development of an Energy Consumption Monitoring System”.

In this qualification thesis, a microprocessor-based energy consumption monitoring system was developed, which enables real-time reading of the main electrical network parameters: voltage, current, power, frequency, power factor, and total energy consumed. The system is built on the ESP32 microcontroller and the PZEM-004T v3.0 measurement module, with support for data transmission to a web server, allowing the user to view readings via an intuitive web interface. Additionally, a remote relay control function is implemented through the server part using a MySQL database.

The explanatory note contains five sections:

The first section justifies the relevance of the chosen topic, considers modern commercial solutions in the field of energy accounting, and defines the goal and objectives.

The second section presents the analysis of the technical assignment, justification for the choice of components (ESP32, PZEM-004T v3.0, HL-52S relay module), development of structural, functional, and algorithmic diagrams, and describes the software implementation on the Arduino IDE platform and creation of the server part using PHP, MySQL, and JavaScript.

The third section presents the algorithm for checking and debugging the device's operation, the development of testing methodology, and technical maintenance of the electronic system.

The fourth section provides an economic justification for the efficiency of the development, including the calculation of the total system cost, expense analysis, and payback period assessment.

The fifth section considers occupational safety measures, electrical safety, and includes the calculation of the artificial lighting system for the room where the energy consumption control system is being developed.

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

The total volume of the explanatory note is pages.

The qualification thesis includes a graphical part, which contains: the electrical structural diagram, system operation algorithm, electrical schematic diagram, economic and technical indicators, poster of the main web page layout, and a poster of the “History” web page layout.

All graphical materials are presented on A3 format sheets.

Keywords: energy consumption control, ESP32, PZEM-004T, Wi-Fi, web interface, PHP, database, energy monitoring.

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	
1.1 Обґрунтування актуальності теми кваліфікаційної роботи.....	
1.2 Аналітичний огляд існуючих рішень.....	
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ТА РОБОЧОГО ПРОЕКТУ	
2.1. Аналіз технічного завдання КРБ.....	
2.2. Опис і обґрунтування вибору елементної бази.....	
2.3. Розробка електричної принципової схеми.....	
2.4. Розробка алгоритму роботи системи.....	
2.5. Написання текстів програми.....	
2.6 Розробка Web-сервера.....	
РОЗДІЛ 3. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	
3.1 Розробка інструкції з монтажу та первинного налаштування електронного пристрою	
3.2.Розробка методики перевірки, функціонування (контролю, випробування) електронного пристрою.....	
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	
4.1 Визначення стадій технологічного процесу та загальної тривалості проведення НДР.....	
4.2 Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальні заходи.....	
4.3 Розрахунок матеріальних витрат.....	
4.4 Розрахунок витрат на електроенергію	
4.5 Визначення транспортних затрат.....	

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Залізняцький О.В.			Розробка системи контролю електроспоживання Пояснювальна записка	Лім.	Арк.	Акрушів	
Перевір.		Недошитко А. Г.							
Реценз.						ВСП "ТФК ТНТУ імені І.П." КІБ-602			
Н. Контр.		Приймак В. А.							
Затверд.									

4.6 Розрахунок суми амортизаційних відрахувань.....	
4.7 Обчислення накладних витрат.....	
4.8 Складання кошторису витрат та визначення собівартості НДР.....	
4.9 Розрахунок ціни НДР.....	
4.10 Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень.....	

РОЗДІЛ 5. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

5.1 Розрахунок системи штучного освітлення для приміщення, де здійснюються роботи зі створення «системи контролю електроспоживання»...

5.2 Комплекс організаційних заходів щодо забезпечення безпеки робіт з електричним обладнанням

ВИСНОВКИ.....

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

ДОДАТОК А. Код модуля ESP32

ДОДАТОК Б. Post-код серверної сторони

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасному світі ефективне управління та раціональне використання електроенергії є надзвичайно важливим завданням. З розвитком технологій у побуті, бізнесі та промисловості зростає кількість електроприладів, які споживають значну кількість енергії: від кухонної техніки до кліматичних систем і виробничого обладнання. Попри впровадження стандартів енергоефективності, кінцеві споживачі рідко замислюються про облік витрат або оптимізацію режимів роботи пристроїв. Лише під час оплати рахунків за електроенергію виникає потреба аналізувати, де і коли можна було б зекономити.

У зв'язку з постійним зростанням цін на електроенергію та необхідністю дбайливого ставлення до ресурсів, виникає потреба у впровадженні сучасних систем обліку та керування споживанням. Такі системи дозволяють в режимі реального часу моніторити показники електромережі, визначати рівень споживання окремими приладами та здійснювати дистанційне керування навантаженнями. Це відкриває нові можливості для покращення енергоефективності, зниження витрат і підвищення безпеки.

Метою створення такої системи є автоматизований контроль параметрів електричної мережі, зокрема напруги, струму, потужності, енергії, частоти та коефіцієнта потужності, а також реалізація можливості віддаленого керування навантаженням через інтернет. Користувач, маючи доступ до веб-інтерфейсу, зможе в будь-який момент дізнатись, який пристрій, коли та скільки електроенергії спожив, а також за потреби дистанційно вимкнути або увімкнути живлення.

У реалізації проекту використовується мікроконтролер ESP32, що має високу обчислювальну потужність, підтримку Wi-Fi, Bluetooth і широку сумісність із різноманітними модулями. Зчитування параметрів електромережі здійснюється за допомогою багатофункціонального вимірювача PZEM-004T v3, а керування навантаженням — через релейний модуль. Серверна частина

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обробляє отримані дані, зберігає їх у базі даних, відображає у вигляді таблиць і графіків, а також дозволяє керувати пристроями за допомогою вебінтерфейсу.

Система розробляється з урахуванням перспективи масштабування — можливості обслуговування кількох користувачів, підключення великої кількості пристроїв і централізованого збору статистики. Гнучкість архітектури дозволяє легко розширювати функціонал, модернізувати апаратну складову або вдосконалювати програмне забезпечення без потреби повної заміни системи, що робить її довготривалим і економічно доцільним рішенням.

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Обґрунтування актуальності теми кваліфікаційної роботи

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка системи контролю електроспоживання.

У зв'язку зі зростанням кількості побутових, комерційних і промислових електроприладів, підвищенням тарифів на електроенергію та необхідністю раціонального використання енергоресурсів, питання контролю електроспоживання набуває особливої актуальності. Надмірне або неконтрольоване споживання електроенергії призводить до фінансових втрат, перевантаження мережі, а також підвищує ризики аварійних ситуацій.

Попри зусилля виробників щодо покращення енергоефективності обладнання, у більшості користувачів відсутні інструменти для детального моніторингу реального споживання. Це унеможливорює прийняття обґрунтованих рішень щодо оптимізації роботи електроприладів. Відсутність доступної та наочної аналітики щодо споживання енергії створює бар'єри для підвищення енергоефективності як у побутовому, так і в комерційному секторах.

Розробка системи контролю електроспоживання дозволяє вирішити вказані проблеми. Вона забезпечує автоматизоване зчитування параметрів електромережі — напруги, струму, потужності, спожитої енергії — та передавання даних на сервер у режимі реального часу. Отримана інформація виводиться в зручному вебінтерфейсі, що дає змогу користувачеві оперативно оцінити рівень споживання та, при необхідності, внести корективи у режим роботи пристроїв.

Додатковим функціоналом системи є можливість дистанційного керування електронавантаженням за допомогою релейних модулів, що дає змогу не лише контролювати, а й активно впливати на електроспоживання. Наприклад, зафіксувавши надмірне навантаження, користувач може віддалено вимкнути непотрібний пристрій, уникнувши перевитрат або пошкодження мережі.

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливістю реалізованої системи є використання сучасної мікроконтролерної платформи ESP32, багатофункціонального вимірювального модуля PZEM-004T v3, а також зовнішнього серверного середовища з базою даних і вебінтерфейсом. Така архітектура забезпечує масштабованість, гнучкість, надійність і зручність обслуговування.

Таким чином, розробка системи контролю електроспоживання є важливим етапом на шляху до впровадження енергоефективних рішень у побутовому, офісному та промисловому середовищі. Її застосування дозволить знизити витрати на електроенергію, покращити облік і аналітику, а також підвищити загальний рівень енергетичної грамотності користувачів.

1.2 Аналітичний огляд існуючих рішень

Серед сучасних пристроїв контролю електроспоживання, що доступні на ринку, можна виділити такі рішення:

1. Лічильник вихідної потужності Ахасам VA079EUBL. [1]

Цифровий прилад Ахасам VA079EUBL є сучасним багатофункціональним вимірювальним пристроєм, що поєднує функції ватметра, енергометра, вольтметра та амперметра з можливістю розрахунку вартості електроенергії. Оснащений LCD-дисплеєм із підсвічуванням, пристрій забезпечує чітке відображення всіх необхідних показників навіть у недостатньо освітлених приміщеннях.

Модель обладнана тридюймовим рідкокристалічним дисплеєм, на якому в режимі реального часу відображаються такі параметри, як напруга, струм, частота, активна потужність, коефіцієнт потужності, споживання електроенергії (у кВт·год), загальний час роботи та вартість спожитої енергії.

Завдяки підтримці багатотарифного обліку користувач має змогу не лише відстежувати технічні показники роботи електроприладів, а й оцінювати їхню економічну ефективність. Це дає змогу краще контролювати енергоспоживання, виявляти енерговитратні пристрої та оптимізувати витрати на електроенергію.

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рисунку 1.1 зображено зовнішній вигляд лічильника вихідної потужності Ахасам VA079EUBL.



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд лічильника вихідної потужності Ахасам VA079EUBL

Виробник виділяє наступні особливості:

- Вимірювання потужності
- Вимірювання частоти
- Вимірювання струму
- Багатотарифний розрахунок
- Вимірювання напруги
- Розрахунок плати за електроенергію
- Тридюймовий LCD-дисплей з підсвічуванням чітко відображає всі види даних

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Вбудована батарейка для збереження установок при вимкненні світла.

У таблиці 1.1 наведено технічні характеристики лічильника вихідної потужності Ахасам VA079EUBL.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики лічильника вихідної потужності Ахасам VA079EUBL.

Найменування	Значення
Тип роз'єму	Європейський
Робоча напруга живлення	230 В АС
Діапазон робочої напруги	200–250 В
Робоча частота	50 Гц
Діапазон вимірювання частоти	0–9999 Гц
Максимальний робочий струм	до 16 А
Діапазон вимірювання струму	0,000–16,000 А
Діапазон вимірювання напруги	0–9999 В
Діапазон вимірювання активної потужності	0–9999 Вт
Внутрішнє споживання пристрою	до 0,5 Вт
Діапазон відображення тривалості роботи	від 0 секунд до 9999 днів
Діапазон обліку спожитої електроенергії	0,000–9999,000 кВт·год

Вартість даного лічильника вихідної потужності становить 749 грн.

2. Лічильник електроенергії Shelly Pro EM-50 [2]

Shelly Pro EM-50 — це двоканальний однофазний лічильник електроенергії, що встановлюється на DIN-рейку. Завдяки оновленням другого покоління пристроїв (gen2), він отримав розширену функціональність прошивки та можливість гнучкого підключення до локальних мереж. Це надає професійним

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інсталяторам ширші можливості для реалізації рішень автоматизації для кінцевих користувачів.

Пристрій може працювати автономно в межах локальної мережі (LAN або Wi-Fi), а також підключатися до хмарних сервісів систем автоматизації через протоколи MQTT, HTTP та WebSocket. Усі входні з'єднання підтримують захищений обмін даними за допомогою TLS.

Shelly Pro EM-50 здійснює вимірювання миттєвих значень напруги, струму, активної та уявної потужності для кожної фази в реальному часі. Крім того, він зберігає накопичені дані про енергоспоживання у вбудованій енергонезалежній пам'яті з інтервалом 1 хвилина до 60 днів.

Вбудований модуль реального часу (RTC) забезпечує точне визначення часу навіть у випадках втрати з'єднання з сервером SNTP.

Користувач може віддалено отримати доступ до пристрою, здійснити його налаштування та керування через мережу. Пристрій також підтримує повну взаємодію із системами автоматизації, що працюють у тій самій інфраструктурі.

Shelly Pro EM-50 має інтегрований вебінтерфейс для локального моніторингу та конфігурації, а також оснащений вбудованим реле, що дозволяє управляти контактором або іншими навантаженнями.

Основні особливості пристрою:

- Підтримка 4-квadrантного вимірювання (активна та реактивна енергія в напрямках споживання та генерації).
- Монтаж на DIN-рейку (стандарт 35 мм) для зручної установки в електрощиток.
- Сумісність із зовнішніми трансформаторами струму.
- Керування зовнішнім контактором через вбудоване реле з сухим контактом (без потенціалу).
- Оптична індикація імпульсів споживаної енергії (LED-індикатор).
- Вбудований годинник реального часу (RTC) для точного обліку подій.
- Ведення журналів даних (історія вимірювань, станів і подій).

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Клас точності В згідно з міжнародним стандартом ІЕС 62053-21.
- Готовність до використання з фотоелектричними системами (сонячними електростанціями).

На рисунку 1.2 зображено зовнішній вигляд лічильника електроенергії Shelly Pro EM-50.



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд лічильника електроенергії Shelly Pro EM-50

У таблиці 1.2 наведено технічні характеристики лічильника електроенергії Shelly Pro EM-50.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики лічильника електроенергії Shelly Pro EM-50

Категорія	Параметр	Значення
1	2	3
Фізичні характеристики	Габаритні розміри (В×Ш×Г)	94×19×69 мм ±0,5 мм / 3,70×0,75×2,71 дюйма ±0,02"
	Вага	63 г ±1 г / 2,22 унції ±0,05

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 1.2

1	2	3
Фізичні характеристики	Монтаж	На DIN-рейку (стандартна 35 мм)
	Максимальний крутний момент клем	0,4 Н·м / 4,43 lbf·in
	Переріз провідників	0,5–2,5 мм ² / 20–14 AWG (суцільні, багатожильні, з наконечником)
	Рекомендована довжина зачищеної частини провідника	6–7 мм / 0,24–0,28 дюйма
	Матеріал корпусу	Пластик
Екологічні умови	Робоча температура	Від -20°C до +40°C / від -5°F до +105°F
	Вологість навколишнього середовища	30% – 70% RH
	Максимальна висота експлуатації	2000 м / 6562 фути
Електроживлення	Живлення змінного струму (AC)	100–260 В, 50/60 Гц
	Живлення постійного струму (DC)	Не підтримується
	Власне споживання потужності	< 3 Вт
Вихідні схеми (реле)	Максимальна напруга перемикання (AC)	240 В
	Максимальна напруга перемикання (DC)	Не підтримується

Продовження таблиці 1.2

1	2	3
Вимірювання та сенсори	Датчик внутрішньої температури	Є
	Діапазон вольтметра (RMS)	100–260 В
	Точність вольтметра	±1%
	Діапазон амперметра (RMS через трансформатори струму)	0–50 А
	Точність амперметра	±1% (5–50 А), ±2% (0–5 А)
	Параметри, що вимірюються	Напруга, струм, активна та уявна потужність, коефіцієнт потужності, активна та уявна енергія
	Локальне зберігання даних	Мінімум 60 днів, роздільна здатність – 1 хв
	Формати експорту	CSV (PQ-дані), JSON (через RPC)
Бездротовий зв'язок	Діапазон частот RF	2400–2495 МГц
	Максимальна потужність радіосигналу	< 20 дБм
	Підтримка Wi-Fi	IEEE 802.11 b/g/n
	Дальність дії Wi-Fi	До 30 м у приміщенні / до 50 м на відкритому повітрі (залежить від умов)

Продовження таблиці 1.2

1	2	3
Бездротовий зв'язок	Підтримка Bluetooth	Версія 4.2
	Дальність дії Bluetooth	До 10 м у приміщенні / до 30 м на відкритому повітрі
Мікроконтролер (MCU)	Процесор	ESP32-D0WDQ6
	Обсяг Flash-пам'яті	16 МБ
Підтримка програмування	Webhooks (URL-дії)	До 20 тригерів, до 5 URL на кожен
	Вбудовані скрипти	Підтримуються
	MQTT	Так
	CoAP	Ні

Shelly Pro EM-50 є сучасним двоканальним енергометром з високою точністю вимірювання та широкими функціональними можливостями, що робить його ефективним рішенням для систем контролю електроспоживання. Підтримка протоколів MQTT, HTTP, WebSocket, наявність вбудованого вебінтерфейсу, автономне збереження даних, а також керування зовнішнім контактором через реле з сухим контактом забезпечують гнучку інтеграцію в системи домашньої та промислової автоматизації. Його локальна робота без залежності від хмарних сервісів також є суттєвою перевагою для проєктів з підвищеними вимогами до безпеки та конфіденційності.

Однак, попри свої переваги, пристрій має і певні недоліки. Відсутність підтримки протоколу CoAP обмежує його сумісність з деякими платформами IoT. Максимальний струм перемикання реле (2 А) може бути недостатнім для безпосереднього керування потужними навантаженнями — у таких випадках необхідне додаткове релейне обладнання. Також вартість пристрою є вищою порівняно з простішими рішеннями, що може бути критичним фактором для невеликих побутових систем.

Вартість даного лічильник електроенергії становить 4228 грн.

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ТА РОБОЧОГО ПРОЕКТУ

2.1 Аналіз технічного завдання КРБ

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка системи контролю електроспоживання.

Система призначена для автоматичного зчитування та обробки параметрів, що стосуються електроспоживання, зокрема напруги, сили струму, активної потужності, частоти, коефіцієнта потужності та сумарно спожитої енергії. Крім моніторингу, система також реалізує механізм керування навантаженням — за допомогою релейного модуля користувач може в режимі реального часу вмикати або вимикати електроживлення до певних пристроїв чи зон споживання.

У складі системи використовуються такі основні компоненти:

- Мікроконтролер ESP32 — виконує роль центрального вузла керування, зчитує дані з вимірювального модуля, обробляє їх і передає на сервер;
- Багатофункціональний енергомонітор PZEM-004T v3 — вимірює ключові електричні параметри у мережі змінного струму;
- Двоканальне електромагнітне реле — забезпечує дистанційне керування електроживленням на основі даних або команд користувача;
- Вебсервер із базою даних — приймає, зберігає та обробляє отриману інформацію, забезпечуючи її довготривале зберігання та доступ до історії споживання;
- Вебінтерфейс — дозволяє користувачу переглядати інформацію у вигляді таблиць і графіків, а також керувати станом реле в інтерактивному режимі.

Під час роботи система здійснює безперервне зчитування даних з PZEM-004T v3. Отримані значення передаються через ESP32 на вебсервер, де фіксуються в базі даних. Користувач має змогу у будь-який момент переглянути

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

актуальні або історія змін даних через вебінтерфейс з будь-якого пристрою, підключеного до Інтернету. Інтерфейс також передбачає можливість дистанційного керування електроживленням за допомогою натискання відповідної кнопки, що змінює стан реле.

На рисунку 2.1 зображеного структурну схему пристрою.

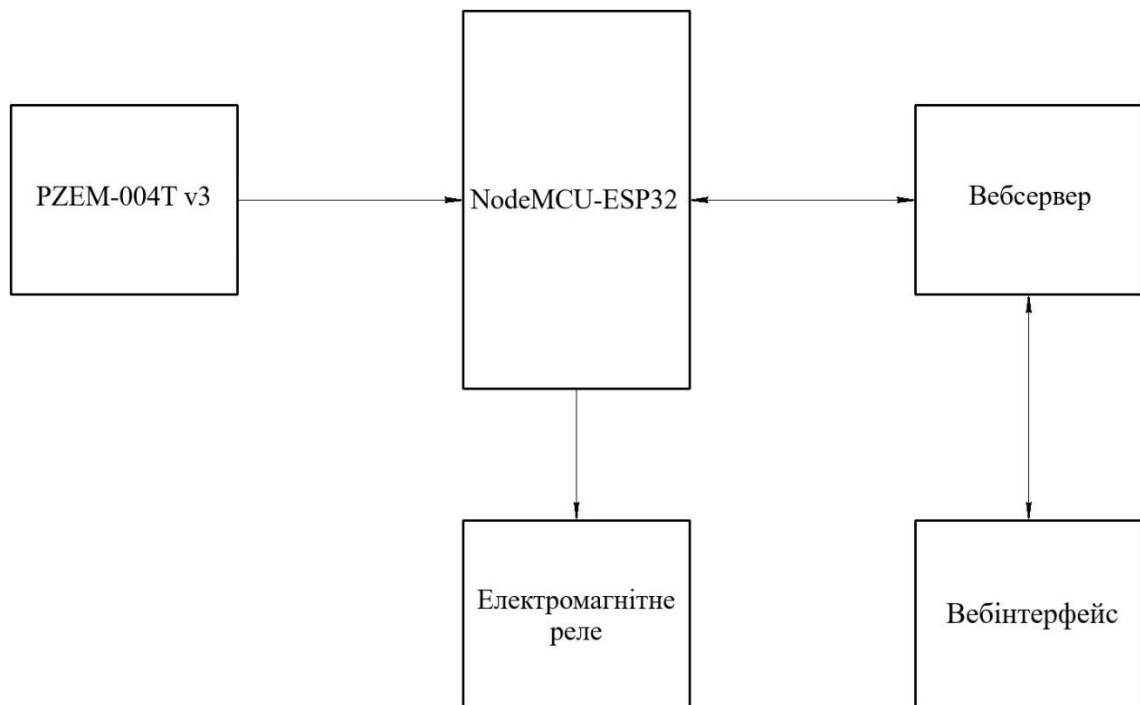


Рисунок 2.1 - Структурна схему пристрою

Структурна схема є загальною функціональною моделлю пристрою, що дозволяє наочно відобразити логіку його роботи. Її основною перевагою є здатність швидко сформувавши уявлення про склад системи, взаємозв'язки між основними компонентами та їхні функції без необхідності деталізації принципової або електричної схеми.

2.2 Опис і обґрунтування вибору елементної бази

Система створена на основі плати NodeMCU ESP32. [3]
NodeMCU ESP32 DevKit V1 — це відлагоджувальна плата, побудована на базі

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

модуля ESP-WROOM-32, який інтегрує в собі двоядерний 32-бітний мікроконтролер ESP32-D0WDQ6 з архітектурою Xtensa LX6. Плата призначена для розробки вбудованих застосунків, систем автоматизації, бездротових IoT-рішень та моніторингових систем. До складу плати входить 4 МБ Flash-пам'яті, до 520 КБ SRAM, USB-інтерфейс для живлення та програмування, виводи GPIO, інтерфейси UART, SPI, I2C, аналогові входи та цифрові виходи, а також модулі Wi-Fi і Bluetooth, що дозволяє реалізовувати як локальні, так і віддалені сценарії керування.

Плата містить понад 30 виводів, з яких близько 25 доступні для конфігурації як цифрові входи/виходи. Частина з них підтримує аналогове зчитування (ADC), ШІМ (PWM), інтерфейси зв'язку та інші функції. Живлення плати може здійснюватися через microUSB або через виводи VIN (5 В) та GND. Робоча напруга логіки становить 3.3 В, тому при підключенні модулів із 5-вольтовою логікою необхідно використовувати перетворювач рівнів. Для живлення самої плати через зовнішнє джерело рекомендується подавати 5 В через VIN або використовувати стабілізований блок живлення, розрахований на 3.3 В.

На відміну від Arduino Uno, плата NodeMCU ESP32 має вбудований Wi-Fi модуль 802.11 b/g/n з підтримкою режимів точки доступу (AP), станції (STA) або одночасної роботи в обох режимах (AP+STA). Крім того, підтримується Bluetooth 4.2, включаючи як класичний Bluetooth, так і BLE (Bluetooth Low Energy). Це дає змогу будувати багатоканальні комунікаційні системи, які можуть функціонувати як у локальній мережі, так і через глобальні інтернет-з'єднання. Завдяки цьому ESP32 є особливо привабливою платформою для реалізації розумного будинку, моніторингу енергоспоживання, віддаленого керування пристроями тощо.

ESP32 має декілька інтерфейсів UART (до 3), SPI (до 4), I2C (до 2), I2S, CAN та інші, що дозволяє легко підключати дисплеї, зовнішні сенсори, пам'ять, аудіопристрої тощо. Серійний інтерфейс UART, як правило, призначений для обміну даними між ESP32 і комп'ютером через USB з використанням конвертера CH340 або CP2102 (залежно від версії плати).

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рисунку 2.2 зображено зовнішній вигляд та призначення виводів на NodeMCU ESP32.

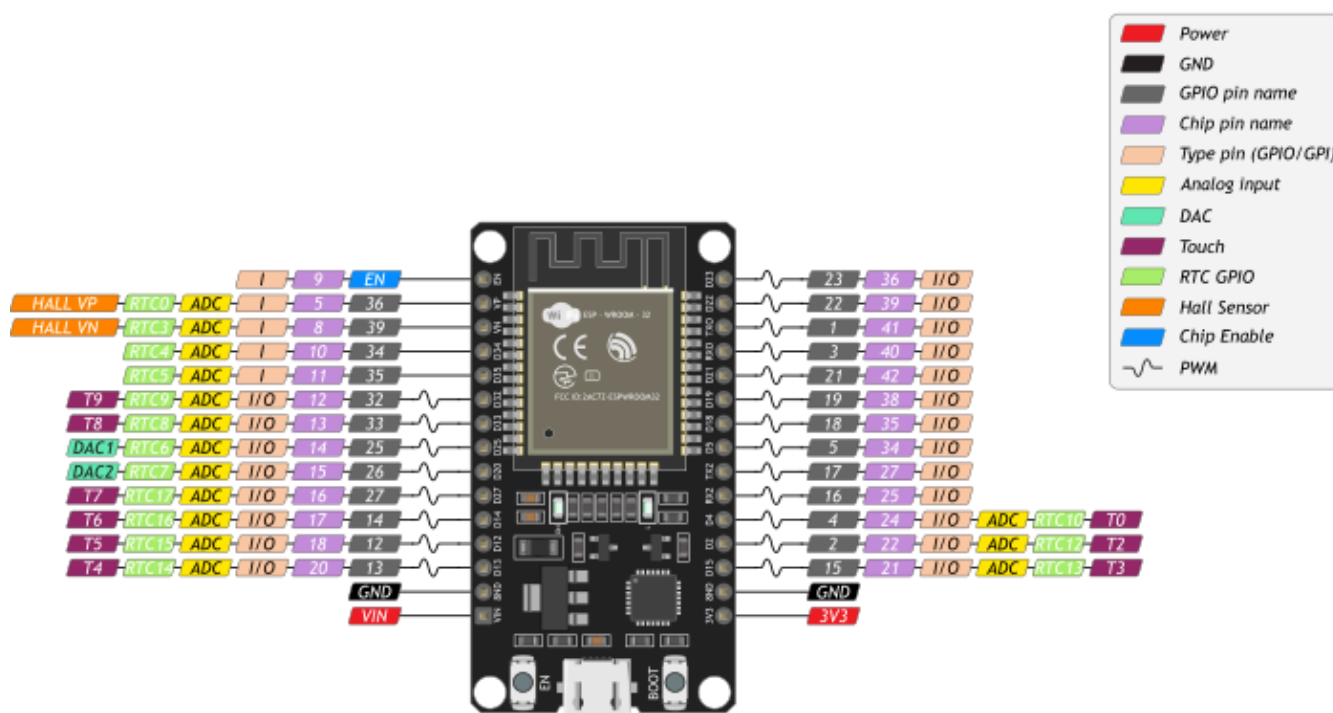


Рисунок 2.2 - Зовнішній вигляд та призначення виводів на NodeMCU ESP32

У конструкції плати передбачено два ядра, які можуть працювати незалежно або в режимі симетричної багатоядерної обробки, що дозволяє одночасно виконувати задачі зчитування даних, обробки та передачі в мережу. Тактова частота досягає 240 МГц, що забезпечує високий рівень продуктивності для вбудованих систем. Окрім того, в ESP32 реалізовано режими енергозбереження: light sleep, deep sleep, hibernation, що особливо актуально для проєктів з живленням від батарей.

Для налаштування роботи GPIO доступні стандартні функції `pinMode()`, `digitalWrite()` та `digitalRead()`, а також `analogRead()` та `analogWrite()` для АЦП та ШІМ відповідно. ESP32 підтримує 12-бітове АЦП на більшості аналогових входів та два 8-бітових ЦАП, що дозволяє не лише зчитувати, але й генерувати аналогові сигнали. Деякі GPIO можуть також використовуватись як джерела

апаратних переривань, таймерів або інших спеціалізованих функцій, що налаштовуються програмно.

На рисунку 2.3 зображено умовне графічне позначення NodeMCU ESP32.

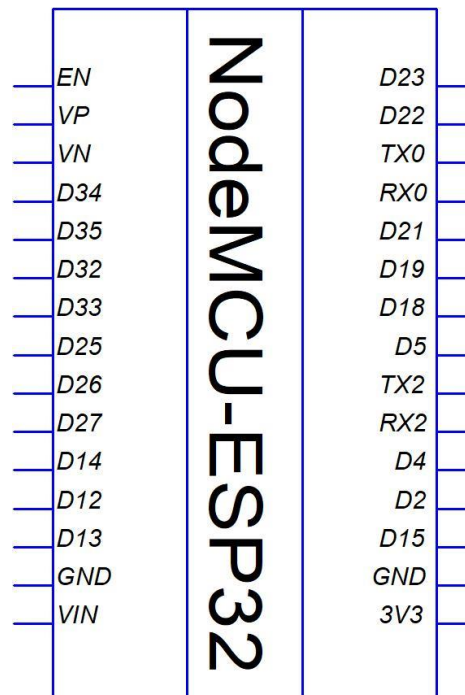


Рисунок 2.3 – Умовне графічне позначення NodeMCU ESP32

ESP32 підтримується в середовищі Arduino IDE, PlatformIO, а також у нативному SDK ESP-IDF, що дозволяє розробляти як прості прототипи, так і високопродуктивні комерційні рішення. Завдяки відкритому середовищу розробки, широкій документації, численним бібліотекам і прикладам, ця плата ідеально підходить як для початківців, так і для досвідчених розробників.

Узагальнюючи можна виділити наступні переваги:

- Висока продуктивність і двоядерна архітектура;
- Підтримка Wi-Fi та Bluetooth у одному чипі;
- Низьке енергоспоживання (режими light sleep, deep sleep);
- Широкий вибір пінів для вводу/виводу;
- Сумісність із Arduino;
- Відкрита екосистема з великою кількістю бібліотек і прикладів.

Але окрім переваг під час розробки системи було виявлено наступні недоліки та обмеження:

- GPIO працюють з логікою 3.3 В (несумісні напряму з 5 В без адаптера рівнів);
- Обмежений струм на пін (~12 мА max);
- Деякі GPIO зарезервовані для внутрішньої пам'яті;
- Відсутність офіційного роз'єму для батареї;
- Іноді нестабільна робота з USB-UART залежно від конвертера (CP2102, CH340 тощо).

Конвертер логічних рівнів

Конвертер логічних рівнів — це електронний пристрій або мікросхемна схема, яка використовується для узгодження напруг між різними цифровими пристроями, що працюють на різних логічних рівнях. Така необхідність виникає, коли один пристрій, наприклад мікроконтролер ESP32, працює з напругою логіки 3.3 В, а інший, наприклад зовнішній датчик або модуль, використовує 5 В.

На рисунку 2.4 зображено зовнішній вигляд конвертера логічних рівнів

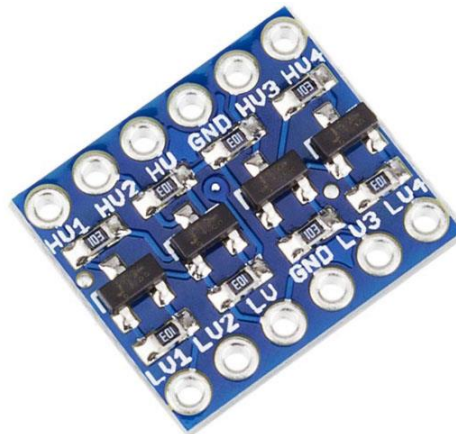


Рисунок 2.4 – Конвертер логічних рівнів

У даному проєкті конвертер логічних рівнів виконує важливу функцію — забезпечує безпечну передачу даних між мікроконтролером ESP32 та модулем вимірювання електроспоживання PZEM-004T v3.0. Ці два пристрої працюють на

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

різних логічних рівнях напруги: ESP32 використовує логіку 3.3 В, тоді як UART-інтерфейс PZEM-004T працює на рівні 5 В. Безпосереднє з'єднання між ними без додаткового узгодження напруг може спричинити пошкодження GPIO-портів ESP32, оскільки вони не захищені від вхідних сигналів вище 3.6 В.

Конвертер логічних рівнів виконує перетворення напруги, знижуючи сигнал з 5 В до безпечного рівня 3.3 В для прийому ESP32. У випадку, якщо PZEM-004T потребує чітко визначеної логіки 5 В і не розпізнає 3.3-вольтові сигнали як «логічну 1», конвертер також підвищує рівень сигналу з виходу ESP32 до 5 В. Це гарантує двосторонню стабільну роботу UART-зв'язку.

На рисунку 2.5 зображено умовне графічне позначення конвертера логічних рівнів.

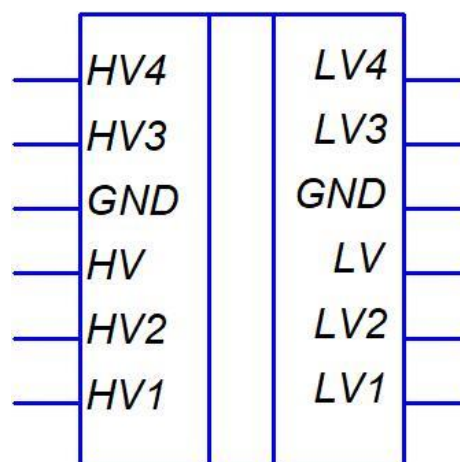


Рисунок 2.5 – Умовне графічне позначення конвертера логічних рівнів.

Багатофункціональний вимірювач споживаної електроенергії PZEM004T V3 [4]

Багатофункціональний модуль вимірювання електроенергії PZEM-004T v3.0 (див. рис. 2.6) є сучасним засобом контролю параметрів змінного струму, призначеним для вбудованого застосування в системах моніторингу електроспоживання. Він дозволяє в реальному часі вимірювати такі електричні величини, як напруга, сила струму, активна потужність, повна енергія, частота та коефіцієнт потужності ($\cos\phi$). Завдяки високій точності, компактним розмірам та

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

простоті підключення, цей модуль широко використовується у проектах на базі мікроконтролерів, зокрема ESP32, Arduino, STM32 та ін.



Рисунок 2.6 - Зовнішній вигляд багатофункціонального вимірювача споживаної електроенергії PZEM-004T V3

Пристрій працює на змінній напрузі від 80 до 260 В (для однофазної мережі 220 В) та підтримує вимірювання сили струму до 100 А, за умови використання комплектного трансформатора струму типу SCT-013-000 або подібного. Підключення до мікроконтролера здійснюється через послідовний UART-інтерфейс (TTL, 3.3–5 В логіка), що робить модуль сумісним з широким спектром вбудованих платформ.

До переваг PZEM-004T v3 можна віднести:

- високу точність вимірювань (до $\pm 1\%$);
- низьке енергоспоживання самого модуля;
- простоту інтеграції з ESP32 або Arduino завдяки відкритим бібліотекам (наприклад, PZEM004Tv30.h);
- відносно низьку вартість, що робить його доступним для побутових та навчальних проектів;
- гальванічну розв'язку між вимірювальною частиною і мікроконтролером завдяки використанню трансформатора струму та оптопар.

У таблиці 2.1 наведено технічні характеристики модуля PZEM-004T V3

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики модуля PZEM-004T V3

Параметр	Значення / Опис
Тип вимірювання	Однофазна змінна напруга (AC)
Діапазон вхідної напруги	80 – 260 В (AC)
Діапазон струму	до 100 А (з трансформатором струму SCT-013)
Тип трансформатора струму	Зовнішній
Робоча частота мережі	50 / 60 Гц
Параметри, що вимірюються	Напруга (V), струм (A), активна потужність (W), енергія (kWh), частота (Hz), коефіцієнт потужності (cosφ)
Точність вимірювання	±1% для напруги та струму
Інтерфейс зв'язку	UART TTL (5 В логіка)
Протокол обміну	Власний (підтримується бібліотека PZEM004Tv30 для Arduino/ESP32)
Швидкість обміну даними	9600 бод
Живлення логічної частини	5 В DC
Гальванічна розв'язка	Так (через трансформатор струму та оптопару)
Розмір модуля (без трансформатора)	35 × 28 × 21 мм
Вихідна інформація	JSON / структуровані байти (залежно від бібліотеки)
Частота опитування	~1–2 секунди (типово)
Підтримка кількох пристроїв на одному UART	Так (через встановлення адрес)
Температурний діапазон експлуатації	-10°C ... +60°C

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З технічної точки зору, PZEM-004T v3 забезпечує інтервал опитування приблизно 1–2 секунди та дозволяє формувати пакети з усіма значеннями за одне зчитування, що полегшує обробку на мікроконтролері та дозволяє використовувати пристрій у системах реального часу.

Для живлення модуль потребує 5 В постійного струму, що може бути подано від лінії живлення ESP32 або окремого стабілізатора. Водночас необхідно враховувати ізоляцію між первинною (високовольтною) та вторинною частинами системи, особливо при побудові комерційних або постійно діючих систем.

Вимірювання сили струму відбувається за допомогою вимірювального трансформатора, зовнішній вигляд якого зображено на рисунку 2.7 він йде у комплекті до багатофункціонального вимірювача споживаної електроенергії PZEM-004T V3.

Подібні датчики струму дуже поширені в техніці. Ці датчики являють собою вимірювальні трансформатори, де провід з вимірюваним струмом виконує роль первинної обмотки. Трансформатори такого типу складаються з замкнутих магнітних сердечників, які мають форму кільця і виготовлені з феромагнітних матеріалів. Деякі моделі мають серединний розріз, через який провід вводиться в отвір кільця. Таким чином, підключення трансформатора є надзвичайно простим: достатньо пропустити через кільце один провідник (фазу або нуль).



Рисунок 2.7 – Вимірювальний трансформатор

При протіканні змінного струму через провід, в котушці виникатиме електромагнітна індукція. Якщо до неї підключити амперметр, то коло буде замкнутим, і прилад покаже струм, який пропорційний вимірюваному.

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт пропорційності залежить від кількості витків у котушці. Наприклад, на датчику, який має межу вимірювання до 100 А, вказано, що при 100 А струм у котушці становить 50 мА. Шляхом ділення $100/0,05$ отримуємо значення 2000, що вказує на кількість витків котушки. Пряме підключення такого датчика до аналогового порту ESP32 неможливе, оскільки аналого-цифровий перетворювач (АЦП) вимірює напругу. Тому для цих цілей використовується модуль PZEM004T, який перетворює отриману інформацію і надає її в зрозумілому для нас форматі.

На рисунку 2.8 зображено принцип встановлення та конструкцію вимірювального трансформатора.

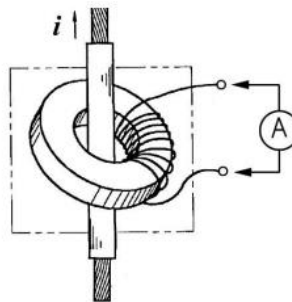


Рисунок 2.8 – Принцип встановлення та конструкція вимірювального трансформатора

Позначення багатofункціонального вимірювача споживаної електроенергії PZEM-004T на схемі зображене на рисунку 2.9.



Рисунок 2.9 - Позначення багатofункціонального вимірювача споживаної електроенергії PZEM-004T на схемі

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Багатофункціональний вимірювач споживаної електроенергії PZEM-004T V3 містить наступні контакти для підключення:

- VCC
- RXD
- TXD
- GND

Для роботи з модулем використовується UART. Тому для підключення використовуються виводи 16 (Rx) та 17 (Tx) на ESP32. Для роботи з модулем буде використовуватись бібліотека «PZEM004Tv30.h».

Оскільки PZEM-004T працює на логіці 5 В, а ESP32 — на 3.3 В, пряме підключення без узгодження рівнів може пошкодити мікроконтролер. Щоб уникнути цього, між ними використовується конвертер логічних рівнів.

На рисунку 2.10 зображено підключення багатофункціонального вимірювача споживаної електроенергії PZEM-004T до ESP32.

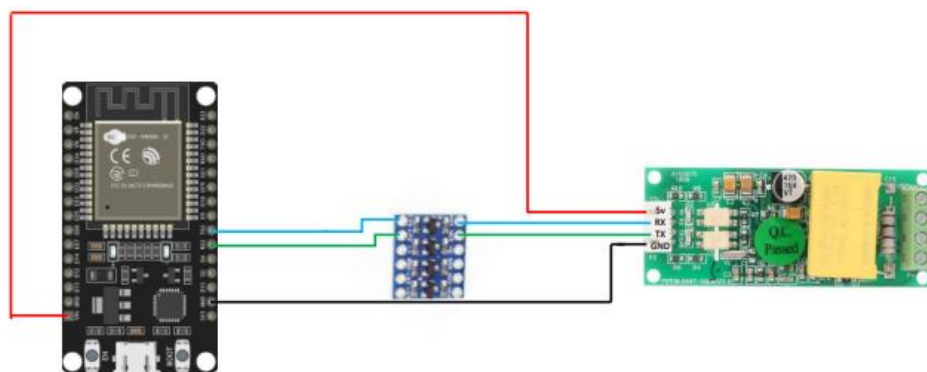


Рисунок 2.10 – Підключення PZEM-004T до ESP32

Модуль реле

Електромагнітне реле є електричним ключем, який керується за допомогою електромагніту. При протіканні електричного струму через котушку реле переключаються один або декілька ізольованих від котушки електричних контактів, комутуючи навантаження реле. Електромагнітне реле можна вважати універсальним комутатором аналогових та імпульсних сигналів.

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У даній системі використовується двоканальний модуль реле HL-52S (див. рис. 2.11), який дозволяє керувати подачею живлення на окремі пристрої або ділянки мережі. Цей модуль побудований на основі низьковольтного керуючого ланцюга з логікою 3.3–5 В, що забезпечує сумісність із мікроконтролером ESP32. У разі подачі логічного сигналу «LOW» на вхід IN1 або IN2 відповідне реле замикає контакти, вмикаючи підключене навантаження.

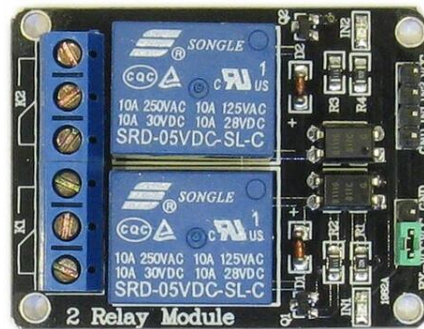


Рисунок 2.11 – Зовнішній вигляд модуля реле HL-52S

Модуль реле містить наступні контакти:

- GND
- IN1
- IN2
- VCC

На рисунку 2.12 зображено умовне графічне позначення модуля реле HL-52S.

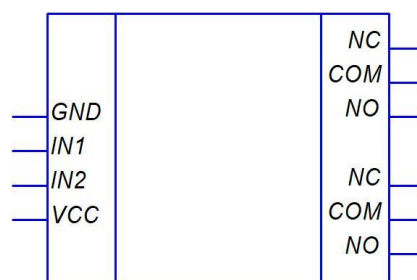


Рисунок 2.12 - Умовне графічне позначення модуля реле HL-52S

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кожне реле здатне комутувати змінну напругу до 250 В АС при струмі до 10 А, або постійну напругу до 30 В DC при аналогічному струмі. Реле має індикатор стану (LED), який сигналізує про активне положення реле. Для зручності підключення виводи керування, живлення та вихідні контакти навантаження винесено на окремі гвинтові колодки та штифтові роз'єми. Це дає змогу швидко інтегрувати модуль у загальну схему без потреби пайки.

На рисунку 2.13 зображено підключення модуля реле HL-52S до ESP32.

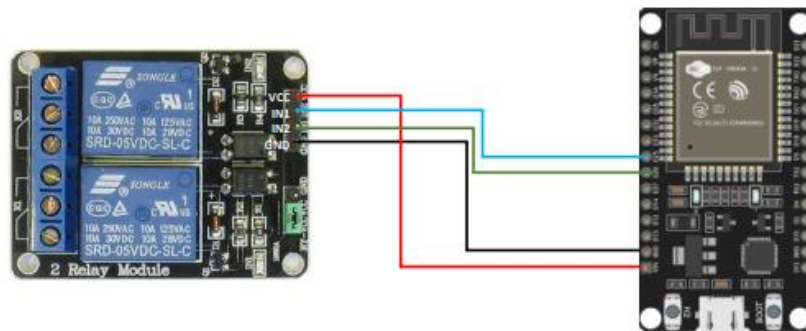


Рисунок 2.13 -Підключення модуля реле HL-52S до ESP32

2.3 Розробка електричної принципової схеми

Функціональна схема є ключовим документом у проектуванні системи, який відображає її функціональну структуру, включаючи окремі модулі та їх взаємозв'язки.

Цей документ детально описує структуру пристрою, включаючи його основні блоки, вузли, частини та способи їх з'єднання. Він демонструє, як компоненти системи підключаються та взаємодіють між собою, що надає зрозумілу картину процесу функціонування системи.

DM1 – NodeMCU ESP32 DevKit V1 – модуль, який призначений для зчитування та обробки інформації з датчиків із подальшим відправленням на сервер.

DD1 - електромагнітне реле – призначене для керування електропостачанням.

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

DD2 – конвертер логічних рівнів - призначений для безпечного узгодження напруг між пристроями, що працюють на різних логічних рівнях.

DD3 - багатофункціональний вимірювач споживаної електроенергії PZEM-004T V3 – призначений для зчитування показників з електромережі.

XS1, XS2 - додаткові контакти - призначенні для підключення пристроїв.

На рисунку 2.14 зображено функціональну схему пристрою.

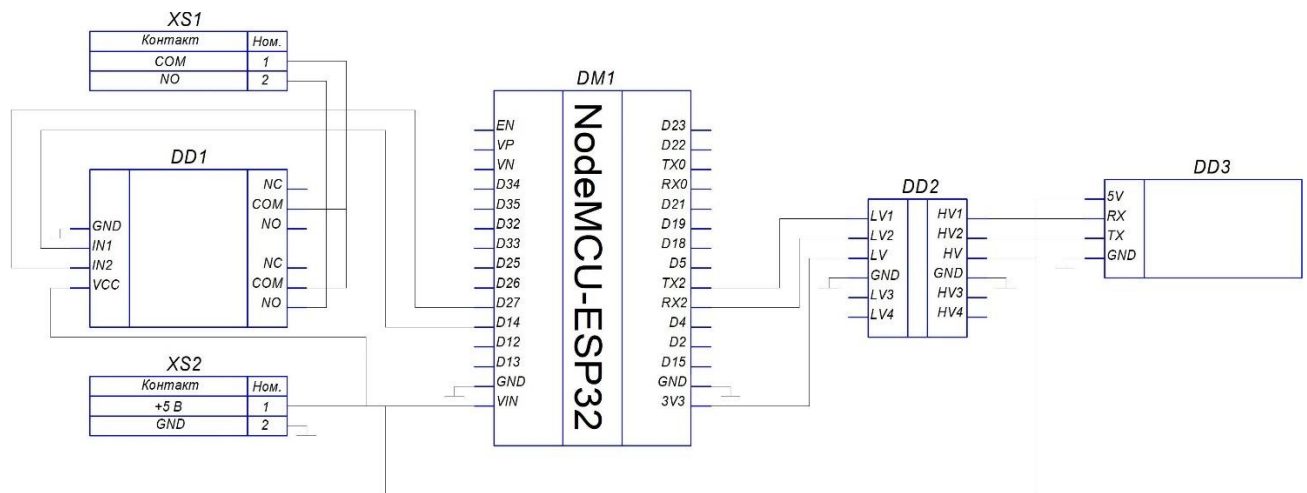


Рисунок 2.14 – Функціональна схема пристрою

2.4 Розробка алгоритму роботи системи

На цьому етапі виконується формалізація логіки функціонування системи, яка охоплює всі основні процеси — від початкової ініціалізації обладнання до передачі даних на сервер і керування навантаженням. Алгоритм описує послідовність дій мікроконтролера ESP32, взаємодію з вимірювальним модулем PZEM-004T V3, обмін інформацією з вебсервером та виконання команд релейного керування в режимі реального часу.

Основні функціональні етапи алгоритму:

- Ініціалізація системи. Після подачі живлення мікроконтролер ініціалізує всі необхідні бібліотеки, серійний інтерфейс UART1 для зв'язку з модулем PZEM-004T V3, а також налаштовує пін-коди для

керування реле. Далі здійснюється підключення до Wi-Fi-мережі згідно заданих параметрів SSID та пароля.

- Збір даних з електролічильника. Після успішного підключення до мережі Wi-Fi, мікроконтролер кожні 10 секунд зчитує параметри з модуля PZEM-004T V3, серед яких: напруга, сила струму, активна потужність, спожита енергія, частота мережі та коефіцієнт потужності. Зібрані значення перевіряються на коректність (виключення NaN) і у разі відсутності помилок формуються у форматі POST-запиту до серверного скрипта.

- Передача даних на сервер. Зібрана інформація надсилається через HTTP-запит на сервер, де вона обробляється, проходить перевірку API-ключа, зберігається у базі даних, а також може бути використана для візуалізації або аналізу історичних даних користувачем.

- Опитування сервера щодо стану реле. Окремо, кожну секунду, ESP32 виконує GET-запит, щоб отримати актуальний статус керуючих реле у форматі JSON. Після отримання відповіді з ID та статусами, мікроконтролер змінює стан GPIO-виходів відповідно до заданих значень, що забезпечує вмикання або вимикання підключених електропристроїв.

- Взаємодія з користувачем. Уся система підтримує обмін даними через сервер, що дозволяє користувачу в режимі реального часу переглядати актуальні показники енергоспоживання у вебінтерфейсі, будувати графіки, аналізувати історію споживання та дистанційно змінювати стан реле, не взаємодіючи безпосередньо з мікроконтролером.

- Гнучкість архітектури. Алгоритм реалізовано у вигляді модульного коду, що забезпечує простоту масштабування, оновлення логіки, заміну або доповнення функціоналу. У майбутньому можлива інтеграція нових сенсорів, перехід на MQTT або хмарні сервіси, а також впровадження алгоритмів енергоефективного керування.

На рисунку 2.15 зображено алгоритм роботи системи

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

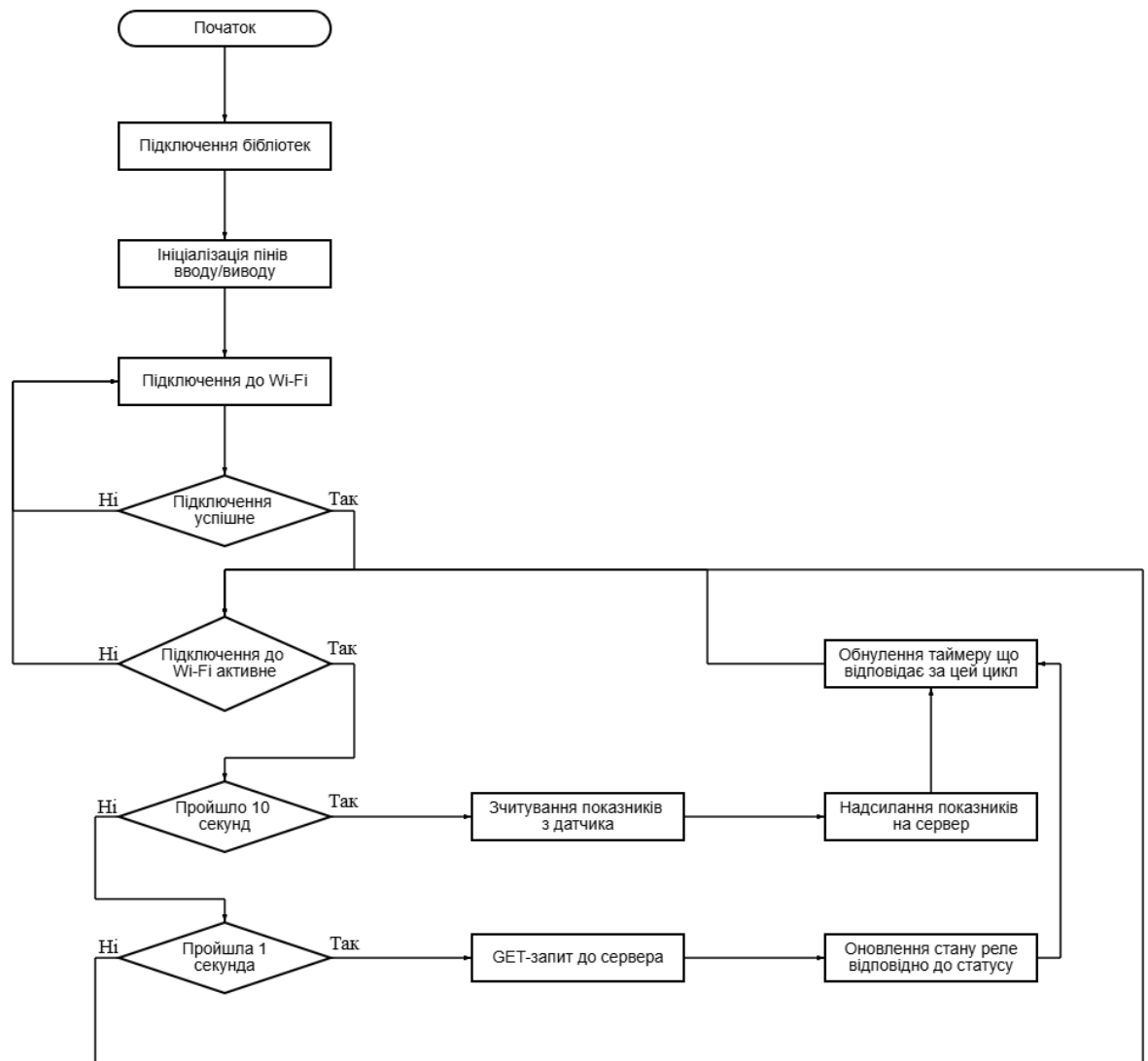


Рисунок 2.15 – Алгоритм роботи системи

2.5 Написання текстів програми

Для розробки програмного забезпечення використовувалося інтегроване середовище розробки Arduino IDE.

```

#include <WiFi.h>           // Підключення бібліотеки для роботи з Wi-Fi
#include <HTTPClient.h>      // Бібліотека для HTTP-запитів
#include <PZEM004Tv30.h>     // Бібліотека для роботи з модулем PZEM-004T v3.0
  
```

```

#include <ArduinoJson.h> // Бібліотека для обробки JSON
(парсинг/серіалізація)

// Дані для підключення до Wi-Fi мережі
const char* ssid = "...";
const char* password = "...";
// URL-адреси серверів
const char* dataServer = "..."; // Приймає показники
const char* relayStatusUrl = "..."; // Повертає статус реле
const char* apiKey = "...."; // Ключ API для автентифікації
// Ініціалізація UART1 для зчитування даних з PZEM (GPIO16 = RX,
GPIO17 = TX)
HardwareSerial pzemSerial(1);
PZEM004Tv30 pzem(pzemSerial, 16, 17); // Передача з пінів ESP32
// GPIO-піни для керування реле
#define RELAY1_PIN 25
#define RELAY2_PIN 26
// Таймери для затримок між циклами надсилання/отримання
unsigned long lastDataSent = 0;
unsigned long lastRelayCheck = 0;
const unsigned long dataInterval = 10000; // Інтервал надсилання даних: 10
сек
const unsigned long relayInterval = 1000; // Інтервал перевірки реле: 1 сек

void setup() {
    Serial.begin(115200); // Запуск монітору порту для дебагу
    delay(500); // Коротка затримка для стабільності запуску
    pzemSerial.begin(9600, SERIAL_8N1, 16, 17); // Ініціалізація UART1 для
модуля PZEM

```

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

// Налаштування пінів реле як виходи з логічно високим рівнем (реле вимкнені)

```
digitalWrite(RELAY1_PIN, HIGH);
```

```
digitalWrite(RELAY2_PIN, HIGH);
```

```
pinMode(RELAY1_PIN, OUTPUT);
```

```
pinMode(RELAY2_PIN, OUTPUT);
```

// Підключення до Wi-Fi

```
WiFi.begin(ssid, password);
```

```
Serial.print("Підключення до Wi-Fi");
```

```
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
```

```
    delay(500);
```

```
    Serial.print(".");
```

```
}
```

```
Serial.println("\nWi-Fi підключено! IP: " + WiFi.localIP().toString());
```

```
}
```

```
void loop() {
```

unsigned long now = millis(); // Отримання поточного часу з моменту запуску

if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) { // Перевірка чи підключення до мережі активне

// Кожні 10 секунд виконується надсилання показників на сервер

```
        if (now - lastDataSent >= dataInterval) {
```

```
            lastDataSent = now;
```

```
            sendSensorData();
```

```
        }
```

// Кожну 1 секунду виконується опитування стану реле з сервера

```
        if (now - lastRelayCheck >= relayInterval) {
```

```
            lastRelayCheck = now;
```

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

        updateRelayStates();
    }
}

delay(100); // Коротка затримка для зниження навантаження на процесор
}

// Функція зчитування даних з PZEM та надсилання їх на сервер
void sendSensorData() {
    // Зчитування всіх електричних параметрів з датчика
    float voltage = pzem.voltage();
    float current = pzem.current();
    float power = pzem.power();
    float energy = pzem.energy();
    float frequency = pzem.frequency();
    float pf = pzem.pf();

    // Перевірка на наявність помилок зчитування (якщо хоча б одне значення
NaN)
    if (isnan(voltage) || isnan(current) || isnan(power) ||
        isnan(energy) || isnan(frequency) || isnan(pf)) {
        Serial.println(" Помилка зчитування з PZEM.");
        return; // Вихід з функції
    }

    // Формування POST-запиту на сервер
    HTTPClient http;
    http.begin(dataServer);
    http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");

```

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

// Формування тіла запиту у вигляді ключ=значення
String postData = "api_key=" + String(apiKey) +
    "&voltage=" + String(voltage) +
    "&current=" + String(current) +
    "&power=" + String(power) +
    "&energy=" + String(energy) +
    "&frequency=" + String(frequency) +
    "&power_factor=" + String(pf);

// Надсилання запиту
int httpCode = http.POST(postData);
Serial.print(" POST статус: ");
Serial.println(httpCode);

if (httpCode > 0) {
    // Виведення відповіді сервера (наприклад, "OK")
    Serial.println("Відповідь сервера: " + http.getString());
}
http.end(); // Завершення сесії HTTP
}

// Функція зчитування поточного стану реле з сервера
void updateRelayStates() {
    HTTPClient http;
    http.begin(relayStatusUrl);
    int httpCode = http.GET(); // Виконання GET-запиту

    // Перевірка коду відповіді (200 = успішно)
    if (httpCode != 200) {
        Serial.println(" Помилка при отриманні статусу реле.");
    }
}

```

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

    http.end();

    return;
}

// Отримання JSON-відповіді у вигляді тексту
String payload = http.getString();
http.end();

// Виділення пам'яті для парсингу JSON
const size_t capacity = JSON_ARRAY_SIZE(2) + 2 *
JSON_OBJECT_SIZE(2) + 100;

DynamicJsonDocument doc(capacity);
DeserializationError err = deserializeJson(doc, payload);

// Обробка помилки парсингу JSON
if (err) {
    Serial.println(" JSON помилка: " + String(err.c_str()));
    return;
}

// Перебір елементів масиву JSON (для кожного реле)
for (JsonObject relay : doc.as<JsonArray>()) {
    int id = relay["id"];    // id реле
    int status = relay["status"]; // статус: 1 = увімкнено, 0 = вимкнено

    // Керування відповідним піном (інверсна логіка: LOW = увімкнено)
    if (id == 1) {
        digitalWrite(RELAY1_PIN, status ? LOW : HIGH); // ON = LOW
    } else if (id == 2) {
        digitalWrite(RELAY2_PIN, status ? LOW : HIGH);
    }
}
}

```

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```
Serial.println(" Стан реле оновлено.");
}
```

2.6 Розробка Web-сервера

Для реалізації функціонального інтерфейсу системи контролю електроспоживання створено веб-сайт, який складається з декількох взаємопов'язаних файлів: `index.php`, `history.php`, `receiver.php`, `fetch_last.php`, `fetch_relays.php`, `toggle_relay.php`, `relay_threshold_check.php`, `db_connect.php`, а також компонентів у папках:

- `partials` (`filter_form.php`, `history_table.php`, `pagination.php`, `table.php`, `chart.php`, `chart_script.php`)
- `includes` (`history_query.php`).

Взаємодія між цими елементами забезпечує повноцінну роботу веб-інтерфейсу, зокрема отримання даних із пристрою ESP32, збереження їх у базі даних, відображення поточних показників, побудову графіків та керування реле як вручну, так і в автоматичному режимі.

Основу веб-інтерфейсу формує HTML, який задає логічну структуру сторінки — розміщення інформаційних блоків, таблиць, графіків та елементів керування, що відображаються у браузері користувача.

Візуальне оформлення елементів, зокрема кольори, типографіку, розміри блоків та адаптивність до різних екранів, забезпечено за допомогою CSS-фреймворку Bootstrap 5.3.

Динамічну поведінку сторінки реалізовано за допомогою JavaScript, що дозволяє оновлювати дані без повного перезавантаження сторінки. Це особливо важливо для моніторингу показників у реальному часі, зокрема поточної потужності, напруги, енергії тощо.

Функціональність графіків реалізовано за допомогою бібліотеки Chart.js, а формування динамічних таблиць — через AJAX-запити до PHP-обробників (`fetch_last.php`, `fetch_relays.php` та інші). Окремо реалізовано механізм захисту:

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

при перевищенні користувачем встановленого порогу потужності відповідне реле вимикається сервером і не вмикається знову без втручання оператора.

Архітектура інтерфейсу дозволяє користувачу переглядати дані через смартфон, планшет або ПК без встановлення додаткового програмного забезпечення. Інтерфейс спроектований з урахуванням принципів інтуїтивної зручності: всі ключові показники згруповані у вигляді карток, а візуальні індикатори та графіки дають змогу швидко оцінити ситуацію.

Файл `index.php` — головна сторінка веб-сайту. Відповідає за формування основної HTML-структури панелі моніторингу. Тут відображаються картки з поточними показниками електроспоживання: напругою, струмом, потужністю, енергією, частотою та коефіцієнтом потужності. Також реалізовано елементи керування реле, включно з функцією автоматичного вимкнення при перевищенні встановленого порогу потужності. Через JavaScript реалізовано періодичне оновлення даних.

Частина коду, що відображає логіку роботи `index.php`:

```
<!-- index.php — головна сторінка панелі енергомоніторингу -->
<!-- Виведення показників -->
<div id="live-data"></div>
<script>
function updateDashboard() {
    fetch('fetch_last.php')
        .then(res => res.json())
        .then(data => {
            const keys = ['voltage', 'current', 'power'];
            document.getElementById('live-data').innerHTML = keys.map(k =>
                `<div>${k}: ${data[k]}</div>`
            ).join("");
        });
}
</script>
```

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

<!-- Кнопки керування реле -->
<div id="relay-controls"></div>
<script>
function updateRelays() {
    fetch('fetch_relays.php')
        .then(res => res.json())
        .then(data => {
            const container = document.getElementById('relay-controls');
            container.innerHTML = "";
            data.forEach(r => {
                const btn = document.createElement('button');
                btn.textContent = `Реле ${r.id} (${r.status == 1 ? 'Увімкнено' :
'Вимкнено'})`;
                btn.onclick = () => {
                    fetch('toggle_relay.php', {
                        method: 'POST',
                        headers: { 'Content-Type': 'application/x-www-form-urlencoded' },
                        body: `id=${r.id}`
                    }).then(updateRelays);
                };
                container.appendChild(btn);
            });
        });
}
</script>
<!-- Встановлення порогу потужності -->
<form id="relay-threshold-form">
    <input type="number" id="threshold" value="1500">
    <button>Застосувати</button>
</form>

```

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

<script>
document.getElementById('relay-threshold-form').addEventListener('submit', e
=> {
    e.preventDefault();
    fetch('relay_threshold_check.php', {
        method: 'POST',
        headers: { 'Content-Type': 'application/x-www-form-urlencoded' },
        body: new URLSearchParams({ relay_id: 1, threshold: threshold.value })
    });
});
</script>
<!-- Ініціалізація -->
<script>
document.addEventListener('DOMContentLoaded', () => {
    updateDashboard();
    updateRelays();
    setInterval(updateDashboard, 5000);
    setInterval(updateRelays, 5000);
});
</script>

```

Файл receiver.php — обробник POST-запитів з ESP32. Приймає дані про електричні параметри (напруга, струм, потужність тощо), які надсилає пристрій, і зберігає їх у базу даних. Є центральною точкою збору інформації з апаратної частини.

Частина коду, що відображає логіку роботи index.php:

```

<?php
// receiver.php — прийом даних з ESP32 і збереження в БД
/ Перевірка методу та ключа

```

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

if ($_SERVER["REQUEST_METHOD"] !== "POST") exit("Method Not
Allowed");

if (($_POST['api_key'] ?? "") !== 'tPmAT5Ab3j7F9') exit("Invalid API key");
// Отримання параметрів
$keys = ['voltage', 'current', 'power', 'energy', 'frequency', 'power_factor'];
foreach ($keys as $k) {
    if (!isset($_POST[$k]) || !is_numeric($_POST[$k])) exit("Invalid '$k'");
    $data[$k] = (float) $_POST[$k];
}
// Підключення до БД
$mysqli = new mysqli('127.127.126.31', 'root', 'root', 'energy_system');
if ($mysqli->connect_error) exit("DB Error");
// Збереження даних
$stmt = $mysqli->prepare("INSERT INTO readings (voltage, current, power,
energy, frequency, power_factor) VALUES (?, ?, ?, ?, ?, ?)");
$stmt->bind_param("ddddd", ...array_values($data));
$stmt->execute();
// Завершення
$stmt->close();
$mysqli->close();
echo "OK";

```

Файл history.php — сторінка історії вимірювань. Містить таблицю записів, які надходять від ESP32, а також інтерактивний графік на основі бібліотеки Chart.js. Забезпечує фільтрацію за періодом, агрегацію значень (щохвилинно, погодинно, щоденно), пагінацію та вибір відображуваних показників.

Частина коду, що відображає логіку роботи history.php:

```

<?php
// history.php — сторінка перегляду історії споживання
require_once 'includes/history_query.php'; // SQL-запити та агрегація

```

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

?>
<!DOCTYPE html>
<html lang="uk">
<head>
    <meta charset="UTF-8" />
    <title>Історія вимірювань</title>
    <link
href="https://cdn.jsdelivr.net/npm/bootstrap@5.3.3/dist/css/bootstrap.min.css"
rel="stylesheet" />
    <script src="filter_scroll.js"></script>
</head>
<body>
<!-- Навігація -->
<nav class="navbar navbar-dark bg-dark">
    <a class="navbar-brand" href="index.php">Енергомоніторинг</a>
</nav>
<div class="container py-4">
    <h1 class="text-center">Історія вимірювань</h1>
    <!-- Форма фільтрації (період, агрегація) -->
    <?php include 'partials/filter_form.php'; ?>
    <!-- Таблиця з даними -->
    <div class="table-responsive">
        <?php include 'partials/table.php'; ?>
    </div>
    <?php include 'partials/pagination.php'; ?>
    <!-- Кнопка для відкриття графіка -->
    <div class="text-center">
        <button id="toggleChartBtn" class="btn btn-primary">Розгорнути
графік</button>
    </div>

```

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

<!-- Контейнер для графіка + JS -->
<?php include 'partials/chart.php'; ?>
<script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/chart.js"></script>
<?php include 'partials/chart_script.php'; ?>
</div>
</body>
</html>

```

Таким чином, реалізований веб-сервер виконує роль “вікна” у систему моніторингу та керування електроспоживанням, забезпечуючи зручний і ефективний інтерфейс взаємодії між користувачем та апаратною частиною. Через цей інтерфейс здійснюється візуалізація параметрів у реальному часі, доступ до історичних даних, а також ручне та автоматичне керування виконавчими елементами системи.

На рисунку 2.16 зображено зовнішній вигляд головної сторінки сайту

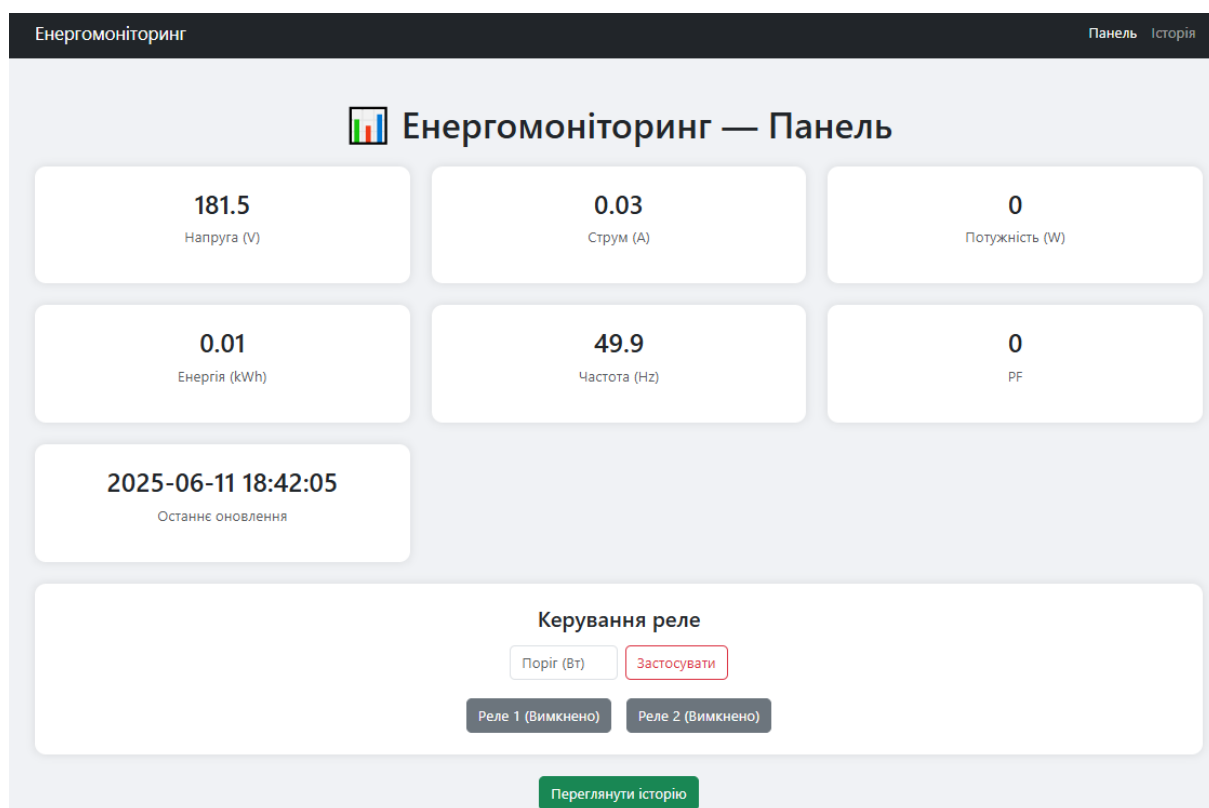


Рисунок 2.16 - Вигляд головної Web-сторінки сайту

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рисунку 2.17 зображено зовнішній вигляд Web-сторінки сайту “Історія”



Рисунок 2.17 - Зовнішній вигляд Web-сторінки сайту “Історія”

3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розробка інструкції з монтажу та первинного налаштування електронного пристрою

У зв'язку з тим, що система здійснює пряме підключення до електромережі, її встановлення та налаштування повинно виконуватись фахівцем, який розуміє принцип роботи мікроконтролерів, елементів силової електроніки та знає правила безпечної роботи з напругою 220 В.

Для монтажу та запуску системи контролю електроспоживання необхідно виконати такі дії:

- Підключити елементи системи відповідно до структурної та електричної схеми: модуль ESP32, багатофункціональний вимірювач споживаної електроенергії PZEM-004T v3.0 (через UART1) та 2-канальний модуль реле типу HL-52S (до відповідних GPIO ESP32).
- Заздалегідь задати параметри мережі Wi-Fi, до якої буде підключено пристрій: у коді слід ввести SSID та пароль бездротової мережі.
- Підключити ESP32 до комп'ютера через USB-кабель і завантажити прошивку за допомогою Arduino IDE або іншого сумісного середовища (наприклад, PlatformIO). Під час компіляції слід переконатись, що встановлено необхідні бібліотеки: WiFi.h, HTTPClient.h, PZEM004Tv30.h, ArduinoJson.h.
- Після успішного завантаження коду від'єднати ESP32 від ПК і підключити до постійного джерела живлення (наприклад, блоку живлення 5 В через microUSB або VIN).
- Підключити систему до електромережі 220 В, при цьому PZEM-004T має бути відповідно з'єднаний із силовими проводами живлення згідно інструкції.
- Під час першого запуску рекомендується зчитати IP-адресу, яку маршрутизатор надав ESP32. Для цього потрібно відкрити монітор порту

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(Serial Monitor) у Arduino IDE зі швидкістю 115200 бод. В консолі буде виведено IP-адресу, повідомлення про з'єднання з Wi-Fi та діагностичні повідомлення.

- Бажано зарезервувати IP-адресу ESP32 в налаштуваннях маршрутизатора, щоб уникнути конфліктів у майбутньому при зміні динамічної адресації.
- Після коректного запуску система починає автоматично зчитувати дані з PZEM-004T кожні 10 секунд і відправляти їх POST-запитом на сервер для запису у базу даних. Кожну секунду ESP32 опитує сервер щодо оновлення стану реле.
- У разі потреби користувач може самостійно змінити логіку або частоту опитування, відредагувавши значення змінних `dataInterval` та `relayInterval` у коді.
- Після завершення встановлення користувач отримує посилання на вебінтерфейс, за яким відкривається сайт з актуальними показниками електроспоживання. На сайті розміщено:
 - табличне відображення останніх вимірювань;
 - графік зміни параметрів у динаміці;
 - відображення поточного стану кожного реле;
 - кнопки дистанційного керування реле в реальному часі.
- Система побудована так, що у разі наявності базових технічних знань користувач може встановити її самостійно. Проте при виникненні труднощів або для гарантії надійної та безпечної роботи рекомендується звернутися до розробника або кваліфікованого спеціаліста.

3.2 Розробка методики перевірки, функціонування (контролю, випробування) електронного пристрою

Для перевірки працездатності системи контролю електроспоживання використовується віртуальний термінал (монітор послідовного порту), вбудований у середовище розробки Arduino IDE. У цей термінал ESP32 виводить

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

усі зчитані дані з модуля PZEM-004T v3.0, згенеровані POST- та GET-запити до серверних скриптів, а також повідомлення про стан Wi-Fi-підключення, IP-адресу пристрою, результати передачі даних і потенційні помилки.

Завдяки цій функції розробник або користувач може в режимі реального часу діагностувати стан системи, перевірити наявність з'єднання, переконатись у надсиланні показників у базу даних та отриманні зворотного зв'язку від сервера.

1. У базі даних не з'являються нові записи.

- Перевірити наявність живлення на ESP32.
- Перезапустити систему (від'єднати живлення і знову підключити).
- Відкрити монітор порту в Arduino IDE (швидкість 115200 бод) і проаналізувати, чи пристрій успішно підключився до Wi-Fi, чи виникають помилки при POST-запитах.
- Перевірити, чи IP-адреса сервера (у змінній dataServer) є правильною та доступною в локальній мережі.

2. Дані з PZEM-004T не зчитуються або є некоректними.

- Переконатись, що модуль PZEM-004T правильно підключений до UART1 ESP32 (GPIO16 = RX, GPIO17 = TX).
- Перевірити, чи модуль підключено до електромережі відповідно до схеми.
- Перевірити надійність контактів і правильність логічних рівнів (через конвертер логічних рівнів, якщо використовується).

3. Усі дані зчитуються, але не надсилаються на сервер.

- Перевірити значення змінної arKey — воно повинно збігатися з ключем, що перевіряється на стороні receiver.php.
- У терміналі повинно виводитись: POST статус: 200 та відповідь сервера. Якщо ні — перевірити правильність шляху <http://.../receiver.php>.

4. Система не реагує на керування реле.

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Переконайтесь, що скрипт `fetch_relays.php` повертає коректний JSON. У терміналі ESP32 повинно з'явитися: Стан реле оновлено.
- Перевірити таблицю реле в базі даних: чи змінюються там значення `status` для відповідних `id`.
- Переконайтесь, що інверсна логіка реле (`active LOW`) враховується правильно у функції `digitalWrite()`.

5. Проблеми з підключенням до Wi-Fi.

- Переконайтесь, що в коді вказані правильні `ssid` та `password`.
- У випадку зміни IP ESP32 (через DHCP), бажано зарезервувати IP-адресу в налаштуваннях роутера.
- Перевірити вивід ESP32: якщо відсутнє повідомлення Wi-Fi підключено! IP: ..., ймовірна помилка автентифікації або нестабільність мережі.

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

Основною метою економічної частини кваліфікаційної роботи бакалавра є проведення розрахунків, спрямованих на визначення економічної ефективності розробки системи контролю електроспоживання. У межах цього розділу здійснюється обчислення витрат на реалізацію проекту, визначаються його собівартість, рівень економічної ефективності та термін окупності.

4.1 Визначення стадій технологічного процесу та загальної тривалості проведення НДР

Для визначення загальної тривалості виконання науково-дослідної роботи потрібно підсумувати витрати часу на виконання окремих етапів технологічного процесу, які подано в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Середній час виконання НДР та стадії (операції) технологічного процесу

№ п/п	Назва операції (стадії)	Виконавець	Середній час виконання операції, год.
1	2	3	4
1.	Аналіз технічного завдання	Керівник проекту	2 год.
2.	Вибір елементної бази	Керівник проекту	3 год.
3.	Розробка функціональної схеми пристрою	Лаборант	4 год.
4.	Розробка електрично принципової схеми	Інженер	3 год.

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4
5.	Розробка алгоритму роботи системи	Лаборант	3 год.
6.	Написання текстів програми для плати ESP32	Лаборант	5 год.
7.	Написання скриптів для хостингу	Лаборант	4 год.
8.	Розробка інструкції з експлуатації електронного пристрою	Лаборант	4 год.
9.	Затвердження проекту	Керівник проекту	1 год.
Разом			29 год.

Отже, сумарна тривалість виконання всіх етапів технологічного процесу науково-дослідної роботи з розробки системи становить 29 годин.

4.2 Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальні заходи

Відповідно до Закону України «Про оплату праці» заробітна плата – це «винагорода, обчислена у грошовому виразі, яку власник виплачує працівникові за виконану ним роботу».

Розмір заробітної плати залежить від складності та умов виконуваної роботи, професійно-ділових якостей працівника, результатів його праці та господарської діяльності підприємства.

Основна заробітна плата розраховується за формулою:

$$Z_{\text{осн.}} = T_c + K_r, \quad (4.1)$$

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де:

T_c – тарифна ставка, грн.;

K_r – кількість відпрацьованих годин.

Рекомендовані тарифні ставки:

- керівник проекту – 100 грн./год.;
- лаборант – 70 грн./год.;
- інженер – 90 грн./год.

Розрахунок основної заробітної плати за категоріями працівників здійснено наступним чином:

1. Керівника проекту:

$$З_{\text{осн.1}} = 100 * (2 + 3 + 1) = 600 \text{ грн.}$$

2. Лаборанта

$$З_{\text{осн.2}} = 70 * (4 + 3 + 5 + 4 + 4) = 1400 \text{ грн.}$$

3. Інженера

$$З_{\text{осн.3}} = 90 * 3 = 270 \text{ грн}$$

Сумарна основна заробітна плата становить:

$$З_{\text{осн.}} = 600 + 1400 + 270 = 2270 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата становить 12% від суми основної заробітної плати:

$$З_{\text{дод.}} = З_{\text{осн.}} * K_{\text{дод.}}, \quad (4.2)$$

де:

$K_{\text{дод.}}$ – коефіцієнт додаткових виплат працівникам: (приймаємо 0,12).

Отже, додаткова заробітна плата становить:

$$З_{\text{дод.}} = 2270 * 0.12 = 272.4 \text{ грн}$$

Звідси загальні витрати на оплату праці ($B_{\text{о.п.}}$) визначаються за формулою:

$$B_{\text{о.п.}} = З_{\text{осн.}} + З_{\text{дод.}} = 2270 + 272.4 = 2542.4 \text{ грн}$$

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відрахування на соціальні заходи, відповідно до прикладу, приймаємо на рівні 37,6%. Вони обчислюються за формулою:

$$B_{\text{с.з.}} = B_{\text{о.п.}} * 0.376, \quad (4.3)$$

Звідси, відрахування на соціальні заходи становлять:

$$B_{\text{с.з.}} = 2542.4 * 0.376 = 955.94 \text{ грн}$$

Усі отримані результати розрахунків наведено у зведеній таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Зведені розрахунки витрат на оплату праці та соціальні відрахування

№ п/п	Категорія працівників	Тарифна ставка, грн/год	К-сть годин	Основна заробітна плата, грн	Додаткова заробітна плата, грн.	Відрахування на соц. заходи, грн	Всього витрати на оплату праці, грн.
1.	Керівник проекту	100	6	600	72	-	-
2.	Лаборант	70	20	1400	168	-	-
3.	Інженер	90	3	270	32.4	-	-
Разом				2270	272.4	955.94	3498.34

Отже, загальні витрати на оплату праці разом з соціальними відрахуваннями становить 3498.34 грн.

4.3 Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати визначаються як добуток кількості витрачених матеріалів та їх ціни:

$$M_{B_i} = q_i * p_i \quad (4.4)$$

де:

q_i – кількість витраченого матеріалу i -го виду;

p_i – ціна матеріалу i -го виду.

Звідси, загальні матеріальні витрати визначаються за формулою:

$$Z_{M.B.} = \sum M_{B_i} \quad (4.5)$$

Для реалізації кваліфікаційної роботи з розробки системи необхідно використати наступні матеріали та ресурси, перелік та вартість яких наведено у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Зведені розрахунки матеріальних витрат для розробки системи

№ п/п	Найменування матеріальних ресурсів	Од. виміру	Факт. Витрачено матеріалів	Ціна 1- ці, грн.	Загальна сума витрат, грн.
1	2	3	4	5	6
1.	NodeMCU ESP32 DevKit V1	шт.	1 шт.	265	265

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 4.3

1	2	3	4	5	6
2.	Багатофункціональний вимірювач споживаної електроенергії PZEM004T V3	шт.	1 шт.	320	320
3.	Модуль реле 2- канальний	шт.	1 шт.	70	70
4.	Конвертер логічних рівнів	шт.	1 шт.	15	15
Разом					670

Таким чином, загальна сума матеріальних витрат на реалізацію кваліфікаційної роботи з розробки системи контролю електроспоживання становить 670 грн.

4.4 Розрахунок витрат на електроенергію

Затрати на електроенергію 1-ці обладнання визначаються за формулою:

$$Z_e = W * T * S \quad (4.6)$$

де:

W – необхідна потужність, кВт;

T – час роботи обладнання;

S – вартість електроенергії за 1 кВт·год, грн.

Згідно з підходом, який використано у прикладі, приймаємо такі значення:

- тривалість роботи обладнання – 29 год;
- потужність обладнання – 0,5 кВт/год;
- вартість 1 кВт·год електроенергії – 7 грн.

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виконавши розрахунок, отримуємо витрати на електроенергію:

$$З_e = 0.5 * 29 * 7 = 101.5$$

Отже, витрати на електроенергію для реалізації проекту становлять 101.5 грн

4.5 Визначення транспортних затрат

Транспортні витрати розраховуються як частка від загальної суми матеріальних витрат і становлять, за рекомендаціями, від 8 до 10%. Вони визначаються за формулою:

$$ТВ = З_{м.в.} * (0.08 \dots 0.1), \quad (4.7)$$

де:

$З_{м.в.}$ – загальні матеріальні витрати, грн.

З урахуванням раніше розрахованої загальної суми матеріальних витрат, що становить 670 грн, приймаємо транспортні витрати на рівні 8%:

$$ТВ = 670 * 0,08 = 53.6 \text{ грн.}$$

Отже, транспортні витрати на реалізацію дипломного проекту становлять 53.6 грн.

4.6 Розрахунок суми амортизаційних відрахувань

Комп'ютерне обладнання та оргтехніка належать до четвертої групи основних фондів. Мінімально допустимий термін їх використання згідно з нормативними вимогами становить 2 роки.

Сума амортизаційних відрахувань за час роботи обладнання розраховується за формулою:

$$A = \frac{БВ * НА * Т}{150\%} \quad (4.8)$$

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де:

БВ – балансова вартість обладнання (26000 грн);

НА – норма амортизації (4%), прийнята відповідно до нормативів;

Т – кількість годин роботи обладнання (126 год).

Підставляємо значення і розраховуємо:

$$A = \frac{26000 * 0.04 * 29}{150} = 201.07$$

4.7 Обчислення накладних витрат

Накладні витрати — це витрати, які не пов’язані безпосередньо з технологічним процесом розробки навчально-демонстраційного сайту, проте виникають при його реалізації. До таких витрат належать витрати на адміністрування, організаційні витрати, оренду приміщень, комунальні платежі та інші управлінські витрати.

Накладні витрати можуть становити 20–60% від загальної суми основної та додаткової заробітної плати і визначаються за формулою:

$$НВ = V_{o.п.} * (0.2 \dots 0.6) \quad (4.9)$$

де, $V_{o.п.}$ — загальні витрати на оплату праці, грн.

Для даного проекту приймаємо накладні витрати на рівні 40% від загальних витрат на оплату праці (основна та додаткова зарплата), які становлять 2542.4 грн.

$$НВ = 2542.4 * 0.4 = 1016.96 \text{ грн.}$$

Отже, сума накладних витрат становить 1016.96 грн.

4.8 Складання кошторису витрат та визначення собівартості НДР

Кошторис витрат є підсумковим документом, який об’єднує всі види витрат, що були попередньо розраховані для реалізації кваліфікаційної роботи. Він

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відображає всі витрати, пов'язані з виконанням роботи над проектом та служить для визначення загальної собівартості науково-дослідної роботи (НДР).

Загальна собівартість визначається за формулою:

$$C_B = B_{o.п.} + B_{c.з.} + Z_{м.в.} + Z_e + TB + A + HB \quad (4.10)$$

де:

$B_{o.п.}$ – загальні витрати на оплату праці (основна + додаткова заробітна плата);

$B_{c.з.}$ – відрахування на соціальні заходи;

$Z_{м.в.}$ – матеріальні витрати;

Z_e – витрати на електроенергію;

TB – транспортні витрати;

A – амортизаційні відрахування;

HB – накладні витрати.

Проведені розрахунки зведено у таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 – Кошторис витрат на НДР

№ п/п	Зміст витрат	Сума, грн.	В % до загальної суми
1	Витрати на оплату праці	2542.4	45.88
2	Відрахування на соціальні заходи	955.94	17.25
3	Матеріальні витрати	670	12.09
4	Витрати на електроенергію	101.5	1.83
5	Транспортні витрати	53.6	0.97
6	Амортизаційні відрахування	201.07	3.63
7	Накладні витрати	1016.96	18.35
Разом	Загальна собівартість НДР	5541.47	100

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, загальна собівартість реалізації кваліфікаційної роботи з розробки системи контролю електроспоживання становить 5541,47 грн.

4.9 Розрахунок ціни НДР

Ціна науково-дослідної роботи визначається з урахуванням собівартості виконання роботи, запланованого рівня рентабельності та податку на додану вартість (ПДВ), ставка якого становить 20%.

Розрахунок ціни здійснюється за формулою:

$$Ц = C_B * (1 + P_{рен})(1 + ПДВ) \quad (4.11)$$

де:

Ц – ціна НДР, грн;

C_B – собівартість виконання НДР, грн;

$P_{рен}$ – рівень рентабельності (приймаємо 30%);

ПДВ – податок на додану вартість (20%).

$$Ц = 5541.47 * (1 + 0.3) * (1 + 0.2) = 8644.69 \text{ грн.}$$

Отже, ціна виконання кваліфікаційної роботи з розробки системи контролю електроспоживання становить 8644.69 грн, що включає собівартість, плановий рівень рентабельності та ПДВ у розмірі 20%.

4.10 Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень

Ефективність проекту є комплексною характеристикою результативності використання ресурсів, витрачених на його реалізацію. Для визначення

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ефективності кваліфікаційної роботи необхідно розрахувати такі економічні показники, як прибуток, економічна ефективність та термін окупності.

Прибуток визначається за формулою:

$$\Pi = \text{Ц} - \text{C}_\text{в} \quad (4.12)$$

де:

Π – прибуток, грн;

Ц – ціна науково-дослідної роботи, грн;

$\text{C}_\text{в}$ – собівартість виконання роботи, грн.

Розрахунок прибутку:

$$\Pi = \text{Ц} - \text{C}_\text{в} = 8644.69 - 5541.47 = 3103.22 \text{ грн}$$

Економічна ефективність (E_p) визначається відношенням прибутку до собівартості виконання робіт і обчислюється за формулою:

$$E_p = \frac{\Pi}{\text{C}_\text{в}} \quad (4.13)$$

Розрахунок економічної ефективності:

$$E_p = \frac{\Pi}{\text{C}_\text{в}} = \frac{3103.22}{5541.47} = 0.56$$

Термін окупності капітальних вкладень (T_p) визначається за формулою:

$$T_p = \frac{1}{E_p} \quad (1.14)$$

Розрахунок терміну окупності:

$$T_p = \frac{1}{E_p} = \frac{1}{0.56} = 1.79$$

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Допустимим вважається термін окупності до 5 років. В даному випадку отриманий термін окупності 1,79 року є задовільним і підтверджує економічну доцільність реалізації кваліфікаційної роботи.

Проведені розрахунки узагальнені у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Техніко-економічні показники розробки системи контролю електроспоживання

№ п/п	Показник	Одиниця виміру	Значення
1.	Собівартість	грн	5541.47
2.	Плановий прибуток	грн	3103.22
3.	Ціна	грн	8644.69
4.	Економічна ефективність	-	0.56
5.	Термін окупності	рік	1.79

Таким чином, загальна ціна розробки дипломного проекту становить 8644.69 грн. При цьому, економічна ефективність має високе значення (0,56), що свідчить про вигідність реалізації проекту та його окупність протягом 1,79 року.

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

У сучасних умовах стрімкого розвитку технологій та активного впровадження систем автоматизації, питання охорони праці при роботі з електричним обладнанням набуває особливої актуальності. Забезпечення безпечного середовища, що відповідає технічним і гігієнічним нормам, є необхідною умовою ефективної праці інженерного персоналу, зайнятого у сфері енергомоніторингу та електроніки.

Одним із ключових чинників безпеки та збереження здоров'я працівників є раціонально організована система штучного освітлення. Відповідно до вимог ДСТУ EN 12464-1:2014, рівень освітленості має відповідати характеру виконуваних робіт. Зокрема, при збиранні, налаштуванні й тестуванні енергетичних систем потрібна підвищена точність, що вимагає достатнього, рівномірного та якісного освітлення.

Іншим важливим аспектом охорони праці є організація безпечних умов роботи з електричним обладнанням. Робота з елементами низьковольтного та мережевого живлення (220 В) передбачає дотримання правил експлуатації, захисту від ураження струмом, використання засобів індивідуального захисту, а також наявність інструктажу та контролю доступу. Застосування ПЗВ, захисного заземлення, ізольованих інструментів та організаційних заходів є необхідним для зниження професійних ризиків.

У цьому розділі кваліфікаційної роботи детально розглянуто:

- методику розрахунку штучного освітлення для приміщення, де проводяться роботи зі створення системи контролю енергоспоживання;
- графічну схему розміщення світильників згідно з технічним обґрунтуванням;

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- комплекс організаційних і технічних заходів щодо забезпечення безпеки праці з електричними приладами та електронними модулями.

5.1 Розрахунок системи штучного освітлення для приміщення, де здійснюються роботи зі створення «системи контролю електроспоживання»

Рациональна організація освітлення робочого місця є важливим фактором забезпечення безпечних та комфортних умов праці, особливо в умовах постійного використання комп'ютерних систем, моніторингових приладів і електронного обладнання. Якість освітлення безпосередньо впливає на працездатність, стан здоров'я працівників, концентрацію уваги, швидкість реакції, а також на загальний рівень безпеки виробничих процесів.

Згідно з нормативно-правовими документами, такими як ДСТУ EN 12464-1:2014 «Світло та освітлення. Освітлення робочих місць у приміщеннях», для офісних приміщень із переважною роботою на персональних електронних обчислювальних машинах (ПЕОМ) рекомендовано забезпечувати освітленість на рівні не менше 300 лк. У приміщеннях, де виконуються точні роботи, такі як складання електронних схем, пайка, монтажні роботи чи візуальний контроль, рівень освітленості повинен бути збільшений до 500–1000 лк.

До ключових параметрів освітлення також належать:

- рівномірність освітлення (коефіцієнт не менше 0,4 у межах робочого місця);
- мінімізація пульсацій світлового потоку (допустиме значення — не більше 10–15%);
- відсутність сліпучих ефектів і відблисків;
- індекс передачі кольору (CRI) не нижче 80 для точного сприйняття кольорів.

Сучасні рішення передбачають використання світлодіодних (LED) світильників завдяки їхній високій енергоефективності, стабільності світлового

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поток, відсутності мерехтіння та тривалому терміну експлуатації. Оптимальною кольоровою температурою освітлення для офісів і виробничих приміщень вважається 4000–5000 К («нейтральне біле світло»), що позитивно впливає на концентрацію, знижує втому очей та сприяє підтримці природних біологічних ритмів.

Важливим є врахування специфіки виконуваних робіт. Гігієнічна класифікація зорових навантажень передбачає використання відповідних типів загального та місцевого освітлення. Наприклад, для точних робіт рекомендується поєднувати загальне стельове освітлення з локальними світильниками для запобігання утворенню тіней.

Недотримання вимог до освітлення може призводити до зниження працездатності, погіршення зору, розвитку хронічної втоми та підвищення ймовірності виробничих помилок. Тому вибір освітлювальних систем повинен базуватись на аналізі їх переваг та недоліків з урахуванням особливостей приміщення і характеру виконуваних завдань.

Порівняння основних типів освітлювальних приладів:

1. Люмінесцентні світильники (див. рис. 5.1):



Рисунок 5.1 – Люмінесцентний світильник

– Переваги: висока енергоефективність, тривалий термін служби, менше нагрівання порівняно з лампами розжарювання, рівномірне освітлення

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приміщення, широкий вибір кольорових температур, відносно низькі експлуатаційні витрати.

- Недоліки: наявність шкідливих речовин (ртуть), що ускладнює утилізацію, можливі пульсації світлового потоку, які призводять до втоми очей та головного болю, чутливість до перепадів напруги, затримка при ввімкненні, особливо за низьких температур.

2. LED-світильники (див. рис. 5.2) (світлодіодні):

- Переваги: висока світлова віддача та енергоефективність, тривалий термін експлуатації (до 50 000 годин і більше), миттєве включення без затримок та мерехтіння, широкий діапазон регулювання яскравості та кольорових температур, екологічна безпека (не містять шкідливих речовин), компактні розміри та можливість гнучкого дизайну.
- Недоліки: вища початкова вартість порівняно з іншими типами освітлення, потребують ефективного відведення тепла для уникнення перегріву і зменшення терміну служби, чутливість до якості електроживлення та електронних компонентів.



Рисунок 5.2 - LED-світильник

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Галогенні лампи (див. рис. 5.3):

- Переваги високий індекс передачі кольору (близький до природного денного світла), миттєве увімкнення та досягнення повної яскравості без затримок, простота конструкції та доступність за ціною, компактні розміри, стійкість до перепадів температур та напруги.
- Недоліки: низька енергоефективність (велике споживання електроенергії), значне нагрівання поверхні лампи, короткий термін експлуатації (порівняно з LED-лампами), чутливість до механічних пошкоджень, ризик опіків та пожежної небезпеки при неправильній експлуатації.



Рисунок 5.3 - Галогенні лампи

4. Природне освітлення:

- Переваги: безкоштовне джерело світла, позитивно впливає на фізичний і психологічний стан людини (покращує настрій, концентрацію, зменшує втому), забезпечує високу якість передачі кольору, сприяє енергоощадженню в денний час, підтримує природні біоритми організму.

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Недоліки: залежність від погодних умов, пори року та розташування будівлі, нерівномірність освітлення протягом дня, потреба у додаткових світлових пристроях у похмуру погоду або ввечері, можливе осліплення чи перегрів приміщення за відсутності правильного захисту (жалюзі, штори, тонування).

Додаткові вимоги до організації освітлення:

- Загальне освітлення має забезпечувати рівномірність, уникати утворення тіней і темних зон. Рекомендується використання LED-панелей, світильників з поворотними плафонами та спотів.
- Коефіцієнт блискітливості повинен бути мінімальним. Для цього слід застосовувати матові або антиблікові світильники.
- Пульсація світла має бути мінімізована, особливо в приміщеннях з рухомими механізмами через ризик стробоскопічного ефекту.

Кольорова температура є суттєвим фактором зорового комфорту та безпеки праці. Оптимальна температура (4000–5000 К) забезпечує ефективність роботи, зниження стомлюваності очей і позитивний вплив на психофізіологічний стан працівників.

Таким чином, комплексний підхід до організації освітлення, враховуючи нормативні вимоги, тип освітлювальних приладів, особливості робочих завдань та гігієнічні норми, забезпечує комфортні, безпечні умови праці та сприяє підвищенню продуктивності працівників.

Розробка системи контролю електроспоживання здійснювалась у приміщенні площею 24 м² (розміри: 6 × 4 м),. Приміщення має світлі стіни та стелю, висота до стелі — 2,8 м. Вікна відсутні, природне освітлення не враховується.

Згідно з установленими нормативами для приміщень, де виконуються електромонтажні та лабораторні роботи, нормативна освітленість на робочій поверхні повинна бути не менше 500 лк. Коефіцієнт запасу приймаємо $K_z = 1,5$, коефіцієнт використання світлового потоку — $\eta = 0,6$ (для світлих поверхонь).

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для освітлення приміщення обрано сучасні LED-панелі Maxus Assistance LED Panel Standard 36W (див. рис. 5.4), із такими характеристиками:

- номінальна потужність — 36 Вт;
- світловий потік — 3960 лм;
- колірна температура — 4000 К (нейтральне біле світло);
- індекс передачі кольору (Ra) — понад 80;
- ступінь захисту — IP20;
- матеріал корпусу — алюміній, нержавіюча сталь.



Рисунок 5.4 - LED-панель Maxus Assistance

Розрахунок здійснюємо за формулою світлового потоку:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{F \cdot \eta} \quad (5.1)$$

де:

- E — нормативна освітленість, лк (500 лк);
- S — площа приміщення, м² (24 м²);
- K₃ — коефіцієнт запасу (1,5);
- F — світловий потік одного світильника, лм (3960 лм);

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Н — коефіцієнт використання світла (0,6).

Підставляємо значення:

$$N = \frac{500 * 24 * 1.5}{3960 * 0.6} = 7.6$$

Оскільки кількість світильників повинна бути цілою, приймаємо $N = 8$.

Для забезпечення рівномірного освітлення 8 LED-панелей розташовано рівномірно в два ряди по чотири світильники на стелі. Відстань між світильниками та стінами вибрано з урахуванням рівномірного розподілу світлового потоку (приблизно 1,2 м між рядами, 1,0 м між світильниками у ряду). Розміщення світильників наведено на рисунку 5.5.

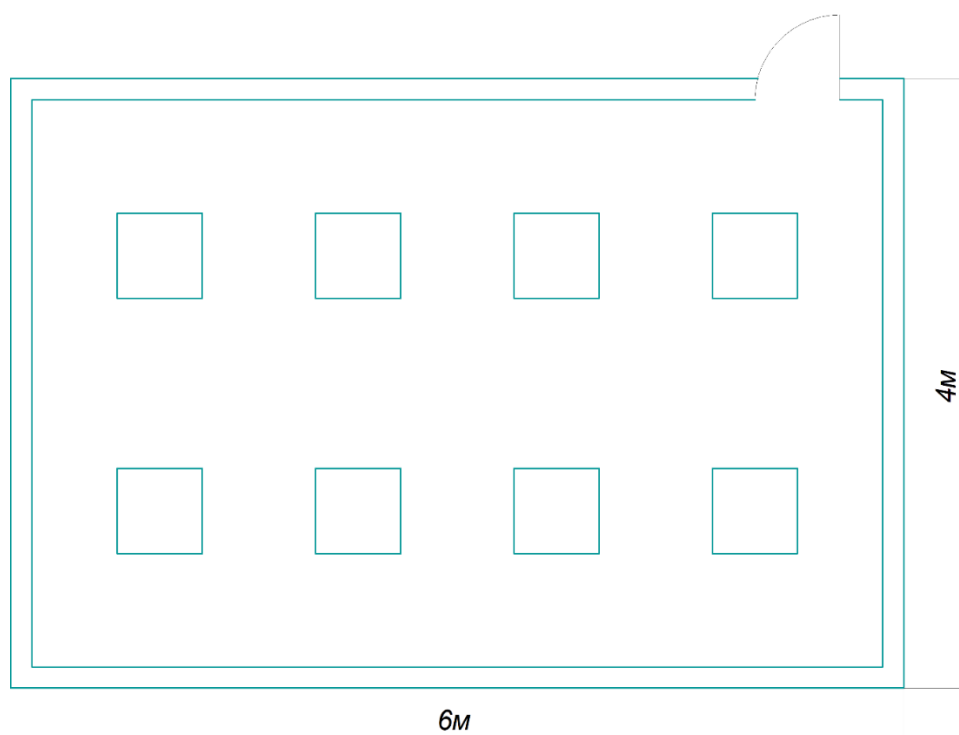


Рисунок 5.5 – Схема розміщення світильників

5.2 Комплекс організаційних заходів щодо забезпечення безпеки робіт з електричним обладнанням

Безпечна експлуатація електричного обладнання є важливим елементом охорони праці у будь-якому виробничому чи лабораторному середовищі, зокрема

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

у процесі реалізації систем контролю електроспоживання. Роботи з електрообладнанням пов'язані з підвищеною небезпекою через наявність напруги, здатної спричинити ураження електричним струмом, пошкодження обладнання, пожежу або інші аварійні ситуації. Тому на етапі проектування, монтажу, налагодження та технічного обслуговування електросистем необхідно дотримуватись комплексу організаційних та технічних заходів, спрямованих на попередження виробничих ризиків та забезпечення здорових і безпечних умов праці.

Організаційні заходи передбачають нормативне, кадрове, інструктивне та адміністративне забезпечення безпеки. Одним із головних напрямків є дотримання вимог чинного законодавства України, зокрема Закону України «Про охорону праці», а також правил, затверджених наказами Міністерства енергетики, Мінсоцполітики та МОЗ. Зокрема, використовуються положення таких документів, як «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» (ДНАОП 0.00-1.21-98), ДСТУ EN 50110-1:2014.

Перед початком робіт з електричним обладнанням усі працівники повинні пройти відповідне навчання, інструктаж з охорони праці, перевірку знань з електробезпеки та допуск до роботи. Навчання проводиться з урахуванням специфіки виконуваних робіт і повинне бути закріплене у відповідному журналі. Працівники, які обслуговують електроустановки напругою до 1000 В, повинні мати групу допуску не нижче II, а особи, які проводять технічне обслуговування й діагностику, — групу III. Організація інструктажів також включає:

- вступний інструктаж при прийомі на роботу;
- первинний інструктаж безпосередньо на робочому місці;
- повторний інструктаж не рідше одного разу на півроку;
- позаплановий інструктаж у разі змін у технологічному процесі або після порушення правил безпеки;
- цільовий інструктаж перед виконанням разових чи небезпечних робіт.

Усі інструктажі проводяться відповідальним працівником і фіксуються у спеціальному журналі встановленої форми. Для робіт в електроустановках

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

напругою понад 50 В допускаються лише особи з відповідною кваліфікацією та медичним оглядом. Заборонено допускати до електротехнічних робіт непідготовлених осіб, а також тих, хто не пройшов перевірку знань або інструктаж.

Крім організаційної частини, велике значення мають технічні заходи. Серед них — обов'язкове використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), таких як:

- діелектричні рукавички;
- захисне взуття та гумові килимки;
- ізольовані інструменти для монтажу;
- захисні окуляри та спецодяг при роботі з паяльним обладнанням;
- антистатичні браслети під час роботи з електронікою.

Також обов'язковим є застосування технічних засобів захисту, зокрема:

- використання пристроїв захисного відключення (ПЗВ) на 10–30 мА для захисту від витоків струму;
- наявність захисного заземлення для всіх корпусів електроприладів;
- підключення обладнання через автоматичні вимикачі з тепловим і електромагнітним захистом;
- встановлення наочних знаків безпеки: «Під напругою», «Не вмикати — працюють люди», «Заземлено» тощо;
- аварійне відключення або кнопки екстреного знеструмлення в межах швидкого доступу до електрощитів або лабораторних установок.

Важливим аспектом є також раціональна організація робочого простору та електрообладнання. Робочі місця повинні бути укомплектовані відповідно до гігієнічних вимог та правил ергономіки: відстань між елементами обладнання має забезпечувати вільний доступ до вузлів і приладів, виключати перетинання силових та слаботочних ліній, мінімізувати ймовірність контакту з відкритими струмоведучими частинами. Робоча поверхня повинна бути виготовлена з діелектричних матеріалів або ізольована, а всі кабелі — розміщені у спеціальних пластикових коробах, що унеможлиблює випадкове зачеплення чи пошкодження.

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливу увагу варто приділити документальному супроводу технічної експлуатації електрообладнання. Повинні вестися:

- журнал обліку стану електрообладнання;
- журнал огляду заземлення та ПЗВ;
- акти перевірки електробезпеки;
- протоколи вимірювання опору ізоляції.

Контроль за виконанням цих заходів покладається на відповідальну особу з електрогосподарства, яка має не менше IV групи допуску та регулярно проходить перевірку знань. Крім того, працівники зобов'язані проходити періодичні медичні огляди відповідно до умов праці (особливо ті, хто працює з високочастотним випромінюванням, паяльними станціями, обладнанням з імпульсними джерелами живлення).

Окремо слід зазначити важливість попередження пожеж та вибухів під час роботи з електричними приладами. Усі приміщення, де виконуються електромонтажні або налагоджувальні роботи, мають бути обладнані первинними засобами пожежогасіння (вогнегасники ВП-5 або ВВК-2), розміщеними на видимому та доступному місці. Також необхідно мати аптечку першої допомоги, плакат або пам'ятку з алгоритмом дій у разі ураження електричним струмом та схему евакуації на випадок надзвичайної ситуації.

З практичного боку, безпечна експлуатація обладнання в умовах лабораторії або офісного середовища з низьковольтними пристроями (ESP32, датчики, блоки живлення, монтажні плати тощо) передбачає:

- включення через стабілізовані блоки живлення;
- контроль рівня напруги та струму в режимі реального часу;
- уникнення перегріву компонентів (встановлення радіаторів, вентиляції);
- недопущення контакту рук із проводами під час живлення схеми.

Підсумовуючи, слід наголосити, що ефективне забезпечення безпеки при роботі з електричним обладнанням базується на поєднанні трьох ключових факторів: професійної підготовки персоналу, наявності та правильного використання технічних засобів захисту, а також на чіткій і відповідальній

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

організації технологічного процесу. Комплексне виконання організаційних заходів не лише дозволяє запобігти аваріям та травматизму, а й створює умови для безперервної, ефективної та безпечної роботи всієї системи.

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході виконання даної кваліфікаційної роботи було розроблено ефективну систему контролю електроспоживання з використанням мікроконтролера ESP32 та датчика PZEM-004T v3. Реалізовано програмну логіку, яка забезпечує стабільне зчитування електричних параметрів (напруга, струм, потужність, енергія, частота, коефіцієнт потужності) та їх автоматичну передачу на веб-сервер для подальшого збереження та візуалізації.

Було створено зручний веб-інтерфейс, що дозволяє користувачу в реальному часі переглядати поточні показники, аналізувати історичні дані, будувати графіки, а також керувати реле як у ручному режимі, так і автоматично при перевищенні встановленого порогу потужності.

У межах проекту реалізовано механізм перевірки функціонування системи. Це забезпечує гнучкість при налагодженні та підвищує надійність роботи пристрою в реальних умовах.

Окрема увага приділена питанням безпеки життєдіяльності. У проекті розроблено заходи щодо організації освітлення на робочому місці та захисту при роботі з електрообладнанням.

У рамках економічного розділу було оцінено витрати на реалізацію проекту, виконано поетапне планування розробки та розраховано термін окупності. Згідно з отриманими результатами, термін окупності становить 1,79 року, що підтверджує економічну доцільність впровадження даної системи.

У процесі розробки створено низку схем, які відображають різні аспекти проекту:

- Електрична структурна схема;
- Алгоритм роботи системи;
- Електрична принципова схема;
- Економіко-технічні показники;
- Плакат вигляду основної Web-сторінки.
- Плакат вигляду Web-сторінки “Історія”.

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лічильник вихідної потужності Ахасам VA079EUBL [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://rozetka.com.ua/ua/398310255/p398310255/>
2. Shelly Pro EM-50 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://kb.shelly.cloud/knowledge-base/shelly-pro-em-50>
3. ESP32 документація [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
4. Вимірювання сили струму датчиком [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://arduino.ua/art65-izmerenie-sili-toka-datchikom-sct-013-030>
5. Методичні вказівки до виконання дипломної роботи по напрямку: «Розробка цифрових електронних пристроїв або удосконалення існуючих» для спеціальності №5.05010201 «Обслуговування комп'ютерних систем та мереж» Недошитко А. Г. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://eguru.tk.te.ua/pluginfile.php/4442/mod_resource/content/1/diplom_micro.pdf
6. Як використовувати релейний модуль з Arduino [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.geya.net/ru/how-to-use-a-relay-modulewith-arduino/>
7. . Open Server документація [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ospanel.io/docs/>
8. PHP Підручник [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://w3schoolsua.github.io/php/index.html#gsc.tab=0>
9. ДСТУ EN 12464-1:2016 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.scribd.com/document/660536677/Дсту-en-12464-1-2016-Свіло-Та-Освітленость>

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Панель світлодіодна Maxus assistance [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://maxus.com.ua/panel-svitlodiodna-maxus-assistance-led-panel-standard-36w-80ra-595x595-4k-5k-6k-mapn-std-36w-3cct.html>
11. Вимоги до освітлення робочих місць [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://5watt.ua/uk/blog/statti/vimogi-do-osvitlennya-robochikh-misc?srsltid=AfmBOopzq_SQbLNj73BGgIYBkvN-i1bzqevXeb2dyCKDCwkZncx_b1or
12. Освітлення робочого місця в офісі [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://leoceramika.com/news/story/osvitlennya-robochogo-miscya-v-ofisi-yak-zabezpechiti-komfortni-umovi-ta-efektivnist-pracivnikov_911

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

Додаток А. Код модуля ESP32

```
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>
#include <PZEM004Tv30.h>
#include <ArduinoJson.h>

// Wi-Fi
const char* ssid = "...";
const char* password = "...";

// Сервери
const char* dataServer = "...";
const char* relayStatusUrl = "...";
const char* apiKey = "...";

// UART1: RX = GPIO16, TX = GPIO17
HardwareSerial pzemSerial(1);
PZEM004Tv30 pzem(pzemSerial, 16, 17);

// GPIO для керування реле
#define RELAY1_PIN 25
#define RELAY2_PIN 26

unsigned long lastDataSent = 0;
unsigned long lastRelayCheck = 0;
const unsigned long dataInterval = 10000;
const unsigned long relayInterval = 1000;
```

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    delay(500);
    pzemSerial.begin(9600, SERIAL_8N1, 16, 17);

    // Ініціалізація пінів з вимкненим реле (HIGH = неактивно для
active LOW)
    digitalWrite(RELAY1_PIN, HIGH);
    digitalWrite(RELAY2_PIN, HIGH);
    pinMode(RELAY1_PIN, OUTPUT);
    pinMode(RELAY2_PIN, OUTPUT);

    WiFi.begin(ssid, password);
    Serial.print("Підключення до Wi-Fi");
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(500);
        Serial.print(".");
    }
    Serial.println("\nWi-Fi підключено! IP: " +
WiFi.localIP().toString());
}

void loop() {
    unsigned long now = millis();

    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
        if (now - lastDataSent >= dataInterval) {
            lastDataSent = now;
            sendSensorData();
        }
    }
}

```

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

    }

    if (now - lastRelayCheck >= relayInterval) {
        lastRelayCheck = now;
        updateRelayStates();
    }
}

delay(100);
}

void sendSensorData() {
    float voltage = pzem.voltage();
    float current = pzem.current();
    float power = pzem.power();
    float energy = pzem.energy();
    float frequency = pzem.frequency();
    float pf = pzem.pf();

    if (isnan(voltage) || isnan(current) || isnan(power) ||
        isnan(energy) || isnan(frequency) || isnan(pf)) {
        Serial.println(" Помилка зчитування з PZEM.");
        return;
    }

    HTTPClient http;
    http.begin(dataServer);
    http.addHeader("Content-Type",          "application/x-www-form-
urlencoded");

```

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```
String postData = "api_key=" + String(apiKey) +
    "&voltage=" + String(voltage) +
    "&current=" + String(current) +
    "&power=" + String(power) +
    "&energy=" + String(energy) +
    "&frequency=" + String(frequency) +
    "&power_factor=" + String(pf);
```

```
int httpCode = http.POST(postData);
Serial.print(" POST статус: ");
Serial.println(httpCode);
```

```
if (httpCode > 0) {
    Serial.println(" Відповідь сервера: " + http.getString());
}
```

```
http.end();
}
```

```
void updateRelayStates() {
    HTTPClient http;
    http.begin(relayStatusUrl);
    int httpCode = http.GET();

    if (httpCode != 200) {
        Serial.println(" Помилка при отриманні статусу реле.");
        http.end();
        return;
    }
}
```

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

String payload = http.getString();
http.end();

// Парсимо JSON
const size_t capacity = JSON_ARRAY_SIZE(2) +
2*JSON_OBJECT_SIZE(2) + 100;
DynamicJsonDocument doc(capacity);
DeserializationError err = deserializeJson(doc, payload);

if (err) {
    Serial.println(" JSON помилка: " + String(err.c_str()));
    return;
}

for (JsonObject relay : doc.as<JsonArray>()) {
    int id = relay["id"];
    int status = relay["status"];

    // Інверсна логіка для активного LOW реле
    if (id == 1) {
        digitalWrite(RELAY1_PIN, status ? LOW : HIGH); // ON = LOW
    } else if (id == 2) {
        digitalWrite(RELAY2_PIN, status ? LOW : HIGH);
    }
}

Serial.println(" Стан реле оновлено.");
}

```

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток Б. Post-код серверної сторони

```
<?php
// Конфігурація з'єднання
$DB_HOST = '...'; // IP MySQL-сервера
$DB_USER = '...';
$DB_PASS = '...';
$DB_NAME = '...';
$API_KEY = '...'; // ключ, що використовується на ESP32

// 1. Перевірка методу
if ($_SERVER["REQUEST_METHOD"] !== "POST") {
    http_response_code(405);
    exit("Method Not Allowed");
}

// 2. Перевірка API-ключа
$api_key = $_POST['api_key'] ?? "";
if ($api_key !== $API_KEY) {
    http_response_code(403);
    exit("Forbidden: Invalid API key");
}

// 3. Отримання та валідація параметрів
$expected = ['voltage', 'current', 'power', 'energy', 'frequency',
'power_factor'];
$data = [];
foreach ($expected as $key) {
    if (!isset($_POST[$key]) || !is_numeric($_POST[$key])) {
        http_response_code(400);
    }
}
```

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

        exit("Bad Request: Missing or invalid parameter '$key'");
    }
    $data[$key] = (float) $_POST[$key];
}

// 4. Підключення до БД
$mysqli = new mysqli($DB_HOST, $DB_USER, $DB_PASS,
$DB_NAME);
if ($mysqli->connect_error) {
    http_response_code(500);
    exit("DB Connection failed: " . $mysqli->connect_error);
}

// 5. Підготовка та виконання SQL
$stmt = $mysqli->prepare("
    INSERT INTO readings (voltage, current, power, energy, frequency,
power_factor)
    VALUES (?, ?, ?, ?, ?, ?)
");

$stmt->bind_param(
    "ddddd",
    $data['voltage'],
    $data['current'],
    $data['power'],
    $data['energy'],
    $data['frequency'],
    $data['power_factor']
);

```

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

if (!$stmt->execute()) {
    http_response_code(500);
    exit("DB Error: " . $stmt->error);
}

$stmt->close();
$mysqli->close();

// 6. Успішна відповідь
echo "OK";

```

					2025.КРБ.123.602.13.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поз. познач.		Найменування			Кіл.	Примітка		
		Wi-Fi Мікроконтролер				.		
DM1		ESP32-WROOM-32			1			
		Реле						
DD1		Модуль реле HL-52S - виробник Songle			1			
		Перетворювачі рівнів						
DD2		4-канальний перетворювач логічних рівнів			1			
		Датчики						
DD3		PZEM-004T V3 – виробник Peacefair			1			
		Роз'єм						
XS1-2		PLS-40 (KLS1-207-1-40-S)			2			