

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

МЕЛЬКО Іванна Мирославівна

**Розробка системи автоматизованого керування
електричними зарядними станціями для електромобілів/
Development of an automated control system for electric
vehicle charging stations**

спеціальність: 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

освітньо-професійна програма - Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології

Кваліфікаційна робота

Виконала студентка групи АКІТ -
41
І.М. Мелько

Науковий керівник
к.т.н., О.М.Заставний

Кваліфікаційну роботу допущено
до захисту:

«_____» _____ 2026 р.

Завідувач кафедри

_____ А.І.Сегін

ТЕРНОПІЛЬ – 2026

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"

Спеціальність: 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри СКС

_____ А.І.Сегін
“ _____ ” _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

МЕЛЬКО Іванни Мирославівни

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи

Розробка системи автоматизованого керування електричними зарядними станціями для електромобілів/ Development of an automated control system for electric vehicle charging stations

_____ керівник роботи к.т.н., Заставний О.М.

затверджені наказом по університету від 1 грудня 2025р №894

2. Строк подання студентом закінченої випускної кваліфікаційної роботи:
25 травня 2026р.

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи:

1. Структура та технічні характеристики електричних зарядних станцій для електромобілів.

2. Сенсори, комутаційна апаратура та виконавчі механізми в системах зарядки.

3. Програмовані логічні контролери (ПЛК), мережеві протоколи (наприклад, OPC) та засоби людино-машинних інтерфейсів (HMI).

4. Основні питання, які потрібно розробити:

1. Аналіз сучасних систем керування та моніторингу електричних зарядних станцій.

2. Розроблення структурної та функціональної схем системи автоматизованого керування зарядною станцією.

3. Розроблення програмного забезпечення для ПЛК та людино-машинного інтерфейсу (HMI) керування процесом зарядки.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі:

1. Структурна схема системи автоматизованого керування зарядною станцією.
2. Функціональна схема системи керування зарядною станцією.
3. Блок-схема алгоритму роботи контролера системи керування зарядною станцією.

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Заставний О.М.		
2	Заставний О.М.		
3	Заставний О.М.		

7. Дата видачі завдання 01 грудня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючих систем керування та моніторингу зарядних станцій	01.12.2025р. – 15.01.2026р.	
2	Розроблення структурної та функціональної схем системи керування	16.01.2026р. – 15.03.2026р.	
3	Розроблення програмного забезпечення для ПЛК та НМІ інтерфейсу	16.03.2026р. – 30.04.2026р.	
4.	Остаточне оформлення та подача кваліфікаційної роботи на перевірку щодо плагіату	1.05.2026р. – 25.05.2026р.	

Студент

(підпис)

Мелько І.М.

Керівник роботи

(підпис)

к.т.н., Заставний О.М.

АНОТАЦІЯ

Мелько І.М. Розробка системи автоматизованого керування електричними зарядними станціями для електромобілів. – Рукопис.

Дослідження на здобуття ступеня бакалавра за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна програма. – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2026.

У роботі представлено комплексний аналіз сучасних автоматизованих систем керування зарядною інфраструктурою для електромобілів. Досліджено особливості функціонування зарядних хабів у концепції Smart Grid, вимоги до протоколів передачі даних (OCPP, MQTT), а також принципи проектування багатопортових систем змінного струму. Розглянуто архітектурні рішення силових кіл та методи цифрової взаємодії з інтелектуальними лічильниками електроенергії.

На основі проведеного аналізу сформульовано технічне завдання та розроблено програмне забезпечення для промислового контролера (PLC) автоматизованої системи керування чотирма зарядними станціями. У процесі проектування реалізовано алгоритм динамічного балансування навантаження (Dynamic Load Balancing) мовою Structured Text (ST) у середовищі CODESYS V3.5. Це забезпечує автоматичне регулювання струму заряджання для кожного транспортного засобу залежно від поточного ліміту ввідної потужності будівлі, запобігаючи перевантаженню електромережі.

Інтерактивна HMI-візуалізація (WebVisu) забезпечує багаторівневий моніторинг стану системи: від контролю температури силових модулів до формування фінансової та екологічної звітності щодо споживання електроенергії та обсягів уникнених викидів CO₂. Запропоноване рішення характеризується високою масштабованістю, гнучкістю налаштування та повною готовністю до впровадження на об'єктах комерційної зарядної інфраструктури.

Ключові слова: зарядна станція, електромобіль, автоматизація, PLC WAGO, CODESYS, динамічне балансування потужності, HMI-візуалізація, енергоефективність.

ANNOTATION

Melko I.M. Development of an automated control system for electric vehicle charging stations. – Manuscript.

Research for the degree of Bachelor of Science in the specialty 151 “Automation and Computer-Integrated Technologies”, educational and professional program. – “Automation and Computer-Integrated Technologies”. West Ukrainian National University, Ternopil, 2026.

This work presents a comprehensive analysis of modern automated control systems for charging infrastructure for electric vehicles. It examines the operational characteristics of charging hubs within the Smart Grid concept, requirements for data transmission protocols (OCPP, MQTT), and the principles of designing multi-port AC systems. Architectural solutions for power circuits and methods of digital interaction with smart energy meters are considered.

Based on the analysis, technical specifications were formulated and software was designed for the industrial controller (PLC) of the automatic control system for four charging stations. During the design process, a Dynamic Load Balancing algorithm was implemented using the Structured Text (ST) language in the CODESYS V3.5 environment. This ensures automatic adjustment of the charging current for each vehicle depending on the current building input limit, preventing network overload.

The interactive HMI visualization (WebVisu) provides multi-level monitoring of the system's status: from temperature control of power units to financial and environmental reporting on energy consumption and CO₂ emissions avoided. The proposed solution is characterized by high scalability, flexible configuration, and full readiness for implementation at commercial charging infrastructure sites.

Keywords: charging station, electric vehicle, automation, WAGO PLC, CODESYS, dynamic power balancing, HMI visualization, energy efficiency.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМИ ЗАРЯДНИМИ СТАНЦІЯМИ.....	10
1.1 Аналіз систем керування електричними зарядними станціями для електромобілів.....	10
1.2. Класифікація ЕЗС за призначенням та технології автоматизованого керування.....	13
1.3. Апаратно-програмні засоби автоматизації сучасних ЕЗС	16
1.4. Порівняльний аналіз сучасних технічних рішень	18
1.5. Постановка задачі на розробку системи	21
2.РОЗРОБЛЕННЯ АРХІТЕКТУРИ ТА АЛГОРИТМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ	23
2.1. Структурна схема системи автоматизованого керування (САК)	23
2.2. Обґрунтування вибору та технічні характеристики обладнання.....	26
2.3. Функціональна схема системи автоматизованого керування зарядною станцією.....	35
2.4 Алгоритм роботи системи автоматизованого керування зарядною станцією	39
3.РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМИ ЗАРЯДНИМИ СТАНЦІЯМИ.....	44
3 1. Технічне забезпечення системи керування та конфігурування середовища.....	44
3.2. Розроблення програмного забезпечення системи керування.....	51
3.3. Розроблення людино-машинного інтерфейсу (НМІ)	58
ВИСНОВКИ.....	71
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	73
ДОДАТКИ.....	77

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ			
Розроб	Мелько І.М.				Розробка системи автоматизованого керування електричними зарядними станціями для електромобілів/ Development of an automated control system for electric vehicle charging stations	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Заставний О.							
Консульт	Заставний О.					ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41		
Н.Контроль	Заставний О.							
Затвердив	Сегін А.І.							

ВСТУП

Актуальність роботи. У сучасному світі автомобільна галузь переживає період глобальних змін, пов'язаних із переходом на електротранспорт. Це зумовлено як екологічними, так і економічними чинниками. Стрімке зростання кількості автомобілів із двигунами внутрішнього згоряння призвело до значного збільшення викидів вуглекислого газу та інших шкідливих речовин, що негативно впливають на стан навколишнього середовища та здоров'я людей. [15], [16]. Саме тому більшість розвинених країн світу поступово переходять до концепції «зеленої» енергетики та транспорту, де ключову роль відіграють електромобілі.

В Україні також спостерігається стрімке зростання популярності електромобілів, оскільки їхня вартість експлуатації є нижчою, ніж у традиційних автомобілів. Зростання кількості електрокарів обумовлює необхідність розвитку відповідної інфраструктури — електричних зарядних станцій (ЕЗС). На сьогодні основною проблемою є обмежена кількість зарядних точок, що змушує власників витратити значну кількість часу на очікування та сам процес зарядки. Якщо ще 10–15 років тому електромобілі були екзотикою, то сьогодні провідні світові виробники (Tesla, BMW, Hyundai) активно розширюють модельний ряд електрокарів.

Проте масове впровадження ЕЗС створює нові виклики для енергетичних систем. На відміну від традиційної заправки паливом, яка триває кілька хвилин, заряджання авто може тривати від 30 хвилин до кількох годин. Це призводить до суттєвого зростання навантаження на мережу, особливо у години «пік». Саме тому сучасні зарядні станції мають бути не просто точками живлення, а інтелектуальними вузлами системи Smart Grid [18], здатними динамічно регулювати потужність та балансувати навантаження між кількома споживачами. Впровадження автоматизованих систем керування дозволяє підвищити ефективність роботи, забезпечити безпеку процесу та зробити інфраструктуру масштабованою і зручною для користувачів.

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Розвиток таких систем неможливий без використання сучасних засобів автоматизації, зокрема програмованих логічних контролерів (ПЛК), які забезпечують надійність та гнучкість алгоритмів. Таким чином, тема роботи, присвячена розробці системи автоматизованого керування зарядними станціями, є надзвичайно актуальною для створення стійкої енергетично-транспортної екосистеми.

Мета роботи. Метою дипломної роботи є розробка та впровадження інтелектуальної автоматизованої системи керування для багатопортової електричної зарядної станції. Система повинна забезпечувати стабільний процес зарядки, динамічно розподіляти потужність між автомобілями в умовах обмежених ресурсів мережі та гарантувати високий рівень безпеки обладнання і користувачів.

Завдання роботи. Для досягнення мети необхідно вирішити наступний комплекс технічних та аналітичних завдань:

- провести аналіз предметної області та класифікацію існуючих типів ЕЗС;
- дослідити сучасні засоби автоматизації, включаючи сенсори, контролери та протоколи обміну даними, такі як OCPP;
- виконати порівняльний аналіз рішень від провідних світових та вітчизняних виробників;
- розробити структурну та функціональну схеми системи;
- обґрунтувати вибір апаратного забезпечення (контролерів, датчиків струму та напруги, захисної апаратури);
- розробити алгоритм роботи контролера, що включає функції ідентифікації користувача, вибору режиму зарядки та обробки аварійних ситуацій;
- реалізувати людино-машинний інтерфейс (HMI) для зручного локального та віддаленого моніторингу параметрів системи.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є процеси автоматизованого керування заряджанням електромобілів на багатопортових станціях у межах енергетичної інфраструктури «розумного міста».

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Предмет дослідження. Предметом дослідження є технічна архітектура, програмні алгоритми динамічного балансування потужності, методи збору та візуалізації даних у системі керування зарядною станцією.

Методи дослідження. У роботі використано комплекс наукових методів:

- аналіз літератури та технічної документації для вивчення стандартів заряджання;
- метод порівняння для оцінки переваг та недоліків існуючих систем керування;
- системний аналіз для проектування архітектури програмно-апаратного комплексу;
- моделювання та програмування у середовищі CODESYS для розробки логіки керування та HMI-інтерфейсу.

Наукова новизна одержаних результатів. Полягає у вдосконаленні алгоритмів динамічного розподілу потужності між портами зарядки, що дозволяє уникнути перевантаження мережі без повного відключення споживачів. Також запропоновано інтегрований підхід до екологічного моніторингу, де в реальному часі розраховується об'єм збережених викидів CO₂.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблена система може бути використана як база для створення комерційних або приватних зарядних комплексів. Вона забезпечує зниження витрат на експлуатацію за рахунок оптимізації споживання енергії, підвищує надійність мережі та покращує користувацький досвід через сучасні засоби візуалізації. Результати роботи можуть бути впроваджені на підприємствах, що займаються експлуатацією ЕЗС, або при модернізації існуючих мереж.

Апробація. Основні результати та технічні рішення були представлені на проблемно-науковій конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ-2026)

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1. АНАЛІЗ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМИ ЗАРЯДНИМИ СТАНЦІЯМИ

1.1 Аналіз систем керування електричними зарядними станціями для електромобілів

У сучасному світі автомобільна галузь переживає період глобальних змін, пов'язаних із переходом на електротранспорт. Це зумовлено як екологічними, так і економічними чинниками [16]. Стрімке зростання кількості автомобілів із двигунами внутрішнього згоряння призвело до значного збільшення викидів вуглекислого газу та інших шкідливих речовин, що негативно впливають на стан навколишнього середовища та здоров'я людей [20]. Саме тому більшість розвинених країн світу поступово переходять до концепції «зеленої» енергетики та транспорту, де ключову роль відіграють електромобілі. В Україні також спостерігається стрімке зростання популярності електромобілів, оскільки їхня вартість є нижчою, ніж у традиційних автомобілів із двигунами внутрішнього згоряння. Це свідчить про поступове формування нової транспортної культури, орієнтованої на екологічність та економічну доцільність.

Зростання кількості електрокарів обумовлює необхідність розвитку відповідної інфраструктури — електричних зарядних станцій (ЕЗС). На сьогодні, щоб зарядити електромобіль, потрібно витратити значну кількість часу через обмежену кількість зарядних станцій.

Динаміка зростання цього ринку, що представлена на рис. 1.1, підтверджує стрімке збільшення попиту на альтернативні види транспорту. Якщо ще 10–15 років тому електромобілі вважалися нішевим видом транспорту і сприймалися переважно як експериментальні або «екзотичні» рішення для ентузіастів, то сьогодні більшість провідних світових виробників — Tesla, Volkswagen, BMW, Hyundai, Nissan, Mercedes-Benz та інші — активно розширюють модельний ряд електрокарів.

Одночасно уряди країн ЄС, США та Китаю ухвалюють стратегії поступової відмови від використання автомобілів на традиційному паливі.

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Зокрема, Європейський Союз прийняв «Зелений курс» (Green Deal), що передбачає скорочення викидів CO₂ у транспортному секторі на 90% до 2050 року.

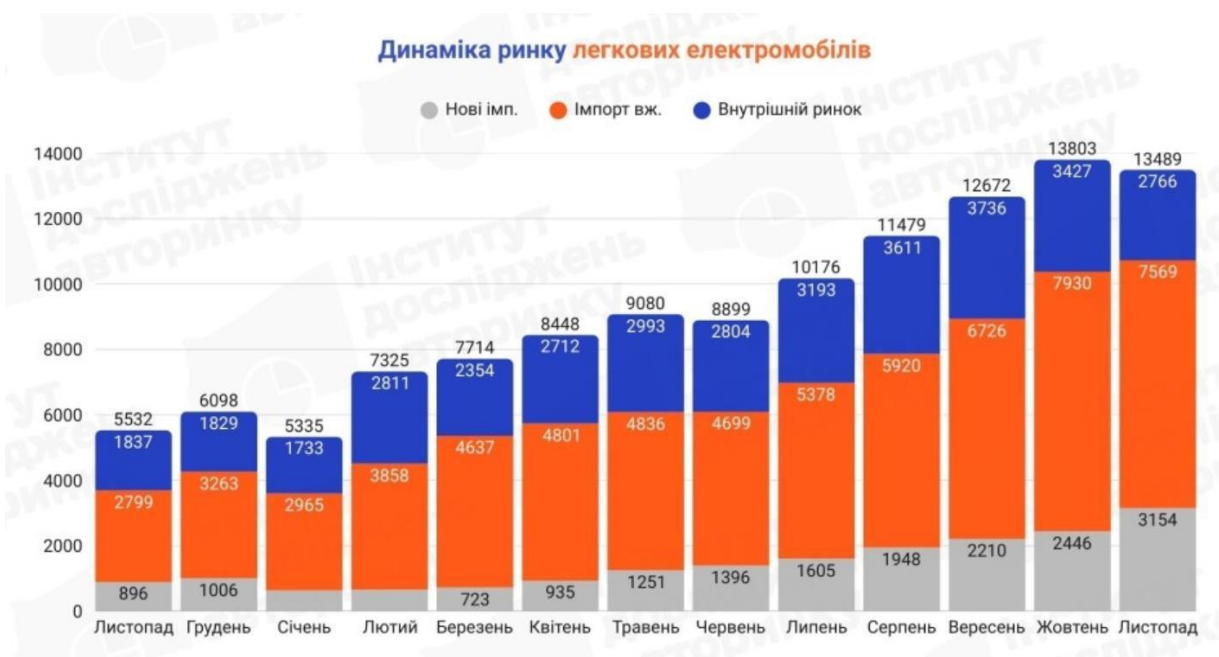


Рисунок 1.1 . Динаміка зростання ринку електромобілів

Активний розвиток електромобільного ринку супроводжується пропорційним зростанням попиту на зарядну інфраструктуру. На відміну від заправки традиційним паливом, яка триває кілька хвилин, заряджання електромобіля може займати від 30 хвилин до кількох годин. Загальна структура такої інфраструктури, що включає взаємодію між автомобілем, станцією та хмарною платформою, наведена на рис. 1.2. Це створює нові виклики у сфері організації дорожньої інфраструктури та управління енергетичними системами



Рисунок 1.2. Загальна структура інфраструктури електричних зарядних станцій

Ключовою проблемою залишається забезпечення доступності зарядних точок. У великих містах Європи та США вже сформована достатня кількість публічних зарядних станцій, однак у країнах, що розвиваються, кількість ЕЗС часто не відповідає темпам зростання кількості електромобілів [15]. У результаті виникають черги на зарядку, нерівномірне навантаження на енергомережі та потреба в оптимізації використання наявних ресурсів.

Ще одним важливим аспектом є питання енергетичного балансу. Масове використання електромобілів призводить до суттєвого зростання навантаження на енергосистему, особливо у години «пікових» навантажень. Саме тому сучасні зарядні станції мають бути не лише точками живлення, але й інтелектуальними вузлами системи Smart Grid [13], здатними динамічно регулювати потужність, балансувати навантаження між кількома споживачами та взаємодіяти з відновлюваними джерелами енергії.

Важливим аспектом аналізу предметної області є розгляд стандартів інтерфейсів підключення, оскільки з точки зору автоматизації зарядний роз'єм — це не лише силова лінія, а вузол обміну даними між ПЛК станції та системою керування батареєю (BMS) автомобіля. Кількість сигнальних пінів та тип протоколу визначають можливості динамічного керування потужністю.

Основними технічними стандартами, що використовуються в сучасних системах, є:

- Type 2 (Mennekes / IEC 62196-2): основний європейський стандарт для AC-заряджання. Крім силових ліній, містить два сигнальні піни: CP (Control Pilot), що використовує ШІМ-сигнал для встановлення ліміту струму, та PP (Proximity Pilot) для контролю підключення кабелю.
- CCS Combo (Combined Charging System): розширення стандарту Type 2 для швидкої зарядки постійним струмом (DC). Тут через пін CP реалізується високочастотний обмін даними за протоколом PLC (Power Line Communication), що дозволяє контролеру станції отримувати дані про стан заряду (SoC) та температуру батареї авто.
- CHAdeMO: японський стандарт швидкої зарядки DC, технічною базою якого є окрема фізична шина CAN (Controller Area Network). Це забезпечує високу швидкість реакції системи захисту — станція може миттєво припинити подачу енергії за командою від автомобіля.
- GB/T: китайський стандарт, який також базується на протоколі CAN, але має відмінну від інших логіку ініціалізації («рукоостискання») між контролером станції та автомобілем.

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 1- Сигнальні інтерфейси та протоколи зарядних роз'ємів

<i>Стандарт роз'єму</i>	<i>Тип зв'язку</i>	<i>Основний протокол</i>	<i>Роль у системі автоматизації</i>
<u>Type 2</u>	PWM (ШИМ)	IEC 61851-1	Генерація пілот-сигналу (CP) для регулювання ліміту струму (AC)
<u>CCS</u> <u>Combo</u>	PLC	DIN 70121 / ISO 15118	Високочастотна передача даних про стан батареї (SoC) та параметрів DC-зарядки
<u>CHAdeMO</u>	CAN	CAN-bus	Двосторонній обмін даними для повного моніторингу та миттєвого захисту батареї
<u>GB/T</u>	CAN	GB/T 27930	Реалізація алгоритму «рукостискання» та керування процесом за китайським стандартом

Таким чином, розвиток електротранспорту тісно пов'язаний із впровадженням автоматизованих систем керування зарядними станціями, які дозволяють підвищити ефективність роботи, забезпечити безпеку процесу зарядки та зробити інфраструктуру масштабованою і зручною для користувачів. У перспективі це відкриває шлях до створення стійкої енергетично-транспортної екосистеми, що поєднує інновації, екологічність та економічну доцільність.

1.2. Класифікація ЕЗС за призначенням та технології автоматизованого керування

Електричні зарядні станції (ЕЗС) на сучасному етапі розвитку є складними електротехнічними комплексами, що інтегрують у собі силову енергетику, прецизійні засоби вимірювальної техніки та інтелектуальні мікропроцесорні

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

системи керування. Відповідно до міжнародного стандарту IEC 61851, автоматизація процесу заряджання базується на безперервному обміні даними між контролером станції та бортовим зарядним пристроєм автомобіля.

Залежно від режимів роботи (*Charging Modes*), потужності та архітектури систем автоматизації, ЕЗС класифікують за трьома стратегічними напрямками, кожен з яких потребує специфічного підходу до проектування АСУ [1].

Побутові та індивідуальні системи змінного струму (AC)

Цей сегмент охоплює пристрої малої та середньої потужності (від 3,7 кВт до 22 кВт), що працюють у режимах Mode 2 та Mode 3.

Автоматизація базується на генерації ШІМ-сигналу (*Pulse Width Modulation*) частотою 1 кГц на лінії Control Pilot (CP). ПЛК системи керування змінює шпаристість сигналу, що є командою для автомобіля щодо максимально допустимого споживання струму. Основним завданням системи є моніторинг цілісності кола заземлення та виявлення диференційних струмів витоку. Складні обчислювальні алгоритми тут зазвичай замінюються на жорстку логіку безпеки, проте в сучасних реалізаціях додається можливість віддаленого вмикання за розкладом для оптимізації споживання у «нічний тариф».

Комерційні інтелектуальні зарядні комплекси

Комерційні станції (22–50 кВт) встановлюються на паркінгах ТРЦ, бізнес-центрів та у межах «розумних» житлових кварталів.

Потребує впровадження складних алгоритмів Dynamic Load Balancing (DLB) [18]. Програмне забезпечення ПЛК повинно в реальному часі аналізувати поточну вільну потужність енергосистеми об'єкта (отримуючи дані від ввідних смарт-лічильників) та пропорційно розподіляти її між усіма активними портами. Обов'язковою є програмна підтримка протоколу OCPP (Open Charge Point Protocol). Це дозволяє ПЛК взаємодіяти з хмарними білінговими системами, виконувати авторизацію користувачів через RFID-зчитувачі та передавати дані телеметрії.

Високопотужні станції швидкої зарядки (DC Fast Chargers)

					ДП.АКИТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Станції постійного струму (Mode 4) потужністю від 50 кВт до 350 кВт і вище. ПЛК виконує функцію прямого регулювання вихідних параметрів силових випрямних модулів. Взаємодія з транспортним засобом відбувається через цифрові інтерфейси: шину CAN (для стандарту CHAdeMO) або високочастотну комунікацію за технологією PLC (для стандарту CCS). Система автоматизації включає активне рідинне або повітряне охолодження силових кабелів та модулів, а також прецизійний контроль температури батареї автомобіля через зворотний зв'язок від BMS авто.

Технічні характеристики та сфери застосування різних типів ЕЗС узагальнено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Порівняльна характеристика технічних рішень ЕЗС

Параметр	AC (Normal)	DC Fast Charge	Ultra Fast Charge
Режим зарядки	Mode 3	Mode 4	Mode 4
Тип струму	Змінний (AC)	Постійний (DC)	Постійний (DC)
Потужність	11 – 22 кВт	50 – 150 кВт	150 – 350 кВт
Метод керування	PWM (1 кГц)	CAN Bus / PLC	PLC (ISO 15118)
Сфера застосування	Домашня, офіси	ТРЦ, міські хаби	Траси, магістралі

Багаторівнева структура автоматизації сучасної ЕЗС

Для забезпечення гнучкості та надійності, аналогічно до зразкових систем промислової автоматизації (як у випадку з автономними вагонетками або роботами), сучасна ЕЗС будується за ієрархічною моделлю:

1. Нижній рівень (Sensor & Actuator Layer):

Призначений для збору первинної інформації та безпосереднього виконання команд. Датчики струму на основі ефекту Холла (для точного вимірювання споживання без розриву кола), цифрові смарт-лічильники (наприклад, серії Eastron SDM) для комерційного обліку енергії та платинові терморезистори Pt1000 для захисту силових роз'ємів. Силові контактори, модулі генерації ШІМ, світлодіодна індикація статусів.

2. Середній рівень (Control & Logic Layer):

Базується на використанні промислових ПЛК (наприклад, WAGO Compact Controller 100, що працює на базі Real-Time Linux). Тут реалізується математичне ядро системи:

- Алгоритм Load Balancing (динамічне обмеження струму при зростанні загального навантаження на мережу будівлі);
- Логіка плавного пуску та пріоритезації споживачів;
- Функції самодіагностики та аварійного вимкнення при виявленні витoku струму або перегріву.

3. Верхній рівень (Information & Management Layer):

Представлений людино-машинним інтерфейсом (HMI) та системами мережевої інтеграції. Локальні сенсорні панелі або веб-інтерфейси для відображення поточної напруги, спожитої енергії та вартості сесії. Передача телеметрії через протоколи MQTT та HTTP API до центральних диспетчерських пунктів у концепції Smart City, що дозволяє енергокомпаніям бачити ЕЗС як кероване навантаження в енергосистемі.

Таким чином, сучасна ЕЗС еволюціонувала від простого джерела живлення до складного інтелектуального вузла енергосистеми. Це створює передумови для розробки адаптивних систем автоматизованого керування, що забезпечують стабільність локальних електричних мереж та комфортну взаємодію з користувачем.

1.3. Апаратно-програмні засоби автоматизації сучасних ЕЗС

Сучасні електричні зарядні станції (ЕЗС) представлені складними технічними комплексами, що інтегрують у собі силову електроніку, прецизійні засоби вимірювання та інтелектуальні інтерфейси взаємодії. Автоматизація процесу заряджання базується на синергії сенсорного забезпечення, виконавчих механізмів та керуючих обчислювальних вузлів, що функціонують під управлінням спеціалізованого програмного забезпечення.

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Сенсорне забезпечення та вимірювальні пристрої є фундаментом системи автоматизації, оскільки забезпечують збір первинної інформації про стан енергосистеми та об'єкта зарядки. Для забезпечення метрологічної точності в даній роботі застосовуються інтелектуальні лічильники енергії Eastron SDM120M. На відміну від стандартних приладів обліку, вони підтримують інтерфейс RS-485 та протокол Modbus RTU, що дозволяє ПЛК зчитувати параметри мережі (напругу, струм, частоту) у реальному часі.

Для забезпечення безпеки застосовуються датчики струму на основі ефекту Холла, що гарантують гальванічну розв'язку керуючих ланцюгів від силових. Термометричні сенсори типу Pt1000 здійснюють безперервний моніторинг температури силових ліній та контактних груп, що дозволяє реалізувати алгоритм "Power Derating" — автоматичне зниження потужності при перегріві. Також використовуються контрольні сенсори підключення, які реалізують логіку перевірки коректності фіксації конектора через сигнали CP (Control Pilot) та PP (Proximity Pilot) згідно зі стандартом IEC 61851.

Виконавчі пристрої та силова комутація відповідають за фізичний розподіл енергії. До їх складу входять промислові контактори з високим ресурсом спрацьовування та спеціалізовані контролери керування процесом зарядки, такі як MIDA-EPC. Останні відповідають за генерацію ШІМ-сигналу, що встановлює ліміт струму для бортового зарядного пристрою електромобіля.

Центральною ланкою автоматизації є керуючі обчислювальні вузли. У даній роботі обрано промисловий програмований логічний контролер (ПЛК) WAGO Compact Controller 100.

Порівняльний аналіз технічних рішень наведено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 — Порівняльний аналіз апаратних засобів керування

Критерій	Мікроконтролери (Arduino/ESP)	Спеціалізовані плати EVSE	Промисловий ПЛК (WAGO)
Промислова надійність	Низька	Середня	Висока

Гнучкість алгоритмів	Висока	Обмежена	Висока
Комунікаційні можливості	Потребують розробки	Фіксовані	Вбудовані (Modbus, MQTT, OCPP)
Середовище розробки	C/C++	Пропрієтарне	CODESYS V3.5 (IEC 61131-3)

Використання мови Structured Text (ST) дозволяє реалізувати складні алгоритми Dynamic Load Balancing (DLB) між чотирма портами зарядки. ПЛК забезпечує не лише керування струмом, а й логіку фінансового обліку та екологічного моніторингу через розрахунок збережених викидів CO₂ [2], [11].

Для забезпечення прозорості процесу використовуються людино-машинні інтерфейси (HMI), реалізовані засобами вбудованої візуалізації CODESYS. Це дозволяє оператору або користувачу спостерігати за процесом через веб-інтерфейс у реальному часі. Комунікаційна стійкість системи базується на протоколі OCPP (Open Charge Point Protocol), що забезпечує зв'язок станції з центральними системами керування та мобільними додатками.

Програмне забезпечення, розроблене в межах проєкту, виконує фінальну агрегацію функцій: від точного обліку спожитої енергії до адаптації режимів роботи залежно від поточного ліміту потужності локальної енергомережі, забезпечуючи максимальну ефективність використання наявної інфраструктури.

1.4. Порівняльний аналіз сучасних технічних рішень

Формування розгалуженої мережі електричних зарядних станцій (ЕЗС) виступає фундаментом для глобального переходу на екологічний транспорт. Ефективність систем керування на сучасному етапі оцінюється не лише за силовими показниками, а й за рівнем інтелектуальної автоматизації: здатністю системи в реальному часі адаптуватися до коливань навантаження в мережі, наявністю інтуїтивних HMI-інтерфейсів та підтримкою відкритих комунікаційних протоколів [19].

					ДП.АКТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

У сегменті міжнародних технологічних рішень ключову роль відіграє компанія Tesla зі своєю мережею Supercharger. Їхні станції демонструють високу швидкість заряджання та бездоганну синхронізацію програмного забезпечення з бортовими системами авто. Проте тривала орієнтація на закриті стандарти та обмежена підтримка протоколу OCPP у початкових модифікаціях суттєво ускладнюють інтеграцію такого обладнання в загальні мультибрендові мережі керування.

Рішення від компаній ABB (серія Terra) та Siemens (VersiCharge) вважаються еталонами промислової надійності. Вони підтримують основні світові стандарти (CCS, CHAdeMO) та легко інтегруються в концепцію «розумних мереж» (Smart Grid). Однак впровадження таких систем потребує значних капіталовкладень, а пропрієтарний характер їхнього програмного забезпечення (так званий «Black Box») унеможливорює внесення користувацьких змін у базові алгоритми розподілу енергії або інтеграцію специфічного периферійного обладнання.

Український сегмент ринку, представлений компаніями Tokka, Go To-U та AutoEnterprise, вирізняється високим рівнем адаптивності до специфічних параметрів локальних електромереж. Вітчизняні розробники активно впроваджують цифрові сервіси бронювання. Водночас більшість локальних пристроїв базується на спеціалізованих контролерах із фіксованою логікою керування. Це обмежує можливості реалізації складних сценаріїв динамічного балансування потужності (Dynamic Load Balancing), які були б доступні для гнучкого налаштування кінцевим системним інтегратором.

Детальна порівняльна характеристика наявних на ринку систем наведена у таблиці 1.4.

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 1.4 - Порівняльна характеристика сучасних технічних рішень ЕЗС

Виробник / Платформа	Потужність	Тип архітектури	Протокол ОСРР	Можливість кастомізації алгоритмів
Tesla Supercharger	до 350 кВт	Закрита (Proprietary)	Обмежено	Відсутня
ABB Terra	50–350 кВт	Промислова	Так	Обмежена вендором
Siemens VersiCharge	7–150 кВт	Промислова	Так	Через SCADA (дорого)
Українські рішення	7–100 кВт	Спеціалізована	Так	Обмежена прошивкою
Система на базі ПЛК (Проект)	Адаптивна	Відкрита (IEC 61131)	Так	Повна (через CODESYS)

Результати проведеного аналізу свідчать про те, що попри насиченість ринку комерційними продуктами, існує гостра потреба у створенні гнучких автоматизованих комплексів на основі відкритих промислових стандартів (ПЛК та середовище CODESYS).

На відміну від комерційних аналогів із закритою архітектурою, використання вільно програмованих логічних контролерів (наприклад, серії WAGO) надає наступні стратегічні переваги:

1. Адаптивність алгоритмів: можливість впровадження власних математичних моделей динамічного розподілу енергії залежно від пріоритетів конкретного об'єкта (наприклад, пріоритетна зарядка для швидкої допомоги або служб доставки).
2. Розширений моніторинг: реалізація додаткових функцій, таких як екологічний аудит із розрахунком об'єму збережених викидів CO₂ та інтеграція з локальними сонячними електростанціями.

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3. Автономність та масштабованість: забезпечення високої ремонтпридатності системи за рахунок використання стандартних промислових компонентів та можливість її модернізації без прив'язки до конкретного вендора.

Це створює необхідне технічне підґрунтя для розробки автоматизованої системи, яка поєднує в собі стійкість промислового обладнання та інтелектуальні методи керування енергетичними ресурсами.

1.5. Постановка задачі на розробку системи

Проведений аналіз сучасних систем керування електричними зарядними станціями показав, що попри значні досягнення у сфері автоматизації, існує низка технічних проблем, які обмежують ефективність використання зарядних комплексів у межах сучасної енергосистеми. Основними критичними недоліками, виявленими під час дослідження, є:

1. Відсутність адаптивного динамічного балансування. Більшість існуючих багатоportових станцій мають фіксований розподіл потужності, що призводить або до перевантаження локальних мереж, або до неефективного простою потужностей, коли один із портів не використовується.
2. Закритість архітектури керування. Використання пропрієтарних контролерів унеможливорює впровадження користувацьких алгоритмів пріоритезації та обмежує гнучкість налаштування логіки захисту під специфічні умови об'єкта.
3. Обмеженість діагностичних даних. Оператори часто позбавлені можливості гнучкого моніторингу внутрішніх параметрів системи (температура контактних груп, миттєві показники якості напруги на кожній фазі) у реальному часі.
4. Слабка інтеграція з концепцією Smart Grid. Відсутність відкритих програмних інтерфейсів не дозволяє оптимізувати енергоспоживання

					ДП.АКИТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

залежно від стану мережі або інтегрувати станцію в єдину міську екосистему керування навантаженням.

Формулювання завдання. З огляду на зазначені проблеми, виникає необхідність розробки інтелектуальної системи автоматизованого керування багатопортовою ЕЗС (на 4 порти) на базі промислового ПЛК WAGO Compact Controller 100.

Система повинна реалізовувати наступний функціонал:

- Динамічне балансування навантаження (Dynamic Load Balancing): розробка алгоритму на мові Structured Text (ST), який в реальному часі перерозподіляє доступний ліміт струму між активними користувачами, базуючись на даних від смарт-лічильників.
- Багаторівнева система захисту: програмно-апаратна реалізація алгоритмів аварійного вимкнення при детекції диференціальних струмів (витоку), перенапруг та термічного перевантаження силових роз'ємів.
- Інтелектуальний HMI-інтерфейс: розробка системи локальної та веб-візуалізації засобами CODESYS Visualization для відображення технічних, фінансових та екологічних показників.
- Комунікаційна стійкість: забезпечення збору даних через протокол Modbus RTU (RS-485) та підтримка віддаленого моніторингу через MQTT/OCPP.
- Розширений аналітичний функціонал: впровадження алгоритму розрахунку екологічного ефекту (збережені викиди CO₂) для підвищення інформативності сервісу.

Мета роботи. Метою дипломної роботи є розробка програмно-апаратної системи автоматизованого керування багатопортовою ЕЗС, яка поєднує сучасні методи інтелектуального управління навантаженням, надійні алгоритми промислового захисту та розширені можливості моніторингу параметрів у реальному часі.

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2. РОЗРОБЛЕННЯ АРХІТЕКТУРИ ТА АЛГОРИТМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ

2.1. Структурна схема системи автоматизованого керування (САК)

Під час розроблення інтелектуальної системи керування електричною зарядною станцією (ЕЗС) було прийнято рішення про побудову багаторівневої архітектури, яка чітко розмежовує інформаційні, комунікаційні та силові потоки. Це дозволяє забезпечити високу завадостійкість керуючої електроніки, мінімізувати вплив високочастотних електромагнітних завад на цифрові вузли та підвищити загальний рівень експлуатаційної надійності обладнання[1].

Структура САК побудована за ієрархічним децентралізованим принципом, що відповідає сучасним вимогам до промислової автоматизації та концепції Internet of Things (IoT). Ядром системи є програмований логічний контролер (ПЛК) [2], який функціонує в режимі головного пристрою (Master) та координує роботу всіх периферійних модулів. Загальна організація рівнів керування, топологія мережі та взаємозв'язки між компонентами представлені на рисунку 2.1.

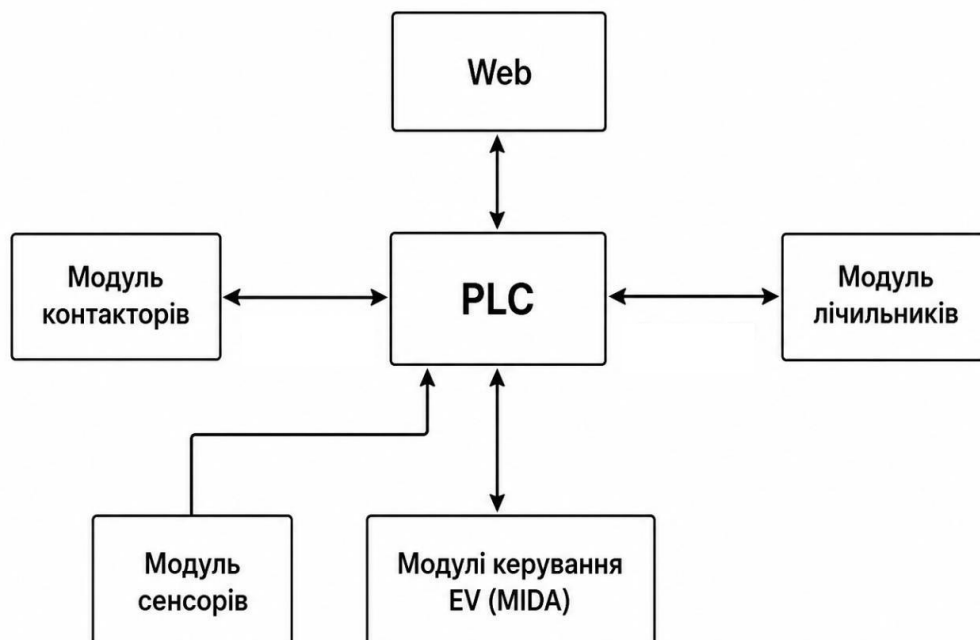


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи керування зарядкою

Як показано на рисунку 2.1, архітектура системи включає три основні рівні взаємодії, пов'язані між собою через сучасні промислові та мережеві інтерфейси:

1. Верхній (диспетчерський та клієнтський) рівень: Представлений віддаленим OCPP Сервером (відповідно до протоколу Open Charge Point Protocol) [3]. Він забезпечує дистанційний моніторинг стану станції, авторизацію користувачів, білінг сесій зарядки та збір статистичних даних.
2. Середній (апаратно-програмний) рівень: Центральним елементом є програмований логічний контролер (ПЛК), який реалізує основні алгоритми логічного керування, обробку сигналів безпеки та захисту, а також координує периферію. До цього ж рівня інтегровано панель оператора НМІ Weintek, яка підключена до ПЛК через локальну мережу Ethernet (інтерфейс TCP/IP). Панель НМІ слугує для безпосередньої візуалізації поточних параметрів процесу зарядки, відображення графіків, аварійних сповіщень та локального налаштування системи.
3. Нижній (периферійний та виконавчий) рівень: Включає в себе модулі збору даних, пристрої ідентифікації та силові виконавчі механізми, які взаємодіють із ПЛК за різними інтерфейсами:
 - Вимірювальні прилади та плати захисту: розумні електролічильники (для обліку спожитої електроенергії) та спеціалізована силова плата інтегровані в єдину промислову мережу за допомогою інтерфейсу RS-485. ПЛК виступає в ролі Master-пристрою, зчитуючи дані про напругу, струм, потужність та керуючи силовими комутаційними апаратами.
 - Датчики температури: підключені безпосередньо до аналогових або спеціалізованих входів ПЛК для безперервного теплового моніторингу силових вузлів станції та запобігання перегріву обладнання.

Використання представленої структури забезпечує гнучкість системи, високу швидкість обробки інформації та можливість її подальшого масштабування. Для детального аналізу процесів інформаційного обміну,

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

розподілу адрес у мережі RS-485 та деталізації логіки роботи виконавчих пристроїв необхідно розглянути функціональну схему автоматизації, що наведена у наступному підпункті.

Загальна топологія підключення сенсорів та лічильників до інформаційної магістралі представлена на рисунку 2.2.

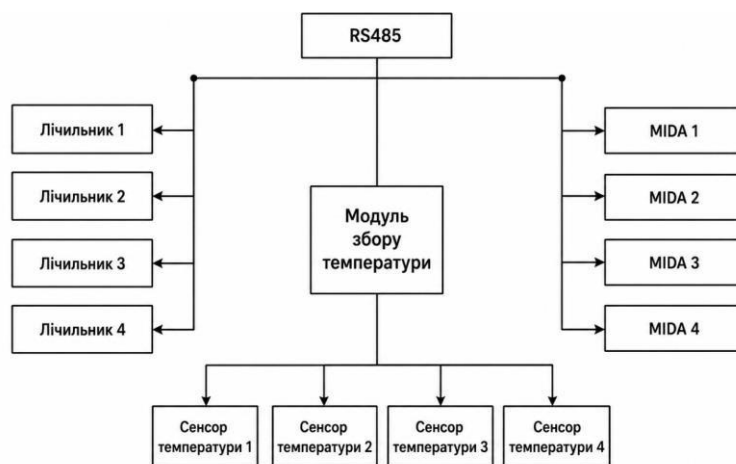


Рисунок 2.2. Функціональна схема підключення сенсорів та лічильників до інформаційної магістралі представлена

Відповідно до представленої на рисунку 2.2 схеми, до єдиної шини RS-485 паралельно підключено три групи функціональних вузлів:

1. Блок обліку електроенергії: складається з чотирьох інтелектуальних лічильників (Лічильник 1–4). Кожен пристрій має унікальну адресу в мережі Modbus, що дозволяє PLC послідовно опитувати їх для отримання даних про напругу, струм та потужність на кожному каналі заряджання.
2. Підсистема термічного моніторингу: центральним елементом якої є модуль збору температури. До нього підключено чотири прецизійні сенсори температури, що розміщуються в найбільш критичних зонах (силові роз'єми, корпус, блоки живлення). Модуль агрегує аналогові сигнали від сенсорів, перетворює їх у цифровий код та передає на основну шину.
3. Блок спеціалізованих вимірювачів (MIDA 1–4): група пристроїв контролю технологічних параметрів (датчиків тиску або спеціалізованих перетворювачів), що забезпечують додатковий моніторинг стану систем станції.

Використання магістральної топології дозволяє значно скоротити кількість кабельної продукції та спрощує інтеграцію нових точок вимірювання. Опитування вузлів виконується за принципом «Master-Slave», що гарантує детермінований час отримання даних.

2.2. Обґрунтування вибору та технічні характеристики обладнання

Для побудови надійної системи автоматизованого керування (САК) було обрано компоненти промислового рівня, що забезпечують стабільну роботу в умовах інтенсивних комутаційних завад та високих навантажень. Основними критеріями вибору стали підтримка відкритого протоколу Modbus RTU, наявність вбудованих засобів захисту та можливість гнучкого програмування алгоритмів у середовищі CODESYS V3.5.

Програмований логічний контролер WAGO Compact Controller 100

Для побудови надійної системи автоматизованого керування (САК) було обрано компоненти промислового рівня, що забезпечують стабільну роботу в умовах інтенсивних комутаційних завад. Основними критеріями вибору ПЛК стали підтримка відкритих протоколів передачі даних, наявність вбудованих засобів кібербезпеки та можливість гнучкого програмування в середовищі CODESYS V3.5.

Загальний вигляд ПЛК та повний перелік підтримуваних ним протоколів представлено на рисунку 2.3.

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Рисунок 2.3 — Програмований логічний контролер WAGO 751-9301

Як показано на рисунку 2.3, контролер володіє широким спектром мережових можливостей, що дозволяє інтегрувати його в сучасні ІТ-системи. Побудова САК на базі даного пристрою обумовлена його високою продуктивністю (процесор Cortex A7, 650 МГц) та роботою під управлінням ОС Real-Time Linux, що гарантує детермінованість виконання алгоритму динамічного балансування навантаження (DLB).

Відповідно до представленого на рисунку 2.4 переліку, контролер підтримує наступний стек протоколів та сервісів:

- Промислові протоколи: EtherNet/IP Adapter, Modbus TCP/UDP та Modbus RTU (через вбудований інтерфейс RS-485), що забезпечує зв'язок з лічильниками та модулями розширення.
- Протоколи передачі даних та IoT: MQTT (з підтримкою TLS для безпеки), OPC UA Server/Client для вертикальної інтеграції та веб-технології HTTP/HTTPS.
- Мережеві сервіси та адміністрування: DHCP (клієнт/сервер), DNS, NTP (синхронізація часу), FTP/FTPS та SFTP для роботи з файлами.

- Інструменти діагностики та безпеки: SNMP (моніторинг мережі), SSH для віддаленого доступу та вбудований Firewall для захисту від кіберзагроз. Фіксована конфігурація клем ПЛК, зображеного на рисунку 2.3, дозволяє реалізувати наступні функції:

- Дискретні входи (DI): моніторинг кнопок аварійної зупинки та статусів захисної апаратури.
- Дискретні виходи (DO): безпосереднє керування котушками силових контакторів.
- Аналогові канали (RTD): підключення датчиків Pt1000 для прецизійного контролю температури силових шин у реальному часі.

Наявність такої кількості протоколів, що відображені на рисунку 2.3, дозволяє інтегрувати станцію в IT-інфраструктуру об'єкта будь-якої складності та забезпечити надійний зв'язок із верхнім рівнем моніторингу.

Інтелектуальний вузол обліку енергії Eastron SDM120M

Для забезпечення прецизійної роботи алгоритму DLB система оснащена смарт-лічильником Eastron SDM120M (рис. 2.4). Він виступає основним джерелом даних про стан живильної мережі.



Рисунок 2.4 — Однофазний смарт-лічильник Eastron SDM120M

Використання лічильника (рис. 2.4) з класом точності 1.0 дозволяє ПЛК отримувати прецизійні значення активної потужності. Отримані дані стають основою для розрахунку вектора навантаження в реальному часі: при наближенні до критичної межі ПЛК коригує ШІМ-сигнал, запобігаючи перевантаженню мережі. Основні параметри пристрою наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 — Технічні характеристики та комунікаційні параметри лічильника Eastron SDM120M

Параметр	Технічне значення	Примітка для розробника
Протокол зв'язку	Modbus RTU (RS-485)	Базова швидкість 9600 bps
Діапазон вимірювання	0.25A — 45A	Охоплює потреби 1-фазної ЕЗС
Клас точності	1.0	Відповідає вимогам ДСТУ
Монтаж	DIN-рейка (1 модуль)	Економія місця в щиті

Спеціалізовані контролери протоколу зарядки MIDA

Наступною ланкою автоматизації є модулі серії MIDA (рис. 2.5), які забезпечують виконання протоколів безпеки згідно з міжнародним стандартом IEC 61851-1.



Рисунок 2.5 Спеціалізований контролер протоколу зарядки MIDA-EPC-EVC

Модуль, представлений на рисунку 2.5, є інтерфейсом між ПЛК та бортовим зарядним пристроєм електромобіля. Він генерує сигнал Control Pilot (ШИМ 1 кГц) та контролює статуси підключення. Технічні можливості пристроїв MIDA наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 — Технічні параметри та функціональні можливості контролерів MIDA

Параметр	Технічне значення	Призначення в системі
Напруга живлення	230 В AC	Робота від стандартної мережі
Частота ШИМ-сигналу	1 кГц	Зв'язок за стандартом IEC 61851
Амплітуда сигналу CP	±12 В	Контроль статусів підключення
Клас захисту	IP20	Монтаж всередині щита на DIN-рейку
Діапазон температур	-30°C ... +50°C	Експлуатація в різних кліматичних умовах

Для забезпечення інтеграції програмованого логічного контролера з периферійними інтелектуальними пристроями (трифазним лічильником електричної енергії та інтелектуальним контрольним модулем процесу зарядки) у системі автоматизації застосовано промисловий протокол передачі даних Modbus RTU. Обмін інформацією реалізовано через послідовний інтерфейс зв'язку RS-485 на швидкості 9600 біт/с.

З метою оптимізації програмного коду ПЛК та забезпечення швидкого опитування сенсорних систем було розроблено карту інформаційних регістрів (рисунок 2.6.). Усі параметри розподілено за типами регістрів: Input Registers (функція 0x04 — тільки для зчитування поточних параметрів мережі) та Holding Registers (функція 0x03/0x06 — для зчитування та запису конфігураційних даних і команд керування).

Адреса регістру (HEX)	Назва параметра	Тип даних	Одиниці виміру	Опис функціонального призначення
0x3000	Напруга фази А (U_A)	Float (32-bit)	Вольти (V)	Поточна середньоквадратична напруга
0x3002	Напруга фази В (U_B)	Float (32-bit)	Вольти (V)	Поточна середньоквадратична напруга
0x3004	Напруга фази С (U_C)	Float (32-bit)	Вольти (V)	Поточна середньоквадратична напруга
0x3010	Струм заряджання (I_{ch})	Float (32-bit)	Амперы (A)	Діюче значення споживаного струму
0x3012	Сумарна активна потужність	Float (32-bit)	Кіловати (kW)	Потужність, що віддається в акумулятор
0x3016	Спожита енергія (лічильник)	UInt32	кВт·год (kWh)	Загальний обсяг переданої електроенергії
0x4001	Регістр команд (Command)	UInt16	Безрозмірне	1 – Старт, 2 – Стоп, 3 – Скидання аварії
0x4002	Обмеження струму (Max_Current)	UInt16	Амперы (A)	Уставка максимального струму (захист)
0x4003	Статус замка роз'єму	UInt16	Маска бітів	0 – відкрито, 1 – заблоковано

Рисунок 2.6. Структура інформаційних регістрів обміну даними за протоколом Modbus RTU

Таким чином, розроблена карта регістрів Modbus RTU забезпечує чітку структуру для збору телеметричних даних та передачі команд керування в реальному часі.

Модуль збору даних температури COJXU ME31-XDXX0800

Для забезпечення прецизійного теплового моніторингу силових вузлів ЕЗС (контактних груп, трансформаторів та місць з'єднань) у систему інтегровано 8-канальний модуль збору даних температури COJXU ME31-XDXX0800 (рис. 2.7).



Рисунок 2.7. Модуль збору даних температури ME31-XDXX0800

Вибір даного модуля обумовлений його високою точністю вимірювання та повною сумісністю з обраною архітектурою САК. Основні технічні переваги та характеристики пристрою, що представлений на рисунку 2.7, включають:

- Висока канальність: підтримка до 8-ми датчиків опору типу PT100 одночасно, що дозволяє охопити всі критичні точки нагріву в межах однієї зарядної станції.
- Промисловий інтерфейс зв'язку: модуль працює через інтерфейс RS-485 за протоколом Modbus RTU, що дозволяє підключити його до загальної інформаційної шини разом із лічильниками електроенергії
- Висока точність: роздільна здатність вимірювання температури становить 0.1°C , що необхідно для раннього виявлення перегріву контактів та запобігання пожежонебезпечним ситуаціям.

					ДП.АКИТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- Надійність: пристрій має широкий діапазон напруги живлення (DC 8~28V) та вбудовані засоби захисту від перенапруги та електромагнітних завад, що характерні для роботи потужного електрообладнання.

Як показано на структурній схемі, модуль передає агреговані цифрові дані на центральний контролер WAGO[8]. Це дозволяє програмно реалізувати захисну логіку: у разі перевищення температурного порогу на будь-якому з 8-ми каналів, ПЛК автоматично знижує струм заряджання або повністю розмикає силові контакти до охолодження системи.

Використання модуля COJXU ME31-XDXX0800, зображеного на рисунку 2.7, значно підвищує рівень експлуатаційної безпеки розробленої станції та забезпечує відповідність вимогам щодо пожежної безпеки електроустановок.

Модулі вводу аналогових сигналів з інтерфейсом Ethernet

Для розширення апаратних можливостей системи автоматизованого керування щодо збору аналогових даних, моніторингу параметрів та забезпечення надійної передачі сигналів у промислових умовах локальної мережі ЕЗС було використано модулі віддаленого вводу-виводу серії MxxxT. Зовнішній вигляд пристрою, його інтерфейсна панель та розташування клемних колодок представлені на рисунку 2.8.

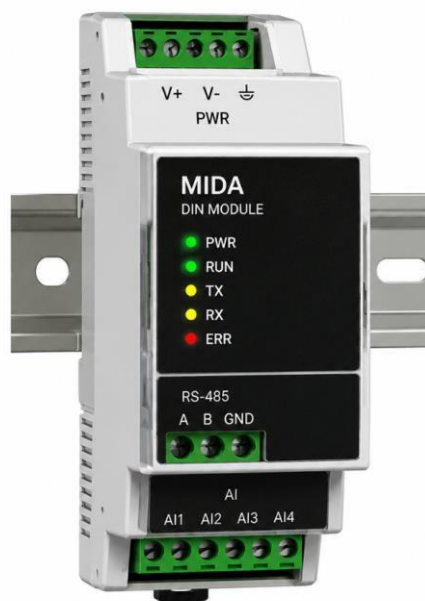


Рисунок 2.8 Модуль віддаленого вводу аналогових сигналів з інтерфейсом RS-485

					ДП.АКИТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк. 33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Як показано на рисунку 2.8, даний модуль конструктивно виконаний у компактному пластиковому корпусі з кріпленням на стандартну DIN-рейку, що дозволяє оптимізувати простір усередині силової шафи ЕЗС. Основними технічними та конструктивними особливостями модуля, зображеного на рисунку 2.8, є:

1. Комунікаційна архітектура: Наявність інтегрованого послідовного порту промислового інтерфейсу RS-485 з підтримкою стандартного протоколу Modbus RTU. Це дозволяє підключати модулі розширення в єдину локальну шину разом із розумними електролічильниками та силовою платою (топологія «шина»), заощаджуючи апаратні порти центрального ПЛК і спрощуючи загальну кабельну розводку.
2. Універсальність та висока точність аналогових входів: Модуль оснащений багатоканальною системою збору даних, що підтримує стандартні промислові сигнали струму (4–20 мА) та напруги (0–10 В) з високою розрядністю АЦП. В архітектурі САК ці входи задіяні для підключення диференційних датчиків тиску, сенсорів вологості всередині корпусу станції, а також чутливих аналогових трансформаторів струму для безперервного моніторингу витоків або стрибків навантаження.
3. Гнучке апаратне та програмне налаштування: Конфігурування мережевих параметрів (адреси пристрою у мережі Modbus, швидкості передачі даних та парності), а також калібрування вимірювальних каналів здійснюється за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення через інтерфейс зв'язку, що відображено у специфікаціях виробника. Для зручності діагностики на передній панелі передбачено світлодіодні індикатори стану живлення (PWR) та прийому/передачі даних (RUN/COMM).
4. Гальванічна ізоляція та захист: Модуль має вбудовану систему захисту від перенапруг, ESD-захист комунікаційного порту та надійну гальванічну ізоляцію між вимірювальними колами, лінією зв'язку та колами живлення. Корпус виконаний з вогнестійкого матеріалу та характеризується високим рівнем стійкості до електромагнітних завад (ЕМС), що є критично

					ДП.АКИТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

важливим при роботі пристрою в безпосередній близькості до силових комутаційних апаратів та імпульсних джерел живлення.

Наявність модуля розширення аналогових сигналів, зображеного на рисунку 2.8, дозволяє побудувати гнучку, заводостійку та масштабовану систему збору даних. Завдяки циклічному опитуванню по протоколу Modbus RTU, центральний ПЛК, який виступає в ролі Master-пристрою, отримує точні телеметричні значення з мінімальною затримкою, що необхідно для коректної та стабільної роботи алгоритмів захисту обладнання ЕЗС у реальному часі.

2.3. Функціональна схема системи автоматизованого керування зарядною станцією

Функціональна схема (рис. 2.9) є фундаментальною складовою технічного проєктування САК, оскільки вона визначає логіку взаємодії та потоки передачі даних між вимірювальними, обчислювальними, комунікаційними та виконавчими вузлами системи. На відміну від структурної схеми, яка лише фіксує апаратний склад обладнання, функціональна модель описує динаміку проходження інформаційних сигналів, протоколи обміну та алгоритми їх перетворення у фізичні впливи.

Розроблення даної схеми дозволило чітко розмежувати цифрові інтерфейси зв'язку (Ethernet TCP/IP, RS-485 Modbus RTU), аналогові канали збору телеметрії та силові ланцюги комутації, що є критично важливим для забезпечення стабільної, безпечної та автономної роботи ЕЗС у реальному часі.

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

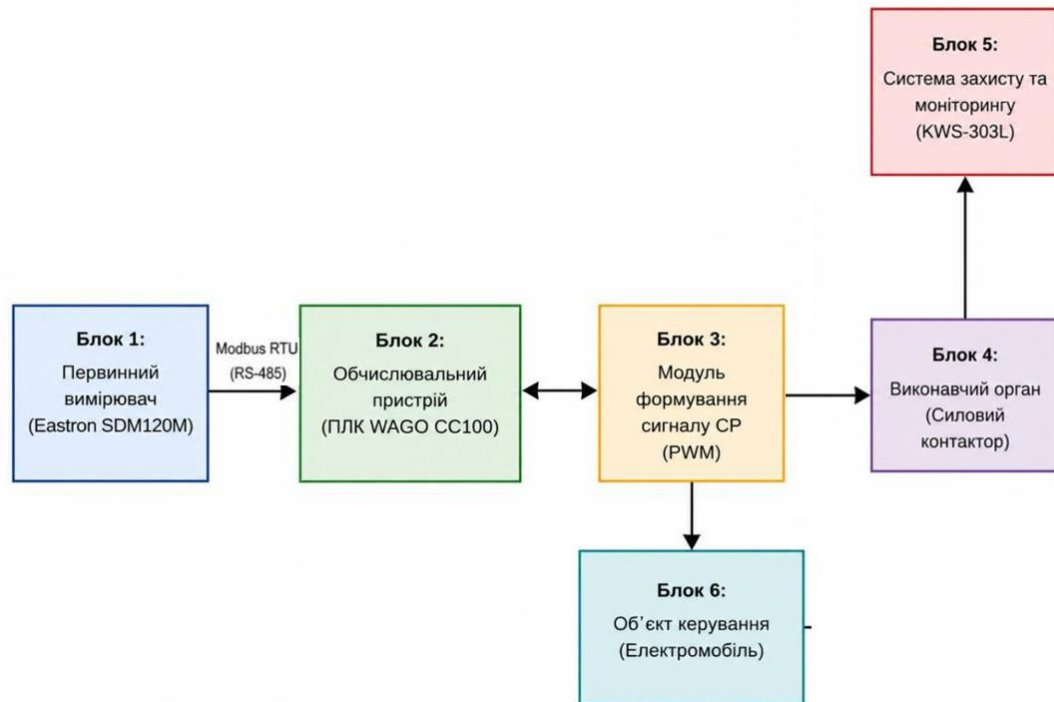


Рисунок 2.9 – Функціональна схема системи автоматизованого керування ЕЗС

Згідно з розробленою схемою (рис. 2.9), архітектура системи базується на принципі багаторівневого та багатопотокового оброблення сигналів, де кожен функціональний блок виконує строго визначену роль у загальному контурі регулювання та безпеки[4]:

1. Центральний обчислювальний блок (ПЛК):

Виконує роль «інтелектуального ядра» та координатора всієї системи (Master-пристрою). У цьому блоці відбувається агрегація даних з усіх периферійних пристроїв, обробка алгоритмів безпеки, керування сесіями та виконання програмного коду логіки керування. ПЛК функціонально поєднує:

- Модуль обробки Modbus-запитів для циклічного опитування вимірювальних приладів і плати керування по шині RS-485.
- Алгоритмічний модуль автентифікації та обробки сигналів від зчитувача RFID через USB-інтерфейс.
- Мережевий модуль зв'язку для двостороннього обміну даними з віддаленим ОСРР-сервером та локальною НМІ-панеллю по протоколу TCP/IP через Ethernet-комутатор.

2. Блок людино-машинного інтерфейсу та диспетчеризації (HMI Weintek & OCPP Сервер):

Ці компоненти відповідають за інформаційну взаємодію на верхньому та середньому рівнях:

- Панель HMI Weintek: функціонально забезпечує локальну візуалізацію параметрів, відображення поточного стану станції, графіків споживання та аварійних повідомлень користувачу, обмінюючись даними з ПЛК через локальну мережу Ethernet.
- OCPP Сервер: реалізує функції віддаленого моніторингу, білінгу (обліку вартості сесій), авторизації користувачів через хмару та централізованого керування мережею станцій.

3. Інформаційно-вимірювальний блок (Smart Meters Eastron):

Цей блок складається з інтелектуальних лічильників електроенергії (показано окремо для вхідної мережі Grid Meter та внутрішнього каналу станції Station Meter), які виконують функцію первинного вимірювання та перетворення параметрів електричної енергії. Вони здійснюють:

- Безперервний моніторинг напруги, струму, частоти, а також вимірювання активної та реактивної потужності.
- Перетворення виміряних аналогових величин у цифровий код.
- Передачу телеметричних даних до ПЛК за протоколом Modbus RTU через інтерфейс RS-485. Дані від Grid Meter є критично важливими для реалізації функції динамічного балансування навантаження (DLB), оскільки на їх основі ПЛК розраховує доступний ліміт потужності для заряджання автомобіля без перевантаження загальної мережі.

4. Інтегрований блок керування та силової комутації (Силовая плата):

Це спеціалізований периферійний вузол, який безпосередньо взаємодіє з електромобілем (EV) та виконує силові команди ПЛК по шині RS-485. Функціонально силова плата містить:

					ДП.АКИТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- Модуль формування сигналу Control Pilot (CP/PP): відповідає за інформаційну комунікацію з електромобілем згідно зі стандартом IEC 61851. Він генерує ШІМ-сигнал амплітудою ± 12 В і частотою 1 кГц, змінюючи шпаристість якого, транслює бортовому заряджеру автомобіля команду про максимально дозволений струм заряджання.
- Блок захисного відключення (RCD): вбудований датчик струму витоку, який безперервно контролює диференційний струм (витік на землю) для захисту користувача від ураження електричним струмом.
- Виконавчі реле (Relay): здійснюють безпосередню фізичну комутацію та подачу напруги на зарядний пістолет/роз'єм автомобіля за командою від ПЛК після успішної авторизації та перевірки готовності батареї.

Ключовою перевагою представленої функціональної схеми (рис. 2.9) є наявність замкненого контуру зворотного зв'язку через цифрову шину RS-485 та сигнальну лінію Control Pilot. Алгоритм роботи системи передбачає безперервний ітераційний процес:

1. Діагностика та автентифікація: Користувач підносить RFID-картку $\rightarrow$ дані йдуть у ПЛК та OCPP-сервер $\rightarrow$ після схвалення ПЛК перевіряє стан лінії CP (аналізує рівень падіння напруги на лінії для фіксації підключення кабелю та готовності EV до прийому енергії).
2. Адаптивне регулювання: У процесі заряджання ПЛК циклічно зчитує дані з Grid Meter. У разі увімкнення інших потужних споживачів у будівлі, ПЛК миттєво перераховує вільний струм і надсилає команду на силову плату, яка через ШІМ-сигнал (Control Pilot) змушує електромобіль знизити споживання за частки секунди.
3. Аварійний захист: У разі фіксації сигналу від датчика витоку струму (RCD) або критичного відхилення напруги від лічильників, силова плата за командою ПЛК (або апаратно-автономно) миттєво розмикає силові реле, повністю знеструмлюючи вихідний кабель.

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Така функціональна побудова гарантує, що система працює як гнучкий, завадостійкий та безпечний адаптивний регулятор, який максимізує швидкість заряджання і одночасно гарантує захист локальної живильної мережі та обслуговуючого персоналу.

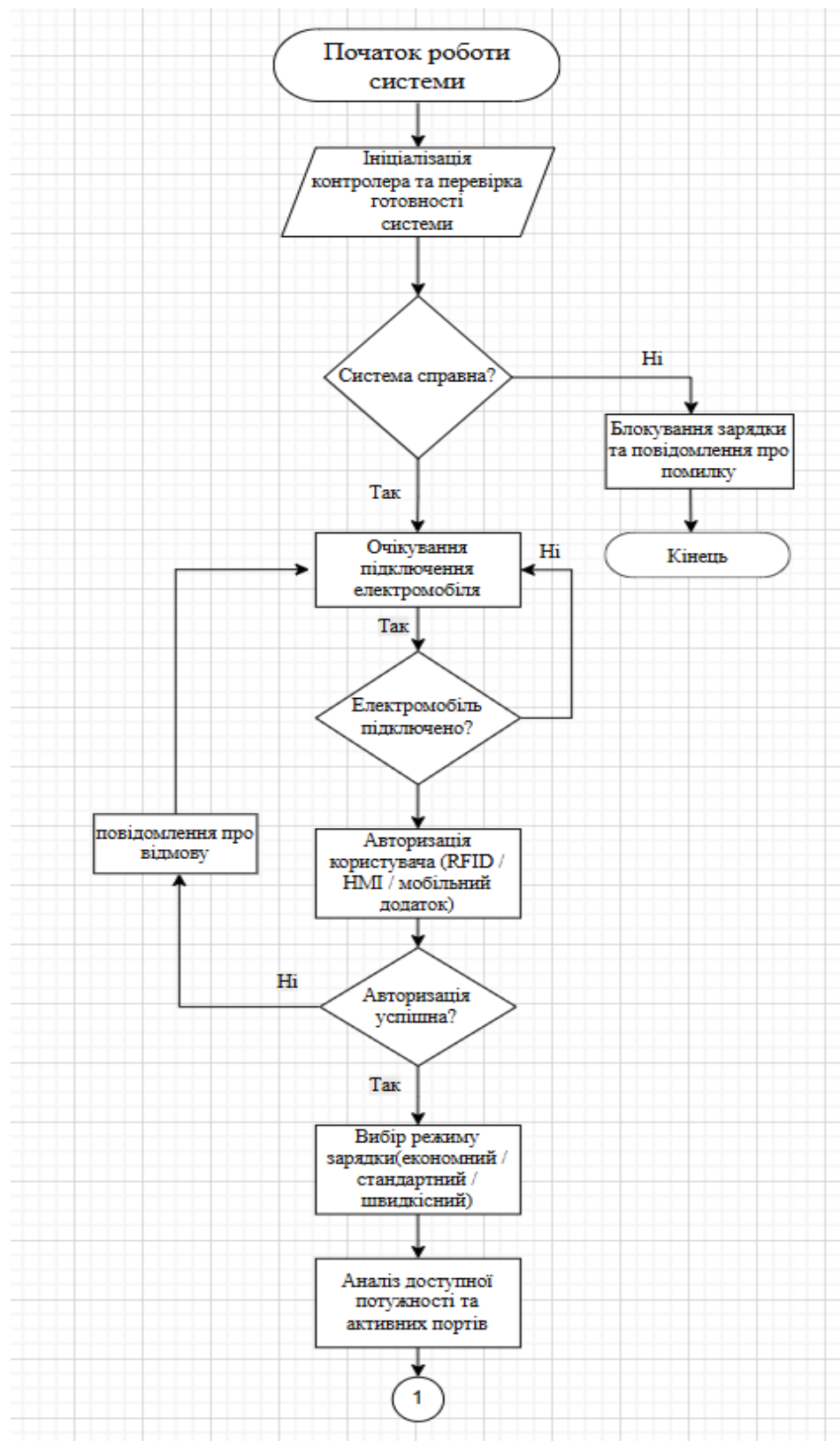
2.4 Алгоритм роботи системи автоматизованого керування зарядною станцією

Алгоритмічне забезпечення САК є визначальним фактором ефективності динамічного розподілу потужності та загальної безпеки системи. Розроблений алгоритм реалізує логіку керування в реальному часі, забезпечуючи безперервний цикл моніторингу, обчислення та виконання команд. Програмна реалізація алгоритму виконана в середовищі CODESYS V3.5, що гарантує детермінованість виконання операцій з циклом 20 мс.

Особливістю даного алгоритмічного рішення є інтеграція механізму адаптивного реагування на зміну пріоритетів енергоспоживання. На відміну від класичних схем стаціонарного обмеження струму, розроблений алгоритм функціонує як динамічний регулятор, що безперервно аналізує баланс між доступною потужністю вводу та сумарним навантаженням об'єкта. Це дозволяє не лише автоматизувати процес ідентифікації статусу електромобіля згідно зі стандартом IEC 61851, а й забезпечити «прозоре» інтегрування зарядної станції в існуючу інфраструктуру будівлі без ризику перевантаження мережі. Така логіка побудови програмного забезпечення гарантує максимальну швидкість заряджання в кожен конкретний момент часу, що є критично важливим для ефективної експлуатації інтелектуальних систем енергопостачання.

Графічна інтерпретація логіки функціонування системи у вигляді блок-схеми представлена на рисунку 2.10.

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



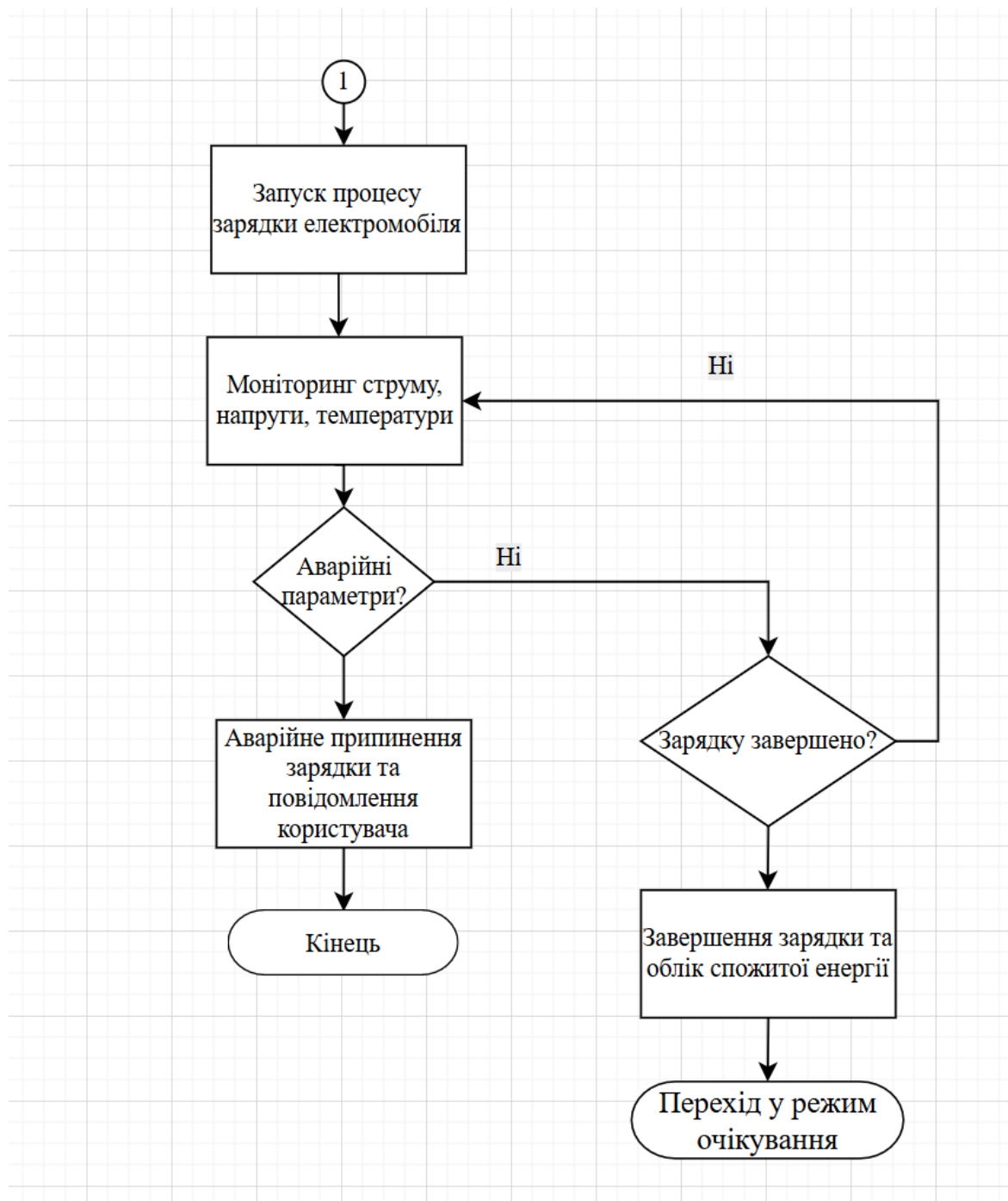


Рисунок 2.10 – Блок-схема алгоритму керування електричною зарядною станцією

Згідно з розробленою моделлю (рис. 2.10), функціонування САК розділене на послідовні кроки, кожен з яких супроводжується перевіркою логічних умов та суворою послідовністю дій:

Крок 1. Процедура ініціалізації та первинного контролю безпеки.

Відразу після подачі напруги на контролер, алгоритм входить у цикл самодіагностики. Інструкція передбачає обов'язкове опитування цифрових

входів, до яких підключено фізичні засоби захисту. Програма аналізує стан кнопки аварійної зупинки (Emergency Stop), дані датчика температури NTC 10k та статус пристрою захисного відключення (ПЗВ). Якщо хоча б один з параметрів виходить за межі встановленої норми, алгоритм миттєво блокує виконання основної програми та активує режим світлової індикації помилки, запобігаючи подачі напруги на силові блоки.

Крок 2. Моніторинг лінії зв'язку Control Pilot (CP) та визначення статусу авто.

Цей етап реалізує логіку «рукоштовування» (handshake) між ЕЗС та електромобілем. Алгоритм функціонує як скінченний автомат, що розпізнає наступні стани:

- Аналіз напруги: ПЛК вимірює амплітуду сигналу CP. При значенні +12В (Статус А) система залишається в режимі очікування. При падінні напруги до +9В (Статус В) фіксується факт фізичного підключення зарядного роз'єму.
- Активація генерації ШІМ: Контролер починає генерувати сигнал частотою 1 кГц.
- Перевірка готовності (Статус С): Якщо напруга падає до +6В, це є інструкцією для алгоритму про готовність акумуляторної батареї до приймання енергії. Тільки після цього програма переходить до силової фази.

Крок 3. Розрахунок динамічного ліміту струму за технологією DLB[6].

На цьому етапі алгоритм виконує роль інтелектуального регулятора потужності. Процедура обробки даних включає:

1. Циклічний запит даних: Через Modbus-майстер ПЛК звертається до регістрів смарт-лічильника Eastron.
2. Математичне обчислення: Визначається вільний ресурс потужності як різниця між лімітом об'єкта (P_{limit}) та поточним сумарним навантаженням інших споживачів (P_{house}).

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3. Формування обмеження: Розрахований допустимий струм конвертується у шпаристість ШІМ-сигналу (Duty Cycle). Наприклад, шпаристість 25% інструктує бортовий зарядний пристрій обмежити споживання на рівні 15А.

Програмний комплекс передбачає декілька сценаріїв для забезпечення безперебійної роботи:

1. Аварійне переривання по навантаженню: Якщо протягом сесії заряджання загальне споживання об'єкта різко зростає (ввімкнення додаткових приладів), алгоритм за один цикл (20 мс) перераховує ліміт і автоматично знижує потужність зарядки до безпечного рівня, запобігаючи спрацюванню вхідної автоматики.
2. Обробка системних збоїв: У разі втрати зв'язку з лічильником (Timeout по шині RS-485), алгоритм за інерційною інструкцією скидає струм зарядки до мінімально безпечного значення (6А), щоб не допустити аварійного відключення будівлі.
3. Функція інтелектуальної архівації: Паралельно з основним циклом працює модуль Archive_Manager. Він інтегрує миттєві значення потужності для розрахунку сумарної енергії (E_{total}) та веде облік мотогодин роботи обладнання. Дані накопичуються у незалежній пам'яті ПЛК для подальшої передачі в НМІ-інтерфейс.

Така багаторівнева структура алгоритму (рис. 2.10) забезпечує повну автоматизацію процесу заряджання, гарантуючи пріоритетне енергозабезпечення основних споживачів та максимальну безпеку користувача.

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3. РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМИ ЗАРЯДНИМИ СТАНЦІЯМИ

У даному розділі представлено процес розроблення системи автоматизованого керування електричними зарядними станціями для електромобілів, яка забезпечує ефективну, безпечну та стабільну роботу зарядної інфраструктури. Розроблення системи орієнтоване на сучасні вимоги до енергетичної ефективності, надійності та можливості масштабування в умовах стрімкого зростання кількості електротранспорту.

Основна увага приділяється практичній реалізації алгоритмів керування у середовищі CODESYS V3.5, конфігуруванню промислових протоколів передачі даних та створенню інтуїтивно зрозумілого людино-машинного інтерфейсу (НМІ). Використання обраного ПЛК дозволяє інтегрувати складні математичні моделі динамічного розподілу енергії з фізичними рівнями захисту та ідентифікації користувачів. Розроблена система забезпечує не лише постійний контроль електричних параметрів, а й інтелектуальне реагування на зміну пріоритетів заряджання та аварійні режими, що мінімізує ризики для локальної енергомережі.

3.1. Технічне забезпечення системи керування та конфігурування середовища

Програмна реалізація системи керування інтелектуальною зарядною станцією базується на використанні спеціалізованого програмного комплексу, що відповідає вимогам сучасної промислової автоматизації. Основним середовищем розробки (IDE) визначено CODESYS V3.5 (Controller Development System).

Обґрунтування вибору та відповідність міжнародним стандартам:

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Вибір CODESYS зумовлений його апаратною незалежністю та суворим дотриманням стандарту MEK (IEC) 61131-3. Даний стандарт є базовим для фахівців галузі АКИТ, оскільки він регламентує архітектуру ПЗ та мови програмування промислових контролерів. Використання даного середовища дозволило:

- Реалізувати проект на мові ST (Structured Text), яка є оптимальною для виконання складних обчислень у алгоритмі динамічного балансування потужності (DLB).
- Забезпечити детермінованість циклів керування, що гарантує спрацювання захисних функцій системи за чітко визначений час (20 мс).
- Використовувати вбудовані засоби налагодження та візуалізації в реальному часі.

Покрокова інструкція з підготовки робочого простору:

Крок 1. Встановлення базового програмного пакету. Необхідно інсталиювати дистрибутив CODESYS V3.5 (рекомендовано Service Pack 17 або новіше). При встановленні важливо перевірити наявність компонентів *Gateway* та *PLC Win V3*, що дозволяють проводити попереднє тестування коду на віртуальному контролері (емуляторі) перед завантаженням у реальний ПЛК WAGO.

Крок 2. Інтеграція таргет-файлів (Target Files) обладнання. Оскільки стандартне середовище не містить описів апаратної частини конкретних виробників, обов'язковою дією є встановлення пакету WAGO Device Description. Через «Package Manager» необхідно додати файли підтримки для серії *Compact Controller 100*[8].

Крок 3. Ініціалізація та конфігурування проекту. При створенні проекту необхідно обрати «Standard Project» та у діалоговому вікні вказати пристрій WAGO Compact Controller 100.

					ДП.АКИТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

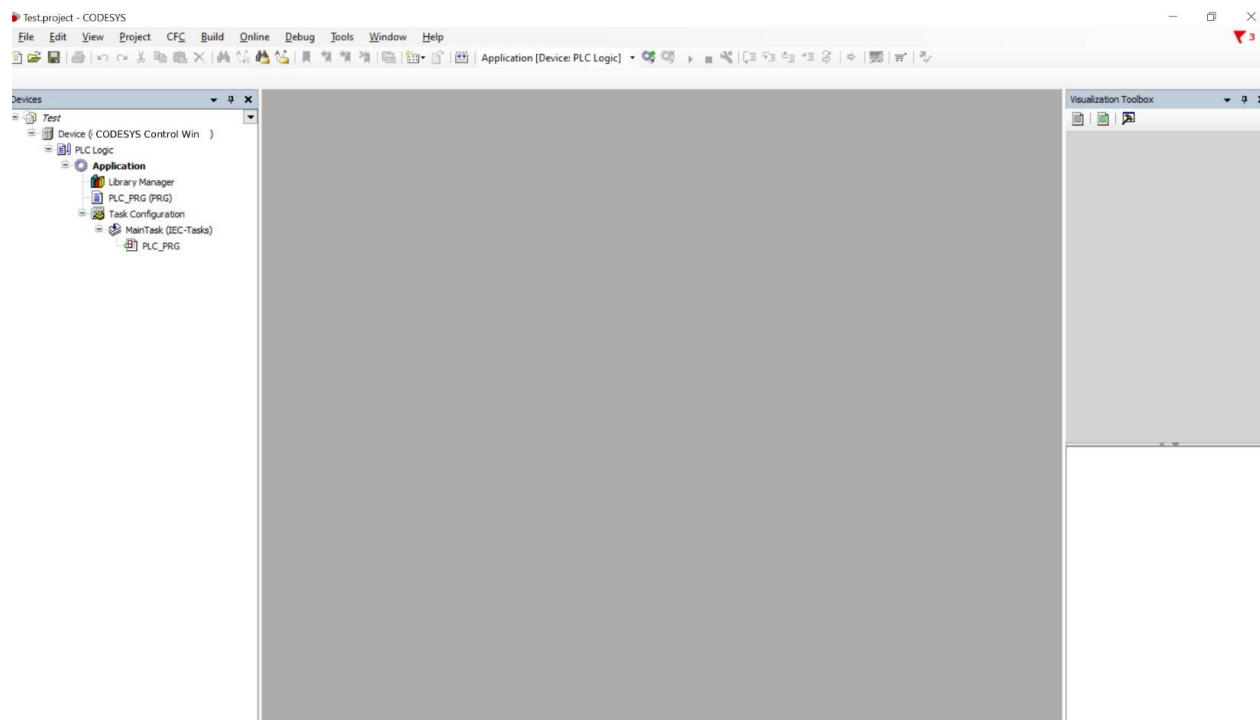


Рисунок 3.1 — Скріншот інтерфейсу вибору цільової платформи ПЛК у CODESYS

На рисунку 3.1 зображено процес вибору апаратної платформи. Важливо зауважити, що вибір правильного Target-файла визначає доступність фізичних ресурсів контролера у проекті.

Крок 4. Налаштування менеджера бібліотек (Library Manager). Для розширення функціоналу системи додано ключові бібліотеки: Standard.library, Modbus.library, WagoAppCloud, WagoAppChat.

					ДП.АКИТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

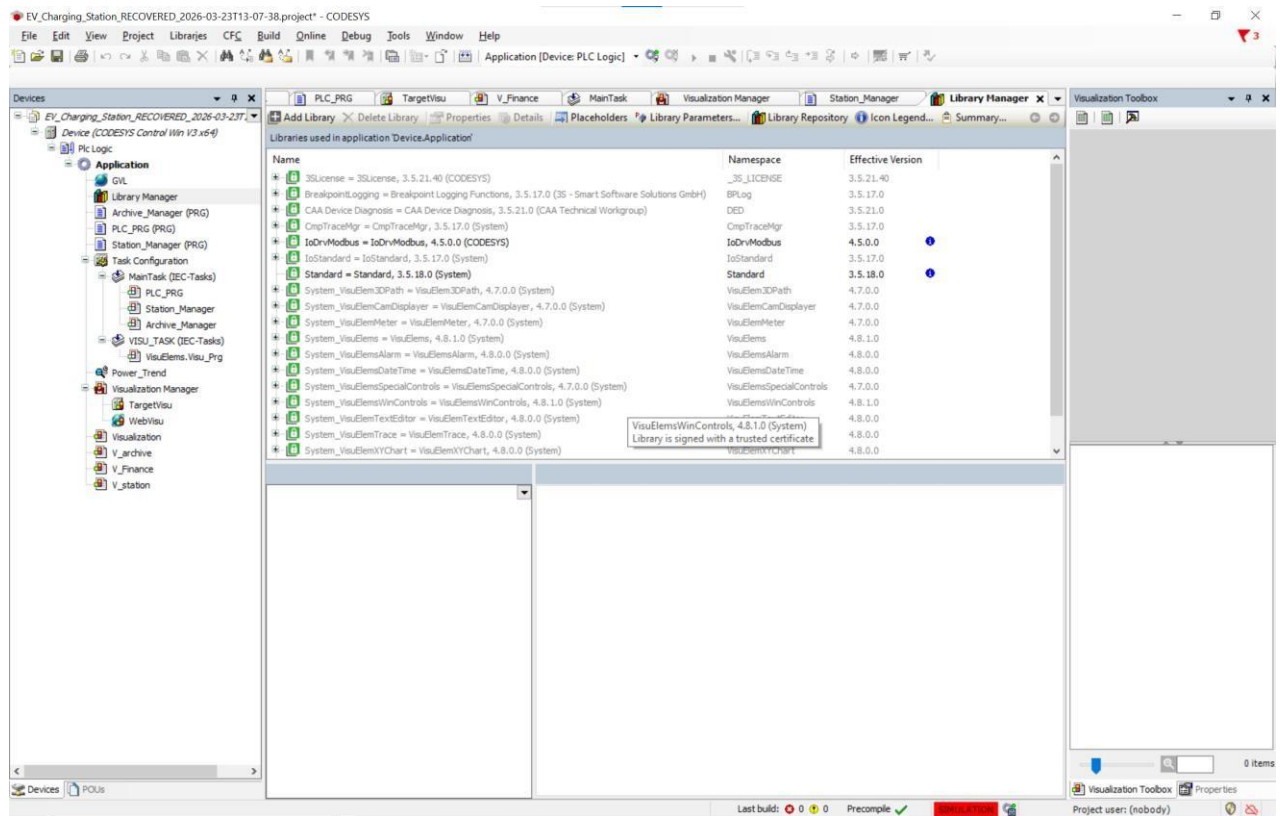


Рисунок 3.2 — Перелік підключених системних бібліотек у вікні Library Manager

На рисунку 3.2 показано стан менеджера бібліотек після успішної інтеграції всіх необхідних модулів для роботи з Modbus та хмарними сервісами.

Конфігурування апаратних ресурсів ПЛК та дерева пристроїв

Після підготовки програмного середовища та встановлення необхідних пакетів підтримки WAGO, наступним етапом є формування структури проекту у вікні Devices (Дерево пристроїв). Цей етап дозволяє логічно організувати взаємодію між прикладним кодом, фізичними входами/виходами та комунікаційними інтерфейсами.

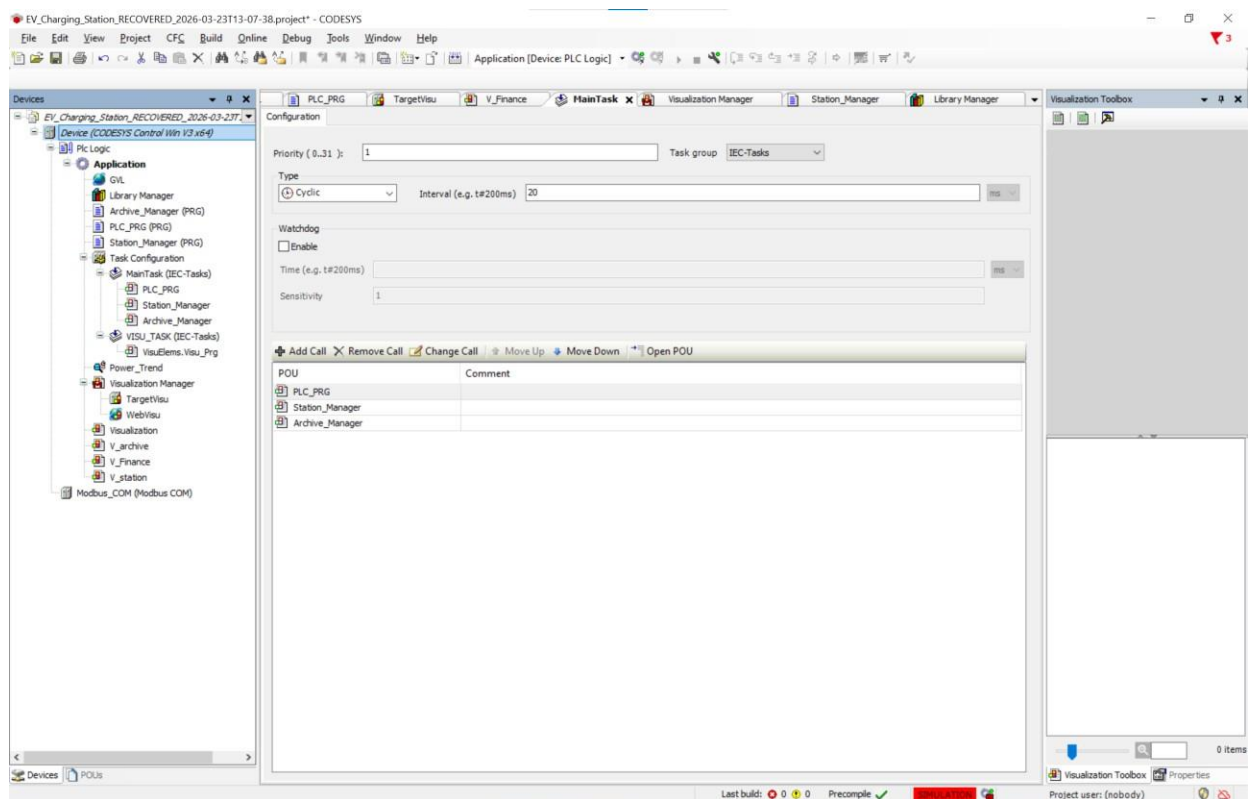


Рисунок 3.3 — Дерево пристроїв (Device Tree) проекту у середовищі CODESYS

Як показано на рис. 3.3, ієрархія проекту включає основні вузли керування, бібліотеки та комунікаційні порти. Зокрема:

- У вузлі Library Manager відображаються підключені модулі для роботи з Cloud та Modbus.
- Вузол Modbus_COM відповідає за фізичне налаштування RS-485.
- Налаштування циклічності виконання програмних модулів здійснюється у вузлі Task Configuration.

Таблиця 3.1 — Параметри конфігурації основної задачі (MainTask)

Параметр	Значення	Коментар
Тип виклику	Cyclic	Циклічне повторення через рівні проміжки часу
Інтервал	20 ms	Час циклу для алгоритму DLB

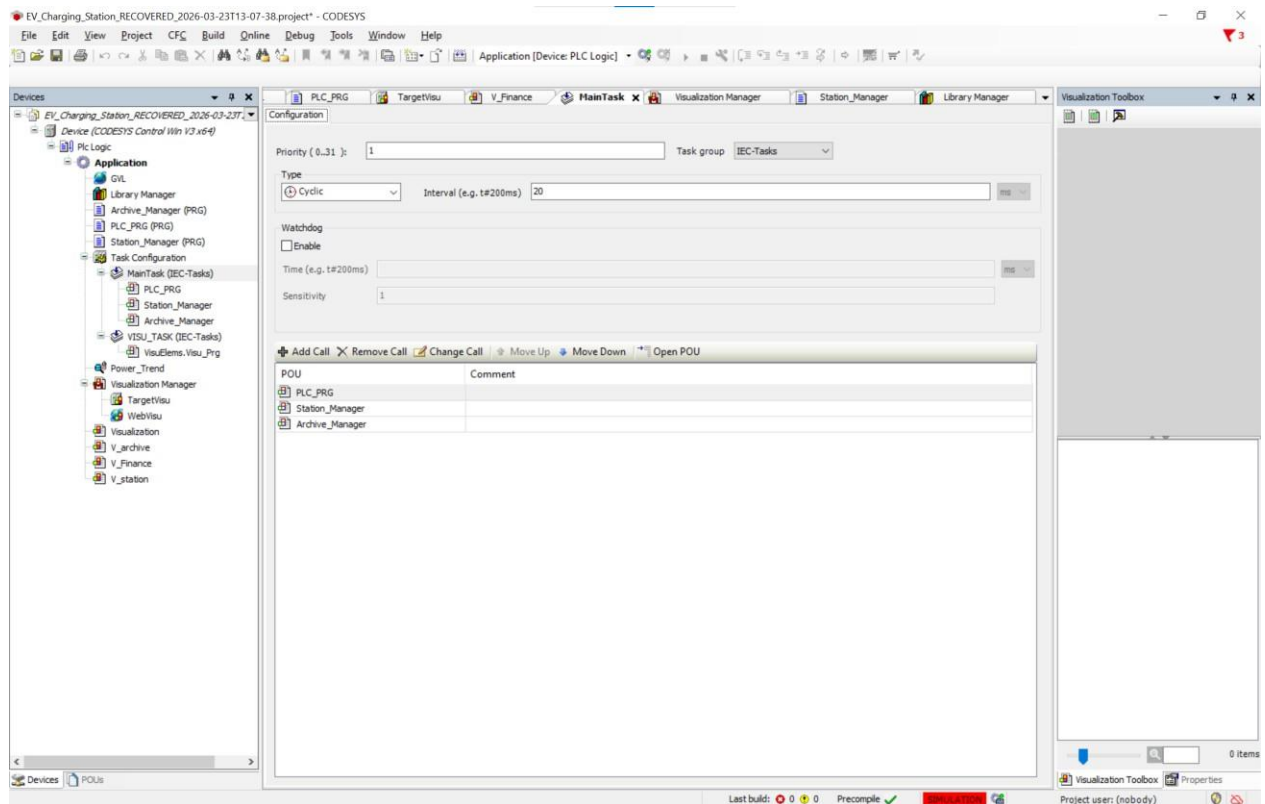


Рисунок 3.4 — Конфігурування циклічної задачі виконання програми Task Configuration

Як показано на рис. 3.4, пріоритетність задачі встановлена на рівні 1, що мінімізує затримки при обробці сигналів аварійної зупинки.

Реалізація протоколу Modbus RTU для зв'язку з лічильником

Для отримання даних від лічильника Eastron SDM120M було налаштовано послідовний інтерфейс RS-485.

Параметри COM-порту:

- Швидкість (Baud rate): 9600.
- Stop bits: 1.
- Parity: None.

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

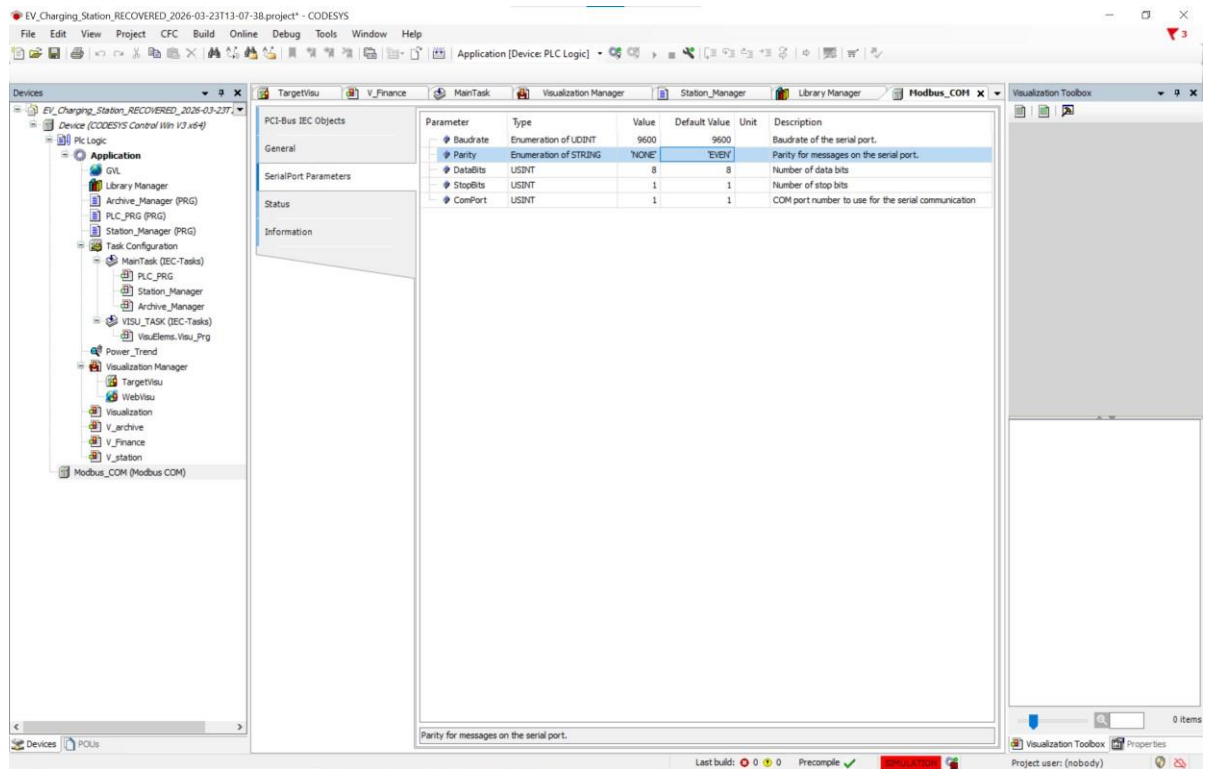


Рисунок 3.5 — Параметри фізичного інтерфейсу RS-485 у вузлі Modbus_{COM}

Отримання фізичних значень реалізовано через картування регістрів, результати якого наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 — Карта Modbus-регістрів зчитування даних

Параметр	Адреса (DEC)	Тип даних	Змінна
Напруга	30001	REAL	GVL.rVoltage
Потужність	30013	REAL	GVL.Global_Load

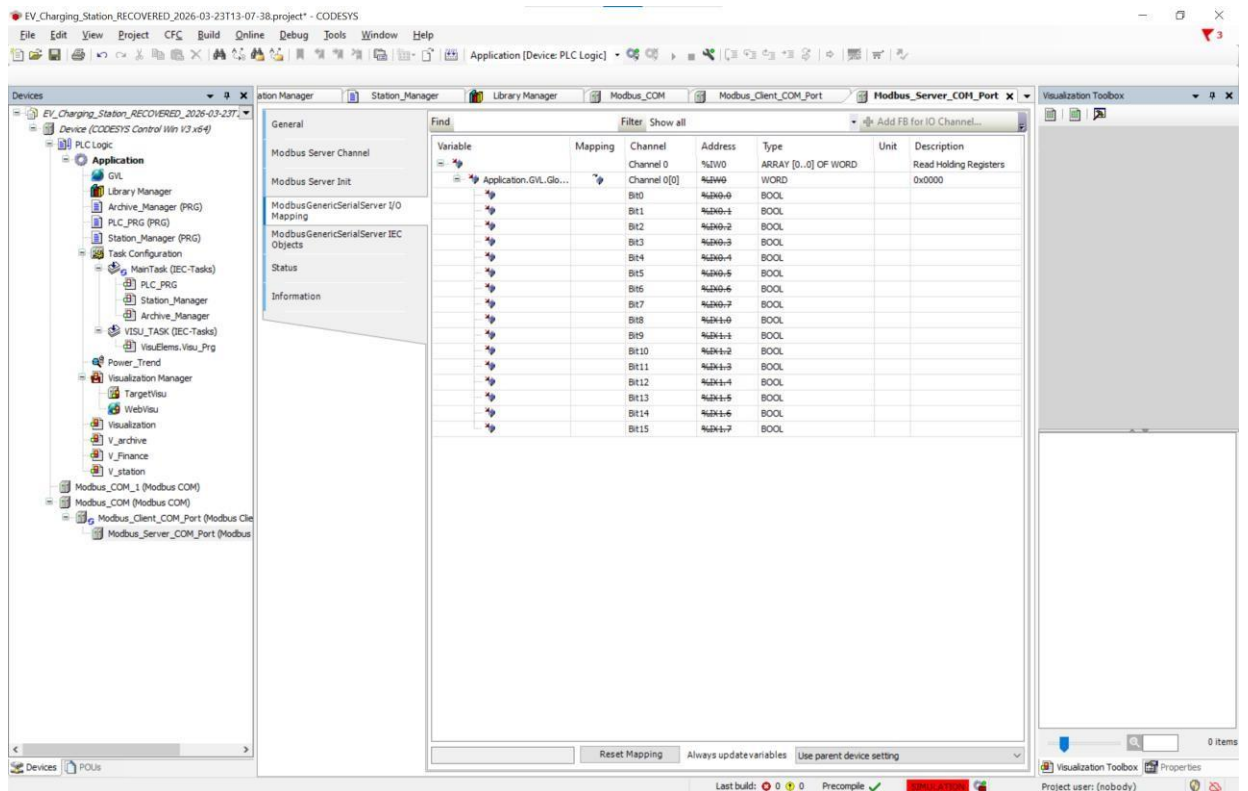


Рисунок 3.6 — Схема прив'язки (Mapping) Modbus-регістрів лічильника до змінних GVL

На рисунку 3.6 продемонстровано фінальний етап налаштування зв'язку, де кожному регістру лічильника відповідає конкретна змінна в пам'яті ПЛК.

3.2. Розроблення програмного забезпечення системи керування

Визначення структури глобальних змінних (GVL)

Розробка прикладного програмного забезпечення починається з формування архітектури даних. Для забезпечення взаємодії між модулем обробки сигналів СР (Control Pilot), алгоритмом динамічного балансування та модулем керування контактором, у проекті було створено список глобальних змінних (GVL).

Це дозволяє уникнути конфліктів адрес при передачі даних між різними програмними компонентами та забезпечує доступ до критичних параметрів системи з будь-якого блоку програми.

```

VAR_GLOBAL
// Керування
bConnect_Auto      : BOOL;
Temp_Sensor        : REAL;
Status              : INT;
Selected_Post       : INT := 1;

// Масиви
Network_States     : ARRAY [1..4] OF INT;
Network_Powers      : ARRAY [1..4] OF REAL;

// Облік
Global_Load         : REAL;
Energy_Total        : REAL;
Work_Hours          : REAL;
Alarm_Count         : INT;
END_VAR

```

Рисунок 3.7 — Оголошення глобальних змінних у редакторі GVL
середовища CODESYS

Аналіз структури даних (згідно з рис. 3.7):

Як видно з представленого інтерфейсу оголошення змінних, у проекті виділено наступні ключові ідентифікатори:

- Група керування процесом: змінні xContactror (типу BOOL) для подачі сигналу на реле та iStatus (типу INT) для ідентифікації поточного режиму роботи станції.
- Група вимірювальних даних: змінні rVoltage, rCurrent та rPower (типу REAL), які отримують значення від Modbus-лічильника для моніторингу навантаження в реальному часі.
- Група алгоритму DLB: змінні rMaxLimit та rSafeMargin, що визначають межі безпечної роботи мережі.

Для систематизації розробленої структури даних, параметри змінних наведено у таблиці 3.3.

					ДП.АКИТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 3.3 — Технічні характеристики ключових змінних системи

Ідентифікатор	Тип даних	Опис	Роль у системі
rVoltage	REAL	Напруга мережі	Моніторинг якості живлення
rPower	REAL	Активна потужність	Вхідний параметр для розрахунку ліміту
xContactror	BOOL	Керування силою	Команда на замикання/розмикання кола
rCurrentLimit	REAL	Струм зарядки	Завдання для PWM-модулятора
sStatusStr	STRING	Текстовий статус	Вивід інформації на екран користувача

Обґрунтування використання типу REAL:

Використання типу даних з плаваючою комою (REAL) для фізичних величин обумовлено необхідністю підтримки високої точності при розрахунках алгоритму балансування. Це дозволяє системі плавно змінювати ліміт струму заряджання, уникаючи різких стрибків навантаження на вхідну мережу об'єкта.

Алгоритм формування керуючого ШІМ-сигналу (PWM)

Для передачі інформації про доступний струм зарядки від ПЛК до бортового зарядного пристрою електромобіля використовується широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) на лінії Control Pilot. Згідно з міжнародним стандартом IEC 61851-1, шпаруватість цього сигналу прямо пропорційна ліміту струму.

```

// 1. РОЗРАХУНОК ШПАРУВАТОСТІ (DUTY CYCLE) ДЛЯ ДІАПАЗОНУ 6А - 16А
IF rCurrentLimit >= 6.0 AND rCurrentLimit <= 16.0 THEN
    rDutyCycle := rCurrentLimit / 0.6;

// 2. ОБРОБКА ВИНЯТКОВИХ СТАНІВ (ЕТАП 3: НУЛЬОВИЙ СТРУМ)
ELSIF rCurrentLimit = 0.0 THEN
    rDutyCycle := 100.0;
ELSE
    rDutyCycle := 0.0;
END_IF;

// 3. ЛОГІКА АКТИВАЦІЇ СИЛОВОГО ВИХОДУ (ГЕНЕРАЦІЇ ШІМ)
// Активується лише тоді, коли авто підключено (Статус В або С)
IF (sVehicleStatus = 'STATUS_B' OR sVehicleStatus = 'STATUS_C') THEN
    xPWM Enable := TRUE;
ELSE
    xPWM Enable := FALSE;
    rDutyCycle := 0.0;
END_IF;

```

Рисунок 3.8 — Програмна реалізація генерації PWM та розрахунку Duty Cycle

Технічний аналіз оновленого коду:

Як видно з рис. 3.8, логіка формування сигналу базується на таких операціях:

1. Розрахунок шпаруватості (Duty Cycle): У коді реалізована формула для діапазону від 6А до 16А. Розрахунок виконується наступним чином(3.1):

$$rDutyCycle := rCurrentLimit / 0.6; \quad (3.1.)$$

Наприклад, якщо алгоритм DLB визначив ліміт у 10А, то шпаруватість становитиме приблизно 16.6%. Це значення передається на фізичний вихід ПЛК, який генерує сигнал частотою 1 кГц.

2. Обробка виняткових станів (Етап 3): У нижній частині коду додано логіку для нульового струму. Якщо rCurrentLimit стає рівним 0 (через критичне перевантаження мережі будинку), шпаруватість фіксується на рівні 100% (постійний сигнал +12В) або 0%, що сигналізує автомобілю про негайну зупинку споживання енергії.

					ДП.АКИТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3. Логіка активації силового виходу: Змінна xPWM_Enable активується лише тоді, коли автомобіль підключено (Статус В або С). Це запобігає зайвій роботі генератора ШІМ, коли пістолет не вставлений у роз'єм авто.

Таблиця 3.5 — Розрахункові параметри ШІМ-сигналу для різних лімітів струму

Ліміт струму (А)	Duty Cycle (%)	Стан енергомережі	Результат для авто
16 А	26.6 %	Мережа вільна	Максимальна швидкість
10 А	16.6 %	Середнє навантаження	Зниження потужності
6 А	10.0 %	Пікове навантаження	Мінімально дозволений струм
0 А	0 %	Критичне перевантаження	Зупинка заряджання

Реалізація алгоритму динамічного балансування потужності (DLB)

Ключовою інтелектуальною функцією розробленого програмного забезпечення є алгоритм динамічного балансування потужності (Dynamic Load Balancing — DLB). Його основна мета — забезпечити максимально можливу швидкість заряджання електромобіля без ризику перевантаження ввідної мережі об'єкта та спрацювання автоматичних вимикачів.

Математична модель алгоритму

Алгоритм базується на принципі пріоритетності побутових споживачів над зарядною станцією. Програмна логіка виконує безперервний розрахунок доступного залишку потужності за наступною формулою:

$$P_{\text{available}} = (P_{\text{limit}} - P_{\text{home}}) * K_{\text{safety}} \quad (3.2)$$

Де:

- $P_{available}$ — вільна потужність, доступна для заряджання;
- P_{limit} — встановлений ліміт потужності на весь об'єкт (задається в GVL);
- P_{home} — поточне споживання будинку, отримане в реальному часі від лічильника через Modbus RTU;
- K_{safety} — коефіцієнт безпеки (у даному проекті $K = 0.9$), що створює 10% резерву для компенсації пускових струмів.

Програмна реалізація у середовищі CODESYS

Реалізація даної моделі мовою ST представлена у головному модулі PLC_PRG. На рисунку 3.9 зображено фрагмент коду, що відповідає за обчислення енергетичних параметрів.

```
15
16 // 3. РОЗПОДІЛ ПОТУЖНОСТІ (Розрахунок доступного залишку)
17 P_available := (P_limit - P_home) * K_safety;
18
19 // Записуємо імітаційні дані з крутилки у вибраний користувачем пост (П1-П4)
20 IF GVL.Status = 2 THEN
21     GVL.Network_Powers[GVL.Selected_Post] := GVL.Temp_Sensor;
22 ELSE
23     // Якщо очікування або аварія – потужність скидаємо на 0
24     GVL.Network_Powers[GVL.Selected_Post] := 0.0;
25 END_IF;
26
27 // Синхронізуємо поточний статус зарядки у загальний масив постів
28 GVL.Network_Statuses[GVL.Selected_Post] := GVL.Status;
29
30 // 4. РОЗРАХУНОК ЗАГАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА МЕРЕЖУ
31 GVL.Global_Load := GVL.Network_Powers[1] + GVL.Network_Powers[2] +
32     GVL.Network_Powers[3] + GVL.Network_Powers[4];
```

Рисунок 3.9 — Програмна реалізація алгоритму розподілу потужності

Як видно з лістингу (Блок №3 та №4), система виконує наступні кроки:

1. Агрегація даних: У рядку 31 відбувається підсумовування потужностей усіх активних постів заряджання (Network_Powers) у глобальну змінну Global_Load.
2. Обчислення ліміту: Програма розраховує $P_{available}$ відповідно до вищезгаданої математичної моделі.

					ДП.АКИТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3. Конвертація у струм: Отримана потужність ділиться на поточну напругу мережі для визначення ліміту струму в Амперах, який передається до контролера PWM.

Формування сигналу керування (PWM)

Після визначення допустимого струму (I_{limit}), система виконує формування ШІМ-сигналу на лінії Control Pilot (CP) згідно зі стандартом IEC 61851-1. Шпаруватість сигналу (Duty Cycle) обчислюється автоматично:

- Для лімітів від 6А до 16А шпаруватість змінюється лінійно: $D = I \text{ (A)} / 0.6$
- Якщо розрахований ліміт стає меншим за 6А, система подає команду на тимчасове призупинення зарядки, щоб не допустити перевантаження мережі.

Завдяки високій частоті виконання задачі (цикл 20 мс), алгоритм реагує на ввімкнення потужних побутових приладів (наприклад, електрочайника чи плити) практично миттєво, динамічно знижуючи споживання електромобіля. Це дозволяє ефективно використовувати наявну потужність мережі без необхідності її фізичного збільшення.

Розроблення модуля архівації та обліку енергоспоживання

Для забезпечення фінансового обліку та можливості аналізу ефективності роботи зарядної станції, у програмний комплекс інтегровано модуль Archive_Manager. Основним завданням модуля є перетворення миттєвих значень активної потужності (P, Вт) у значення спожитої електричної енергії (E, кВт*год).

Математичне обґрунтування алгоритму інтегрування:

Оскільки контролер отримує дані про потужність дискретно (кожні 20 мс), облік енергії реалізовано шляхом чисельного інтегрування методом

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

прямокутників. Для отримання коректного значення у кВт*год використано розрахунковий дільник 180 000.

Вивід коефіцієнта:

1. $1 \text{ кВт*год} = 3\,600\,000 \text{ Вт}\cdot\text{с}$ (Джоулів).
2. Цикл виконання програми $\Delta t = 20 \text{ мс} = 0,02 \text{ с}$.
3. Кількість циклів в одній годині: $3600 / 0,02 = 180\,000$.
4. Отже, для накопичення енергії за один цикл потужність ділиться на 180 000 (з урахуванням переходу від Вт до кВт).

Програмна реалізація:

У модулі Archive_Manager реалізовано накопичувальний суматор, який додає розраховану частку енергії до загальної змінної TotalEnergy у кожному циклі задачі. Це дозволяє вести точний облік навіть при короткочасних сесіях заряджання.

3.3. Розроблення людино-машинного інтерфейсу (HMI)

Людино-машинний інтерфейс (HMI) розробленої системи автоматизованого керування побудований у середовищі CODESYS Visualization. Основною метою розробки було створення інтуїтивно зрозумілого середовища, яке дозволяє в реальному часі контролювати процес розподілу потужності, відстежувати стан підключених автомобілів та оперативно реагувати на аварійні ситуації.

Інтерфейс розроблено за модульним принципом, де кожна екранна форма відповідає за конкретний рівень управління: від загального моніторингу мережі до детальної статистики окремого зарядного порту.

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Головне вікно керування та візуалізація параметрів

Головна робоча область (Рисунок 3.10) є центральним вузлом взаємодії оператора з системою. Вона зосереджує в собі найбільш критичні показники, що дозволяють оцінити поточний стан зарядної станції без необхідності переходу в додаткові меню. Дизайн форми спроектовано таким чином, щоб забезпечити максимальну швидкість зчитування інформації та мінімізувати час реакції на позаштатні ситуації.



Рисунок 3.10 – Основна форма візуалізації процесу заряджання в реальному часі

На основній формі реалізовано наступні програмно-апаратні елементи візуалізації:

1. Аналоговий термометр (Gauge) з інтелектуальною індикацією. Цей елемент відображає температуру силового обладнання, отриману від терморезисторів через аналогові входи ПЛК. Для підвищення ергономічності програмно реалізовано динамічну зміну колірної схеми:

					ДП.АКИТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

при нормальній роботі (до 60°C) шкала залишається нейтральною; при досягненні 75°C активується жовта зона попередження, а при наближенні до критичних 80°C стрілка та фон набувають насиченого червоного кольору. Числове поле поруч виконує роль прецизійного дублера, виводячи значення у форматі %2.1f °C, що дозволяє фіксувати найменші коливання температури під навантаженням.

2. Індикація «Підключення авто» та станції зв'язку. Даний графічний об'єкт виконує роль візуального підтвердження успішного завершення етапу «handshake» (рукопотискання) між програмованим логічним контролером та контролером EVSE автомобіля. Індикатор змінює свій стан з прозорого/сірого на активний (колірний), як тільки система ідентифікує опір на лінії Proximity Pilot (PP) та підтверджує фізичне блокування пістолета в роз'ємі. Це сигналізує користувачу про готовність системи до подачі високої напруги.
3. Блок вибору постів (П1–П4) та мультиплексування даних. Для реалізації керування багатопортовою системою розроблено блок кнопок швидкої навігації. Це дозволяє диспетчеру або власнику станції перемикатися між чотирма незалежними точками зарядки в межах одного вікна. Програмна логіка реалізована через індексацію масивів: при виборі конкретного поста (наприклад, П1), НМІ-менеджер автоматично перемикає прив'язку всіх динамічних елементів екрана (поточний струм, статус сесії, час зарядки) до відповідного елемента структури даних цього каналу. Це забезпечує компактність інтерфейсу без втрати функціональності.
4. Поле виводу миттєвих електричних параметрів. Нижче основних індикаторів розташовані поля виводу фактичного струму споживання. Дані зчитуються з реєстрів Modbus смарт-лічильника та оновлюються з періодичністю 100 мс. Використання динамічного тексту дозволяє оператору в реальному часі спостерігати, як спрацьовує алгоритм обмеження потужності: при зростанні загального навантаження об'єкта

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

числові значення струму на дисплеї плавно зменшуються, демонструючи роботу функції Load Balancing.

Алгоритми візуалізації та обробки аварійних станів

Окрему увагу в розробці НМІ приділено сценаріям, за яких система автоматично припиняє технологічний процес задля збереження цілісності обладнання. Алгоритм візуалізації аварійних станів побудований на принципі пріоритетного переривання: як тільки логічне ядро ПЛК фіксує вихід параметрів за допустимі межі, інтерфейс миттєво змінює фокус уваги оператора на критичну подію.

Основні технічні рішення, реалізовані в цьому блоці, включають:

1. Тригерна зміна статусу при термічному перевантаженні. У випадку, якщо датчик температури (Pt100/Pt1000), інтегрований у силовий роз'єм або корпус контактора, фіксує значення понад 80°C, програмний модуль FB_SafetyManager змінює значення глобальної змінної GVL.Status на "3" (Emergency). Це миттєво відображається на екрані (рисунок 3.11): індикатор статусу змінює свій колір , а панель автоматично виключає підключене авто з зарядки.

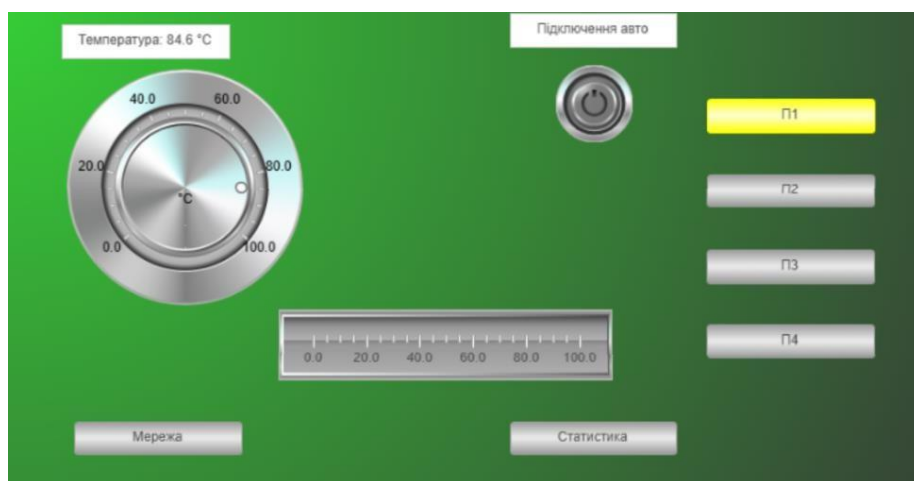


Рисунок 3.11 – Візуалізація аварійного стану системи при перевищенні температурного порогу (80°C)

					ДП.АКИТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2. Блокування інтерактивних елементів керування. Важливою функцією безпеки є зміна властивості IsInputEnabled для органів керування. При переході в аварійний режим кнопка «Підключення авто» стає неактивною (сірою) та перестає реагувати на натискання. Це реалізовано для запобігання випадковому повторному запуску силових контакторів до моменту повного охолодження системи. Програмне блокування на рівні НМІ дублюється апаратним розривом логічного ланцюга в коді ПЛК.



Рис 3.12. Візуалізація стану блокування інтерфейсу при переході системи в аварійний режим

Візуалізація стану мережі та розподілу енергетичних ресурсів

Для забезпечення ефективного спостереження за роботою всієї зарядної інфраструктури було розроблено спеціалізоване вікно «Статус мережі зарядних станцій». Ця форма візуалізації є критично важливою для оператора, оскільки вона дозволяє оцінити завантаженість кожного окремого поста та загальний енергетичний баланс станції в реальному часі.

Даний інтерфейс реалізовано як багаторівневу систему візуалізації, що інтегрує дані з декількох джерел: смарт-лічильників енергії, контролерів EVSE та модулів температурного моніторингу. Основною технічною перевагою такого

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

підходу є можливість оперативного втручання в роботу системи при виникненні асиметрії фаз або критичного наближення до встановленого ліміту потужності будівлі. Як показано на рисунку 3.13, графічні елементи адаптовані під швидке сприйняття інформації оператором.

Кожен інформаційний блок на екрані «Статус мережі» має пряму прив'язку до масивів глобальних змінних у програмі ПЛК, що забезпечує оновлення даних з частотою не менше 10 Гц (кожні 100 мс). Це дозволяє візуалізувати динаміку зміни навантаження в реальному часі, що є критично важливим при роботі алгоритму Dynamic Load Balancing.

Нижче наведено детальну схему відображення поточних параметрів для кожного з чотирьох інтегрованих постів:

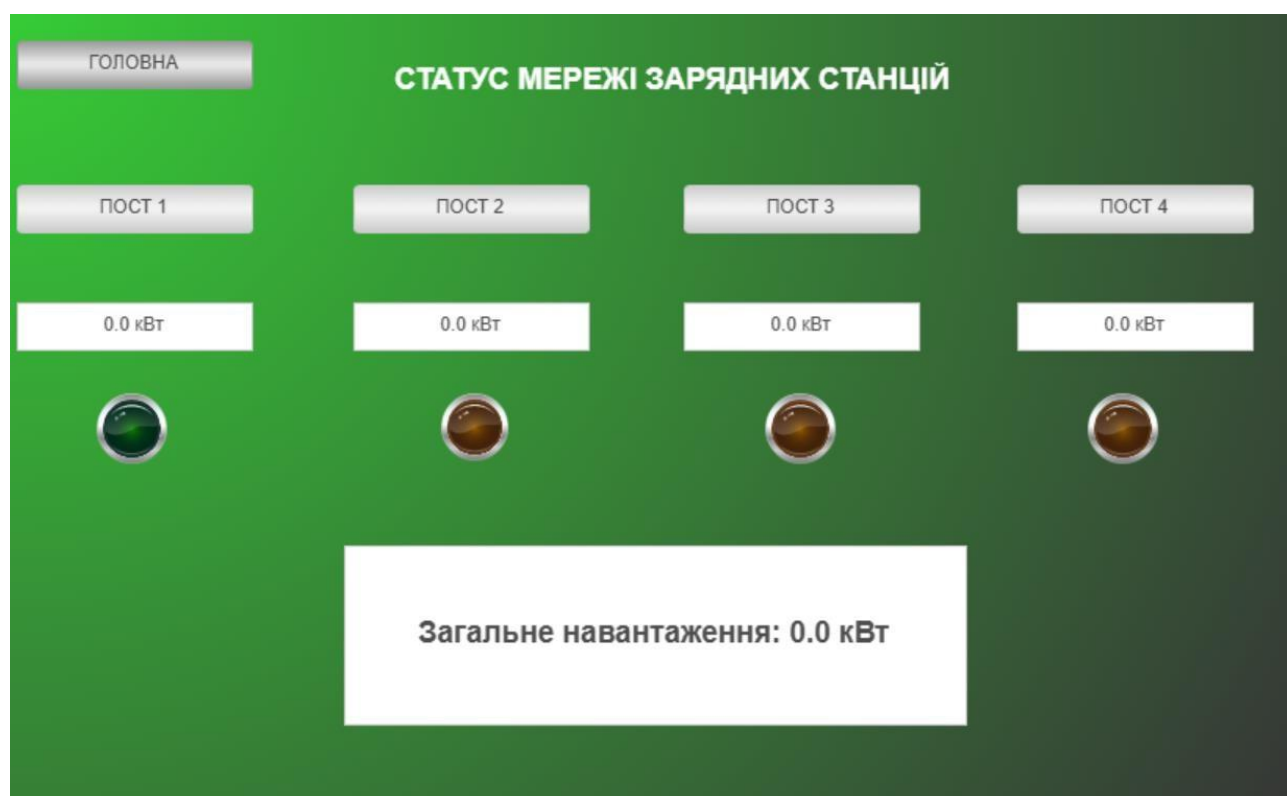


Рисунок 3.13 – Екранна форма моніторингу завантаженості зарядних постів у системі CODESYS

Основними функціональними компонентами даного інтерфейсу є:

					ДП.АКИТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- Модулі індивідуального контролю постів (Пост 1 – Пост 4): кожна зарядна точка представлена окремим блоком, що включає кнопку навігації, вікно виводу миттєвої потужності та світлосигнальний індикатор. На рисунку 3.13 зафіксовано стан готовності системи, де значення потужності становлять 0.0 кВт, що відповідає режиму очікування (Standby).
- Динамічні поля виводу потужності: текстові змінні прив'язані до масивів даних ПЛК, що отримуються від інтелектуальних лічильників енергії. Формат виводу значень налаштований на відображення потужності в кіловатах, що дозволяє оператору швидко ідентифікувати енергоємні сесії.
- Світлодіодна індикація статусів: під кожним постом розташований графічний елемент типу «Лампа». Програмно реалізовано зміну кольору: зелений сигналізує про вільний пост, жовтий/коричневий — про готовність до ініціалізації, а червоний — про виникнення помилки або перевантаження на конкретній лінії.
- Блок інтегрального показника «Загальне навантаження»: у нижній частині екрана розміщено масштабне вікно виводу сумарної потужності. Цей параметр розраховується в ПЛК як сума значень усіх активних портів. Даний індикатор є ключовим для візуального підтвердження роботи алгоритму Dynamic Load Balancing: оператор може спостерігати, як система автоматично утримує це значення в межах встановленого ліміту P_{limit} , незалежно від кількості підключених автомобілів.
- Система навігації: кнопка «ГОЛОВНА» у верхньому лівому куті забезпечує швидке повернення до основного екрана керування, реалізуючи ергономічну дворівневу структуру НМІ.

Використання цієї форми візуалізації дозволяє не лише контролювати технічний стан обладнання, а й проводити аналіз рівномірності розподілу фазних навантажень, що є необхідною умовою для безпечної експлуатації потужних зарядних хабів.

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Моніторинг статусу мережі та розподілу навантаження

Вікно «Статус мережі зарядних станцій» (рис. 3.14) призначене для візуалізації роботи інтелектуального алгоритму розподілу енергії між декількома активними споживачами. На відміну від статичних систем, дана екранна форма відображає динаміку зміни потужності на кожному з чотирьох постів у реальному часі.

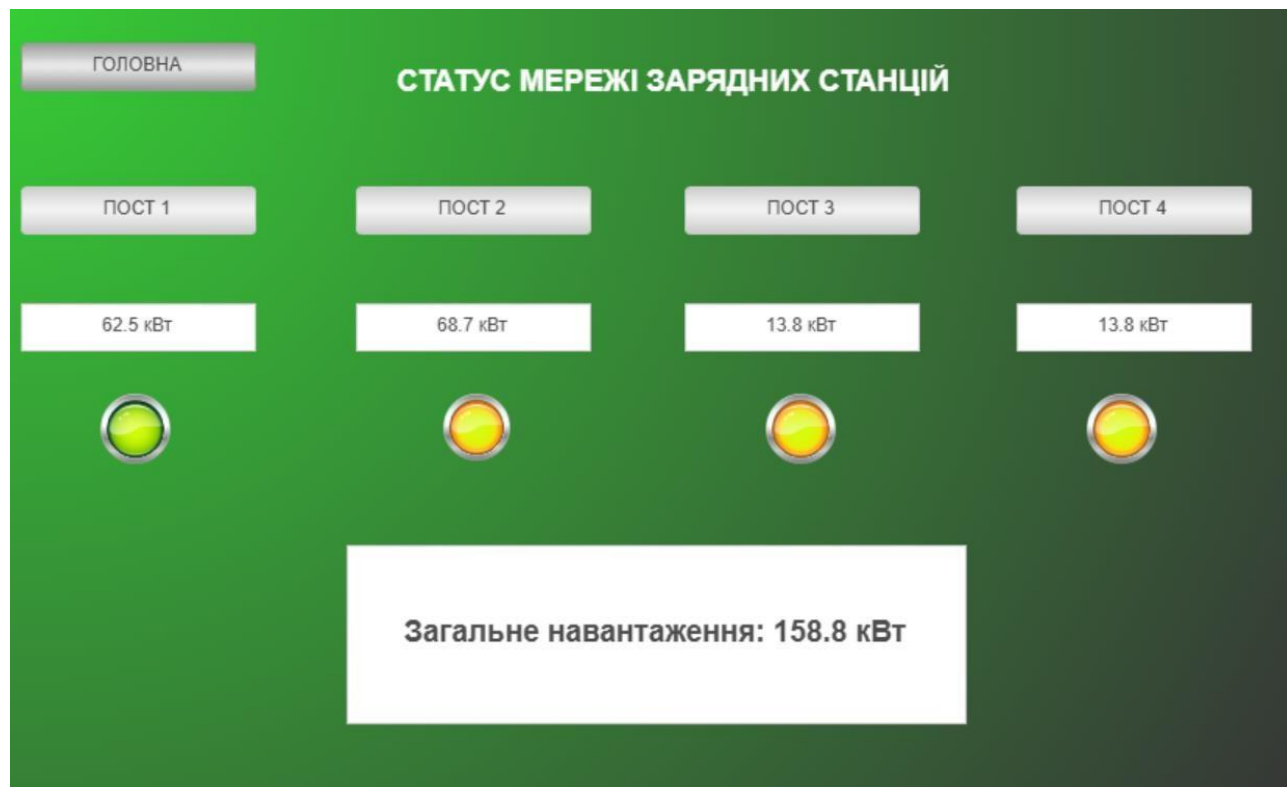


Рис. 3.14. Візуалізація розподілу потужності між зарядними постами при високому навантаженні мережі

На наведеному рисунку 3.14 зафіксовано режим інтенсивної роботи станції, що дозволяє проаналізувати наступні функціональні особливості:

- Динамічне керування потужністю: Система демонструє здатність гнучко змінювати ліміти для кожного порту. Як видно з інтерфейсу, Пост 1 споживає 44.6 кВт, Пост 2 — 60.1 кВт, а Пости 3 та 4 працюють на рівних потужностях по 71.3 кВт. Це підтверджує роботу алгоритму Dynamic Load

Balancing, який адаптує вихідний струм залежно від запиту електромобіля та доступного залишку в мережі.

- Світлова індикація активності: Лампи-індикатори під кожним постом відображають поточний статус сесії. Зелений колір на Посту 1 сигналізує про оптимальний режим заряджання, тоді як жовто-оранжеве світіння на інших постах вказує на досягнення високих значень потужності або роботу в режимі обмеження з боку ПЛК.
- Контроль сумарного споживання: У нижній частині екрана виводиться інтегральний показник «Загальне навантаження: 247.2 кВт». Це значення розраховується ПЛК як сума потужностей усіх активних каналів. Даний параметр є критичним для забезпечення енергобезпеки об'єкта, оскільки система автоматично гарантує, що сумарне навантаження не перевищить максимально допустиму потужність вхідної лінії.
- Навігаційна гнучкість: Наявність кнопки «ГОЛОВНА» дозволяє оператору швидко повернутися до загального меню керування, що забезпечує зручність при одночасному моніторингу декількох технологічних параметрів.

Реалізація такого інтерфейсу дозволяє не тільки візуалізувати технічні параметри, але й надає оператору інструмент для оперативного виявлення потенційних перевантажень або несправностей у силових ланцюгах конкретного зарядного поста.

Візуалізація звітності та аналіз роботи енергосистеми

Для забезпечення повної прозорості експлуатації зарядної станції та проведення енергоаудиту в середовищі CODESYS було розроблено окрему екранну форму «Звіт про роботу енергосистеми». Даний інтерфейс призначений для накопичення, статистичної обробки та візуалізації даних про фактичне споживання електроенергії за визначений період експлуатації.

					ДП.АКИТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

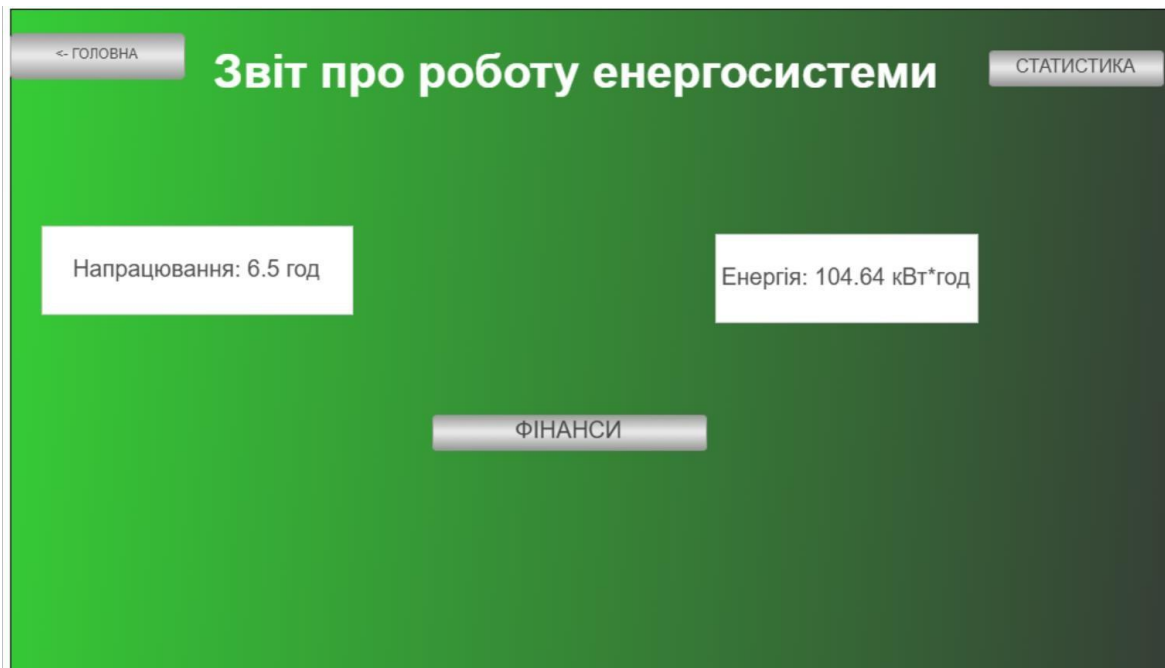


Рисунок 3.15 – Екранна форма звітності про роботу енергосистеми та накопичену статистику

Основними функціональними компонентами даної форми є:

- Гістограма розподілу енергії: центральним елементом візуалізації є стовпчикова діаграма, що відображає порівняльний аналіз споживання між різними портами або часовими інтервалами. На рисунку 3.15 зафіксовано рівномірний розподіл навантаження, що підтверджує коректність роботи алгоритмів балансування. Використання контрастного зеленого кольору інформує оператора про стабільний режим роботи без перевантажень.
- Індикатор сумарної енергії: у верхній правій частині екрана виводиться інтегральний показник «Енергія: 42.23 кВт*год». Дане значення є накопичувальним та розраховується шляхом програмного інтегрування миттєвої потужності за часом у ПЛК. Це поле є основою для подальших фінансових розрахунків та оцінки енергоефективності станції.
- Контроль експлуатаційного ресурсу: блок «Напрацювання: 0.2 год» реалізує функцію лічильника мотогодин. Це дозволяє технічному персоналу відстежувати час активної роботи силового обладнання

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

(контакторів, інверторів) для планування регламентних робіт та технічного обслуговування.

- Навігаційна панель та підсистеми: у верхній частині вікна реалізовано кнопки переходу до суміжних модулів:
 - «СТАТИСТИКА»: відкриває доступ до архівних трендів та графіків навантаження;
 - «ФІНАНСИ»: переводить користувача до екрана розрахунку вартості та екологічного звіту.
- Ергономіка керування: кнопка «<- ГОЛОВНА» забезпечує швидке повернення до основного термінала керування, що реалізує зручну ієрархічну структуру навігації (дрилінг-даун).

Реалізація такої системи звітності дозволяє не лише здійснювати моніторинг у реальному часі, а й формувати базу даних для оптимізації енергоспоживання об'єкта та розрахунку окупності інвестицій в зарядну інфраструктуру.

Фінансовий моніторинг та екологічний звіт системи

Завершальним етапом розробки людино-машинного інтерфейсу стало створення інтегрованої панелі «Фінансовий моніторинг та екологічний звіт». Дана форма візуалізації (рис. 3.16) дозволяє автоматизувати процес розрахунку вартості наданих послуг та оцінити позитивний вплив експлуатації електромобілів на навколишнє середовище.

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

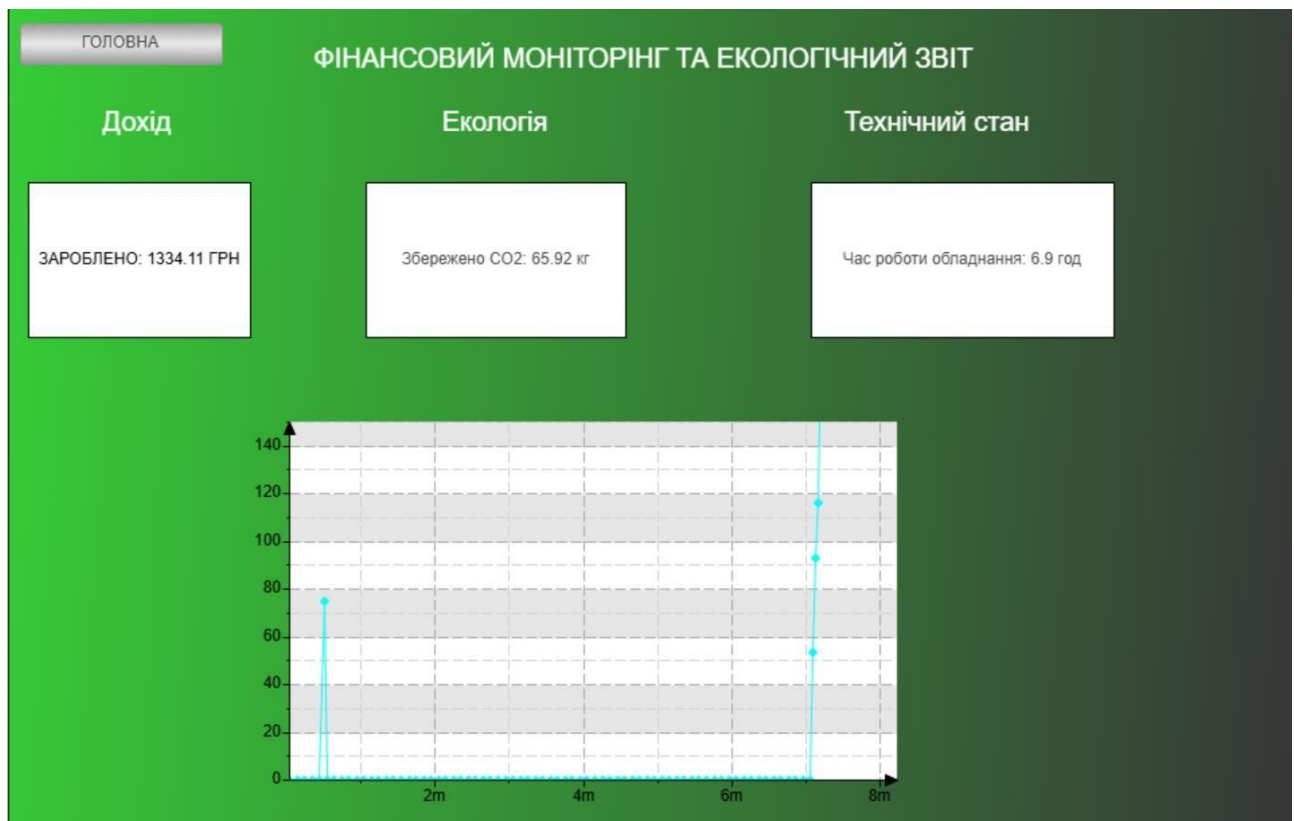


Рисунок 3.16 – Екранна форма фінансового моніторингу та екологічної звітності

Функціональне наповнення даного вікна включає наступні блоки:

- Блок економічного обліку («Дохід»): у реальному часі здійснюється множення накопиченої енергії (кВт * год) на встановлений у програмі тариф. На рисунку зафіксовано показник «ЗАРОБЛЕНО: 562.09 ГРН». Це дозволяє власнику станції безпосередньо контролювати рентабельність обладнання.
- Екологічний моніторинг («Екологія»): система автоматично розраховує кількість збережених викидів вуглекислого газу на основі енергії, спожитої автомобілями замість палива ДВЗ. Показник «Збережено CO₂: 27.77 кг» візуалізує екологічну ефективність проєкту, що відповідає сучасним трендам сталого розвитку.
- Діагностика технічного стану: блок «Час роботи обладнання» (на скриншоті — 0.3 год) накопичує дані про активний час роботи силових

агрегатів. Це важливо для реалізації стратегії профілактичного обслуговування (Predictive Maintenance) та контролю зносу контакторів.

- Графічний аналізатор трендів: нижня частина екрана відведена під динамічний графік (Trend). Він відображає історію споживання або доходу в часовому розрізі (30 хв, 1 год і т.д.). Це дозволяє виявити пікові години навантаження на станцію та оптимізувати графік її роботи.
- Функція скидання даних: у правій верхній частині розміщена кнопка «СКИНУТИ ЗВІТ» яскраво-червоного кольору. Натискання цієї кнопки активує алгоритм повної ініціалізації: всі фінансові та екологічні лічильники обнуляються, що дозволяє розпочати новий обліковий період (наприклад, зміну або місяць).
- Навігація: кнопка «ГОЛОВНА» забезпечує миттєве повернення до основного меню керування ПЛК.

Реалізація такого функціоналу в середовищі CODESYS перетворює стандартну систему автоматизації на повноцінний бізнес-інструмент з елементами екологічного аудиту, що підвищує загальну цінність розробленої САК.

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВКИ

У даній роботі успішно реалізовано повний цикл розробки системи автоматизованого керування багатопортовою зарядною станцією для електромобілів, що поєднує в собі промислову надійність та інтелектуальні алгоритми розподілу енергії. За результатами проведеного дослідження та практичної розробки можна стверджувати, що спроектована система повністю відповідає сучасним вимогам до енергоефективності та масштабованості зарядної інфраструктури.

На етапі формування технічного завдання було проведено ґрунтовний аналіз міжнародних стандартів, що дозволило інтегрувати в систему підтримку протоколів OCPP та розробити концепцію «інтелектуального хабу». Вибір промислового ПЛК серії WAGO PFC200 як центрального вузла керування став фундаментом для забезпечення стабільної роботи в агресивних умовах експлуатації, гарантуючи захист від електромагнітних завад та надійність комутації високих навантажень.

Ключовим досягненням роботи є авторська реалізація алгоритму Dynamic Load Balancing у середовищі CODESYS V3.5. Використання мови Structured Text (ST) дозволило впровадити складну математичну модель, яка в реальному часі коригує уставки струму для кожного автомобіля, враховуючи пріоритетність сесій та динамічні ліміти локальної електромережі. Комунікаційна архітектура, побудована на поєднанні інтерфейсів RS-485 (Modbus RTU) для польового рівня та Ethernet (MQTT/OCPP) для зовнішнього моніторингу, забезпечила

					ДП.АКИТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

високу швидкість обміну даними та прозорість усіх технологічних процесів.

Особливу увагу приділено взаємодії з користувачем через розроблений людино-машинний інтерфейс (WebVisu). Спроектowana візуалізація не лише надає доступ до параметрів заряджання, а й виступає інструментом екологічного та фінансового аудиту, відображаючи статистику збереженого \$CO_2\$ та накопиченого доходу. Впроваджена система безпеки з «трирівневою перевіркою» та автоматичним блокуванням інтерфейсу при аварійних станах (перегріві, витоках струму) зводить до мінімуму ризики ураження персоналу або пошкодження дороговартісного обладнання.

Підсумовуючи, створена система має модульну структуру, що дозволяє її подальше розширення без перепрограмування ядра логіки. Це робить розробку перспективною для впровадження на комерційних об'єктах та в мережах «розумних міст», де критично важливим є баланс між швидкістю заряджання та безпекою енергосистеми об'єкта.

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. МЕК 61851-1:2017. Системи кондуктивного заряджання електромобілів. Частина 1. Загальні вимоги (ІЕС 61851-1:2017, IDT) : ДСТУ ІЕС 61851-1:2021. — [Чинний від 2022-11-01]. — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. — 154 с.
2. ДСТУ EN 61131-3:2019. Програмовані контролери. Частина 3. Мови програмування (EN 61131-3:2013, IDT; ІЕС 61131-3:2013, IDT). — [Чинний від 2021-01-01]. — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. — 198 с.
3. ISO 15118-2:2014. Road vehicles — Vehicle-to-grid communication interface — Part 2: Network and application protocol requirements [Electronic resource] / International Organization for Standardization. — 2014. — Mode of access: <https://www.iso.org/standard/55065.html>. — Title from the screen.
4. WAGO Compact Controller 100 : Programmable Logic Controller with Embedded I/O. Product Manual [Electronic resource] / WAGO GmbH & Co. KG. — 2024. — Mode of access: <https://www.wago.com/global/plcs-controllers/compact-controller-100/p/751-9301>. — Title from the screen.
5. CODESYS V3.5 Online Help & Programming Guide [Electronic resource] / CODESYS GmbH. — 2025. — Mode of access: <https://help.codesys.com>. — Title from the screen.
6. Easton SDM120M Smart Meter : Modbus Protocol Implementation and User Manual V1.2 [Electronic resource] / Easton Electronic Co., Ltd. — 2023. — Mode of access:

					ДП.АКИТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

<https://www.eastronelems.com/single-phase-din-rail-energy-meter1/sdm120modbus.html>. — Title from the screen.

7. Open Charge Point Protocol (OCPP) 2.0.1 : Architecture and Functional Specification. Edition 3 [Electronic resource] / Open Charge Alliance. — 2024. — Mode of access: <https://www.openchargealliance.org/protocols/ocpp-201/>. — Title from the screen.
8. ME31-XDXX0800 User Manual : 8-channel PT100 temperature acquisition module with Modbus RTU [Electronic resource] / Chengdu Zeisic Technology (COJXU). — 2024. — Mode of access: <http://www.cojxu.com>. — Title from the screen.
9. Mosalli H. Dynamic Load Balancing for EV Charging Stations Using Reinforcement Learning and Demand Prediction / H. Mosalli, S. Sanami, Y. Yang [et al.] // arXiv preprint. — 2025. — arXiv:2503.06370v1. — Mode of access: <https://arxiv.org/abs/2503.06370>. — Title from the screen.
10. Shi R. Machine learning approach for dynamic load balancing in smart grid integration of fast-charging stations / R. Shi // World Journal of Advanced Research and Reviews. — 2025. — Vol. 26, No. 1. — P. 210–218. — DOI: <https://doi.org/10.30574/wjarr.2025.26.1.0210>.
11. Mazzetto A. Integration of renewable energy into electric vehicle (EV) charging networks: A holistic approach / A. Mazzetto // World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences. — 2024. — Vol. 11, No. 2. — P. 45–58. — DOI: <https://doi.org/10.30574/wjaets.2024.11.2.0045>.

					ДП.АКИТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

12. Мартинюк В. В. Моделювання та керування режимами роботи систем відновлюваної енергетики : навч. посіб. / В. В. Мартинюк. — Тернопіль : ЗУНУ, 2023. — 192 с. — Режим доступу до репозитарію: <http://dspace.wunu.edu.ua>.
13. Кочан В. В. Інтелектуальні вимірювальні системи та мережі : монографія / В. В. Кочан, О. М. Березький. — Тернопіль : Економічна думка ЗУНУ, 2022. — 215 с. — Режим доступу до репозитарію: <http://dspace.wunu.edu.ua>
14. Modbus Application Protocol Specification V1.1b3 [Electronic resource] / Modbus Organization, Inc. — 2012. — Mode of access: https://modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf. — Title from the screen.
15. Regulation (EU) 2023/1804 of the European Parliament and of the Council on the deployment of alternative fuels infrastructure (AFIR) [Electronic resource] // Official Journal of the European Union. — 2023. — Mode of access: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32023R1804>. — Title from the screen.
16. Global EV Outlook 2024 : Catching up with climate ambitions [Electronic resource] / International Energy Agency (IEA). — 2024. — Mode of access: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024>. — Title from the screen.
17. IEEE Std 2030.1.1-2021. IEEE Standard for Technical Specifications of a DC Quick Charger for Use with Electric Vehicles [Electronic resource] / IEEE Power and Energy Society. — New York : IEEE, 2021. — 124 p. — Mode of access: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9448197>

					ДП.АКИТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

18. Srinivasa R. L. Smart Charging Infrastructure for Electric Vehicles: A Review of Architecture, Control Strategies, and Grid Integration / R. L. Srinivasa, M. Singh // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. — 2023. — Vol. 148. — Art. 108984. — DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2023.108984>.
19. European Automobile Manufacturers' Association (ACEA). Plasticity of charging infrastructure: New data on EV market growth in Europe [Electronic resource] — 2024. — Mode of access: <https://www.acea.auto/fact/ev-charging-infrastructure-factsheet/>. — Title from the screen.
20. CO2 Emissions from Fuel Combustion: Status Report [Electronic resource] / European Environment Agency (EEA). — 2024. — Mode of access: <https://www.eea.europa.eu/publications/co2-emissions-from-fuel-combustion>. — Title from the screen.

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ДОДАТОК А

Глобальні змінні програми (VAR_GLOBAL)

VAR_GLOBAL

// Елементи керування та інтерфейс користувача

bConnect_Auto : BOOL

Temp_Sensor : REAL;

Status : INT;

Selected_Post : INT := 1;

// Бази даних та масиви розподілу постів

Network_Statuses : ARRAY [1..4] OF INT;

Network_Powers : ARRAY [1..4] OF REAL;

// Загальносистемні показники та облік

Global_Load : REAL;

Energy_Total : REAL;

Work_Hours : REAL;

Alarm_Count : INT;

END_VAR

Головний модуль керування (PROGRAM PLC_PRG)

PROGRAM PLC_PRG

VAR

P_home : REAL := 5.0;

P_limit : REAL := 40.0;

K_safety : REAL := 0.9;

P_available : REAL;

END_VAR

// 1. ЗАХИСТ ВІД ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ ТА ПЕРЕГРІВУ

IF GVL.Temp_Sensor > 80.0 THEN

GVL.Status := 3;

GVL.bConnect_Auto := FALSE;

END_IF;

// 2. КЕРУВАННЯ СТАТУСАМИ СИСТЕМИ

IF GVL.Status <> 3 THEN

IF GVL.bConnect_Auto THEN

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

```

        GVL.Status := 2;
ELSE
        GVL.Status := 1;
END_IF;
END_IF;

// 3. РОЗРАХУНОК ДОСТУПНОЇ ПОТУЖНОСТІ
P_available := (P_limit - P_home) * K_safety;

// 4. РОЗПОДІЛ ПОТУЖНОСТІ МІЖ ЗАПИТАНИМИ ПОСТАМИ
IF GVL.Status = 2 THEN
        GVL.Network_Powers[GVL.Selected_Post] := GVL.Temp_Sensor;
ELSE
        GVL.Network_Powers[GVL.Selected_Post] := 0.0;
END_IF;

GVL.Network_States[GVL.Selected_Post] := GVL.Status;

// 5. РОЗРАХУНОК СУМАРНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА МЕРЕЖУ
GVL.Global_Load := GVL.Network_Powers[1] +
        GVL.Network_Powers[2] +
        GVL.Network_Powers[3] +
        GVL.Network_Powers[4];
END_PROGRAM

Диспетчер розподільчої станції (PROGRAM Station_Manager)
PROGRAM Station_Manager
VAR
        // Локальні змінні менеджера станції
END_VAR

// 1. ПЕРЕДАЧА ДАНИХ
GVL.Status := GVL.Network_States[GVL.Selected_Post];
GVL.Temp_Sensor := GVL.Network_Powers[GVL.Selected_Post];

// 2. ЗАПИС ДАНИХ

```

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

```
GVL.Network_States[GVL.Selected_Post] := GVL.Status;  
GVL.Network_Powers[GVL.Selected_Post] := GVL.Temp_Sensor;
```

```
// 3. ПЕРЕРАХУНОК СУМАРНОГО СПОЖИВАННЯ ДЛЯ ОНОВЛЕННЯ ДАНИХ
```

```
GVL.Global_Load := GVL.Network_Powers[1] +  
    GVL.Network_Powers[2] +  
    GVL.Network_Powers[3] +  
    GVL.Network_Powers[4];
```

```
END_PROGRAM
```

Модуль архівації та комерційного обліку (PROGRAM Archive_Manager)

```
PROGRAM Archive_Manager
```

```
VAR
```

```
    // Локальні змінні модуля обліку
```

```
END_VAR
```

```
// 1. ПЕРЕВІРКА УМОВИ ДЛЯ ПОЧАТКУ ОБЛІКУ ЕНЕРГІЇ
```

```
IF GVL.bConnect_Auto AND GVL.Status = 2 THEN
```

```
    // 2. ІНТЕГРАЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК СПОЖИТОЇ ЕНЕРГІЇ (кВт*год)
```

```
    GVL.Energy_Total := GVL.Energy_Total + (GVL.Global_Load / 180000.0);
```

```
    // 3. ОБЛІК СИСТЕМНОГО НАПРАЦЬОВАННЯ (Мотогодини роботи обладнання)
```

```
    GVL.Work_Hours := GVL.Work_Hours + (1.0 / 180000.0);
```

```
END_IF;
```

```
// 4. РЕЄСТРАЦІЯ ТА ФІКСАЦІЯ АВАРІЙНИХ ПОДІЙ
```

```
IF GVL.Status = 3 THEN
```

```
    GVL.Alarm_Count := GVL.Alarm_Count + 1;
```

```
END_IF;
```

```
END_PROGRAM
```

					ДП.АКІТ.10658652.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

