

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

МАТУШ Дмитро Сергійович

**Розроблення автоматизованої системи моніторингу та
аналізу електроспоживання/Development of an Automated
System for Monitoring and Analysis of Electricity
Consumption**

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи АКІТ - 41
Д. С. Матуш

Науковий керівник
д.т.н., професор
Я.М. Николайчук

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

“ ” 2026 р.

З А В Д А Н Н Я

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

МАТУШ Дмитру Сергійовичу

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи

Розроблення автоматизованої системи моніторингу та аналізу
електроспоживання
керівник роботи д.т.н., проф. Николайчук Я.М.

затверджені наказом по університету від "24" квітня 2026 р. №266.

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

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи:

1. Відомості про системи моніторингу та аналізу електроспоживання
2. Види систем моніторингу та аналізу даних про споживання електроенергії
3. Засоби автоматизації технологічних процесів моніторингу, збору,
передавання, обробки та аналізу даних (електролічильники, ПЛК, засоби
зв'язку, НМІ)

4. Основні питання, які потрібно розробити:

1. Аналіз систем моніторингу та аналізу електроспоживання
2. Розроблення структури системи моніторингу та аналізу
електроспоживання
3. Розроблення системи автоматизації моніторингу та аналізу
електроспоживання

5. Перелік графічного матеріалу у роботі:

1. Структурна схема автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання
2. Функціональна схема автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання
3. Блок-схема алгоритму функціонування системи автоматизованої моніторингу та аналізу електроспоживання
4. Блок-схема алгоритму роботи автоматизованої моніторингу та аналізу електроспоживання

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Николайчук Я.М.		
2	Николайчук Я.М.		
3	Николайчук Я.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 завдання кафедри. Складання технічного завдання. Підбір та аналіз літератури і першоджерел	01.12.2025р. – 15.01.2026р.	
2	Аналіз автоматизованих систем моніторингу та аналізу електроспоживання, дослідження їх структури та принципів роботи	16.01.2026р. – 15.03.2026р.	
3	Розроблення автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання	16.03.2026р. – 30.04.2026р.	
4.	Остаточне оформлення та подача кваліфікаційної роботи на перевірку щодо плагіату	01.05.2026р. – 25.05.2026	

Студент

(підпис)

Матуш Д.С.

Керівник роботи

(підпис)

д.т.н., проф. Николайчук Я.М.

АНОТАЦІЯ

Матуш Д.С. Розроблення автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання. – Рукопис.

Дослідження на здобуття ступеня «бакалавр» за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». – ЗУНУ, Тернопіль, 2026.

Проаналізовано системи обліку електроспоживання та автоматизовані системи моніторингу та аналізу. Розглянуто їх структуру та принцип роботи. Розроблено структуру системи, структурну і функціональну схеми, алгоритм та блок-схеми. Обґрунтовано вибір технічного забезпечення системи. Розроблено програмне забезпечення для автоматизованого моніторингу, збору, обробки, аналізу та збереження даних, виконано моделювання системи.

Система забезпечує автоматизацію процесів моніторингу та аналізу електроспоживання, підвищує точність обліку та ефективність управління енергоспоживанням.

ANNOTATION

Matush D.S. Development of an Automated System for Monitoring and Analysis of Electricity Consumption. – Manuscript.

Bachelor's degree research in specialty 151 "Automation and Computer-Integrated Technologies". – WUNU, Ternopil, 2026.

The systems of electricity consumption metering and automated monitoring and analysis systems have been analyzed. Their structure and operating principles have been considered. The system structure, structural and functional diagrams, algorithm, and flowcharts have been developed. The selection of the system's technical equipment has been substantiated. Software for automated monitoring, data acquisition, processing, analysis, and storage has been developed, and system modeling has been performed. The developed system ensures the automation of monitoring and analysis processes of electricity consumption, improves metering accuracy, and increases the efficiency of energy management.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	10
1.1 Системи обліку електроенергії.....	10
1.2 Види електролічильників.....	15
1.3 Автоматизовані системи моніторингу та аналізу електроспоживання.....	23
1.4 Висновок до розділу 1.....	36
2. АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТА АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ.....	37
2.1 Функціональне призначення автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання.....	37
2.2 Розроблення структурної схеми автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання.....	41
2.3 Розробка функціональної схеми автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання.....	42
2.4 Розробка алгоритму функціонування автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання.....	46
2.5 Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації системи.....	50
2.6 Висновки до розділу 2.....	64
3. РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ.....	66
3.1 Математичне та інформаційне моделювання системи.....	66
3.2 Моделювання характеристик автоматизованої системи.....	82
3.3 Розробка алгоритму роботи системи.....	88
3.4 Програмна реалізація системи.....	93

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Матуш Д.С.			Розроблення автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання			Літ.	Арк.	Акрушів	
Перевірив.		Николайчук Я.								5	118
Консульт.		Николайчук Я.						ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41			
Н. Контр.		Заставний О.М.									
Затверд.		Сегін А.І.									

3.5	Висновки до розділу 3.....	113
	ВИСНОВКИ.....	115
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	117
	ДОДАТКИ.....	119

					ДП.АКІТ. 10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

АСМАЕ – автоматизована система моніторингу та аналізу електроспоживання

АСКОЕ – автоматизована система комерційного обліку електричної енергії

AMI – advanced metering infrastructure (інфраструктура інтелектуального обліку)

HES – head-end system (система збору даних з лічильників)

MDMS – meter data management system (система управління даними обліку)

ПЛК – програмований логічний контролер

ПЗ – програмне забезпечення

БД – база даних

RS-485 – послідовний інтерфейс передавання даних

Modbus – промисловий протокол обміну даними

DLMS/COSEM – стандарт обміну даними в системах обліку електроенергії

MQTT – message queuing telemetry transport (протокол передачі телеметрії)

HMI – людино-машинний інтерфейс

ЛЕП – лінія електропередачі

ТТ – трансформатор струму

ТН – трансформатор напруги

					ДП.АКІТ. 10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний розвиток енергетики характеризується активною цифровізацією та впровадженням автоматизованих систем моніторингу, збору, передавання, обробки та аналізу даних [3, 7]. Особливого значення ці процеси набувають у сфері обліку електроенергії, де своєчасне отримання достовірної інформації про електроспоживання є основою ефективного управління енергоресурсами, зниження втрат та підвищення енергоефективності.

У сучасних умовах традиційні методи обліку електроенергії, що базуються на ручному зчитуванні показів, не відповідають вимогам оперативності, точності та надійності [4, 8]. Це зумовлює необхідність впровадження автоматизованих систем, які забезпечують безперервний моніторинг параметрів електроспоживання, автоматичний обмін інформацією між елементами системи та її інтеграцію з інформаційними ресурсами.

Автоматизовані системи моніторингу та аналізу електроспоживання є складними технічними об'єктами, що поєднують вимірювальні пристрої, програмовані логічні контролери, канали зв'язку, програмне забезпечення та бази даних у єдину інформаційно-керуючу структуру. Їх застосування дозволяє реалізувати автоматизацію процесів контролю, аналізу та управління електроспоживанням.

Актуальність теми полягає у необхідності підвищення рівня автоматизації процесів моніторингу та аналізу електроспоживання що забезпечує підвищення точності обліку, оперативності отримання інформації та ефективності управління енергоспоживанням.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення структури, алгоритмів функціонування та програмної реалізації автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі**:

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		8

- провести аналіз існуючих автоматизованих систем моніторингу та аналізу електроспоживання;
- розробити структуру автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання;
- синтезувати структурну та функціональну схеми автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання;
- розробити алгоритм функціонування автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання;
- обґрунтувати вибір технічних засобів автоматизації системи;
- розробити програмне забезпечення автоматизованої системи;
- виконати моделювання роботи автоматизованої системи та провести аналіз її функціонування.

Об’єктом дослідження є процеси автоматизованого моніторингу та аналізу електроспоживання.

Предметом дослідження є методи, засоби та алгоритми автоматизації моніторингу, збору, передавання та аналізу даних електроспоживання

Методи дослідження включають методи системного аналізу, математичного та інформаційного моделювання, алгоритмізації та програмування, а також методи проектування автоматизованих систем.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробленні автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання, яка забезпечує безперервний контроль параметрів електроспоживання, підвищує точність обліку, оперативність отримання інформації та ефективність аналізу енергетичних процесів.

Розроблена система може бути використана на об’єктах промислового, комерційного та побутового призначення для підвищення енергоефективності та оптимізації використання електроенергії.

Апробація результатів роботи. Основні результати дослідження були представлені на 4-й Міжнародній науково-практичній конференції «Modern Problems of Science and Technology» (4-6 травня 2026 | Таллінн, Естонія).

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		9

1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

Сфера моніторингу та аналізу електроспоживання в останні роки зазнає суттєвих змін у напрямі цифровізації та інтеграції з інформаційними системами підприємств і операторів енергетичного ринку. Якщо раніше основною функцією лічильника було накопичення показів для подальшого ручного зчитування, то сучасні системи передбачають дистанційний збір даних, багатотарифний облік, реєстрацію подій, контроль профілів навантаження та інтеграцію з верхнім рівнем моніторингу й аналізу даних [6, 7]. Саме така багаторівнева побудова відповідає сучасним підходам АМІ, де польові пристрої, комунікаційна мережа, HES та MDMS розглядаються як взаємопов'язані складові єдиної системи [9].

У межах об'єктів промислового, комерційного або житлового призначення автоматизована система повинна забезпечувати не лише вимірювання спожитої електроенергії, а й підготовку даних для подальшого аналізу. Це означає, що система має виконувати щонайменше п'ять груп функцій: вимірювання, передавання, накопичення, аналіз та візуалізацію. Крім того, для підвищення надійності та придатності до масштабування важливим є використання стандартизованих протоколів обміну, зокрема DLMS/COSEM, Modbus, а на верхньому рівні – MQTT або HTTP API.

1.1 Системи обліку електроенергії

Системи обліку електроенергії є важливою складовою сучасної енергетичної інфраструктури, оскільки саме вони забезпечують вимірювання, реєстрацію, передавання, накопичення та подальший аналіз інформації про споживання електричної енергії. У найпростішому випадку облік зводиться до фіксації кількості спожитої електроенергії за певний проміжок часу, однак у сучасних умовах функції таких систем значно ширші. Вони охоплюють контроль режимів навантаження, побудову профілів споживання, виявлення аварійних та

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

нештатних станів, аналіз якості електроенергії, інформаційну підтримку розрахунків за спожиту енергію, а також створення бази для впровадження енергоощадних заходів. Саме тому система обліку електроенергії сьогодні розглядається не лише як сукупність лічильників, а як повноцінна автоматизована система моніторингу та аналізу електроспоживання.

Традиційний підхід до обліку електроенергії базувався на використанні окремих електролічильників, покази яких знімалися вручну через певні проміжки часу. Такий спосіб був прийнятним для невеликих об'єктів і відносно простих схем електропостачання, однак він має суттєві обмеження. Передусім це низька оперативність отримання інформації, неможливість безперервного контролю режимів навантаження, значна залежність від людського фактора та обмежені можливості аналітичної обробки та аналізу даних. За відсутності автоматизованого каналу передавання інформації важко своєчасно виявити втрати, перевищення договірної потужності, несанкціоноване втручання або нестандартні режими роботи мережі. Саме ці недоліки зумовили перехід від локального ручного обліку до побудови автоматизованих систем.

У сучасній енергетиці системи обліку електроенергії розвиваються в напрямі інтеграції з цифровими мережами, серверами обробки та аналізу даних і програмними платформами аналітики. У міжнародній практиці для таких рішень широко використовується поняття AMI (Advanced Metering Infrastructure) [7, 9]. За підходом ІЕС, AMI охоплює інтелектуальні лічильники, канали зв'язку, системи верхнього рівня та інтерфейси з корпоративними інформаційними ресурсами. У такій інфраструктурі дані не просто накопичуються в приладі обліку, а циркулюють між польовими пристроями, системами збору, системами управління даними та прикладними сервісами, зокрема білінгом, енергоменеджментом і диспетчеризацією. Це означає, що система обліку електроенергії перетворюється на складний комп'ютерно-інтегрований комплекс, що повністю відповідає напряду підготовки фахівців зі спеціальності 151.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		11

З позиції автоматизації систему обліку електроенергії доцільно розглядати як багаторівневу структуру, у якій окремі підсистеми виконують різні функції. На нижньому рівні знаходяться первинні засоби вимірювання – електролічильники, аналізатори параметрів мережі, трансформатори струму та напруги, а також допоміжні датчики. Саме цей рівень формує первинну інформацію про електроспоживання. На середньому рівні розташовуються засоби передавання та концентрації даних: інтерфейсні модулі, комунікаційні шлюзи, концентратори, модеми, контролери збору інформації. Їх призначення полягає у забезпеченні обміну даними між лічильниками та верхнім рівнем системи. Верхній рівень представлений серверними та програмними засобами – системами збору, валідації, архівації, візуалізації та аналітики. Саме на цьому рівні інформація набуває завершеного вигляду і стає придатною для проведення аналізу та прийняття управлінських рішень.

Для сучасних систем обліку особливо важливою є наявність систем HES (Head-End System) та MDM/MDMS (Meter Data Management System). ІЕС прямо вказує, що HES управляє обміном даними з лічильниками та контролює WAN/LAN-комунікації, тоді як MDM взаємодіє з корпоративними системами та забезпечує централізоване керування даними вимірювань. Іншими словами, HES виконує функції прийому, опитування, контролю зв'язку та первинної маршрутизації, а MDMS – функції довготривалого збереження, логічної обробки та аналізу, структуризації та підготовки даних до подальшого використання. Такий розподіл функцій є фундаментальним для будь-якої великої автоматизованої системи обліку. Для кваліфікаційної роботи це важливо, оскільки дозволяє чітко розділити рівні вимірювання, зв'язку та інформаційної обробки в проєктованій системі.

Побудова систем обліку електроенергії тісно пов'язана з питанням стандартизації обміну даними. Одним із найпоширеніших міжнародних підходів є використання стандарту DLMS/COSEM, який, за даними DLMS User Association, базується на клієнт-серверній моделі, де кінцеві пристрої обліку виступають серверами, а head-end системи або концентратори – клієнтами.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		12

Практичне значення цього підходу полягає в тому, що система може об'єднувати обладнання різних виробників і при цьому зберігати інтероперабельність, тобто сумісність на рівні структури даних і протоколів обміну. Для автоматизованих систем обліку це критично, оскільки в реальних умовах енергетичної інфраструктури часто співіснують різнотипні прилади, канали зв'язку та програмні комплекси.

Якщо розглядати системи обліку електроенергії з точки зору функціонального призначення, їх можна умовно поділити на кілька груп. Першу групу становлять локальні системи технічного обліку, які використовуються на окремих об'єктах – у квартирах, приватних будинках, офісах, навчальних установах, невеликих виробництвах. Їхнім основним завданням є контроль внутрішнього споживання електроенергії, побудова графіків навантаження та оцінювання енергоефективності. Такі системи зазвичай мають обмежену кількість точок обліку, простішу комунікаційну архітектуру та відносно компактне програмне забезпечення. Водночас вони є важливими, оскільки саме в цьому класі систем найчастіше реалізуються навчальні, дослідницькі та прикладні проекти в галузі автоматизації.

До другої групи належать автоматизовані системи комерційного обліку, які орієнтовані на офіційний облік електроенергії для взаєморозрахунків між постачальником і споживачем. Для них характерні підвищені вимоги до метрологічної точності, захищеності, архівації даних, синхронізації часу та юридичної значущості інформації. У таких системах велике значення мають не лише технічні параметри обладнання, а й відповідність стандартам, правилам ринку електроенергії та вимогам інформаційної безпеки. Автоматизація тут має забезпечити не лише комфорт доступу до даних, а й достовірність, цілісність та неможливість непомітного втручання в результати обліку.

Третю групу становлять інтелектуальні системи обліку, які є частиною концепції Smart Grid. Такі системи не обмежуються лише збором показів, а забезпечують підтримку профілів навантаження, автоматизовану діагностику, взаємодію з системами керування попитом, можливість віддаленого

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		13

налаштування приладів, а також обмін даними в двох напрямках. У такій парадигмі система обліку перестає бути лише вимірювальним комплексом і стає елементом кіберфізичної системи.

З технічної точки зору важливо розуміти, що система обліку електроенергії виконує не одну, а цілу сукупність функцій. Першою і базовою є вимірювальна функція, тобто реєстрація параметрів електричної енергії. Другою є інформаційно-транспортна функція, що забезпечує передавання даних до вищого рівня. Третьою є обчислювально-аналітична функція, яка включає валідацію, оцінювання, узагальнення та формування підсумкових показників. Четвертою є візуалізаційна функція, що полягає у відображенні інформації у вигляді таблиць, графіків, звітів і панелей моніторингу. П'ятою є керуюча функція, оскільки сучасні інтелектуальні системи можуть передавати команди конфігурування, віддалено змінювати параметри опитування або взаємодіяти з іншими підсистемами енергетичної мережі. Саме сукупність цих функцій робить систему обліку предметом автоматизації та комп'ютерної інтеграції.

Особливого значення в сучасних системах набуває питання якості даних. У реальних умовах експлуатації на систему впливають обриви зв'язку, помилки синхронізації часу, дублювання повідомлень, неповні пакети даних, а також аварійні стани мережі. Саме тому на верхньому рівні реалізуються процедури перевірки, оцінювання та редагування вимірювань. У міжнародній практиці ці процедури відомі як VEE (Validation, Estimation, Editing). Наявність таких механізмів свідчить, що система обліку повинна бути не просто транспортом "сирих" значень, а інтелектуальною системою підготовки достовірної інформації для подальшого аналізу та прийняття рішень.

З точки зору автоматизації, системи обліку електроенергії доцільно розглядати не лише як енергетичні, але й як автоматизовані технічні системи, в яких відбувається перетворення фізичних параметрів у цифрову інформацію, її передавання каналами зв'язку, програмна обробка та аналіз, інтеграція з базами даних та формування керівної інформації для користувача або оператора. Тобто система обліку поєднує в собі ознаки вимірювальної системи, інформаційної

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		14

системи та системи диспетчерського моніторингу. Такий міждисциплінарний характер робить тему особливо актуальною саме для фахівця з автоматизації, який повинен уміти проєктувати не тільки окремий датчик чи лічильник, а всю архітектуру моніторингу, передавання та аналізу даних.

1.2 Види електролічильників

Електролічильники є основними первинними вимірювальними засобами [4] в системах обліку електроенергії, оскільки саме вони здійснюють безпосереднє вимірювання кількості спожитої електричної енергії. Від точності, функціональних можливостей і технічних характеристик електролічильників залежить ефективність роботи всієї автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання.

З точки зору автоматизації електролічильник виконує функцію перетворення електричних величин (струму, напруги, потужності) у цифрову інформацію, придатну для подальшої передачі, збереження та обробки. Таким чином, він є невід’ємною частиною інформаційно-вимірювального каналу автоматизованої системи.

Сучасні електролічильники класифікуються за кількома основними ознаками: принципом дії, функціональними можливостями, кількістю фаз, способом підключення та призначенням.

1.2.1 Класифікація за принципом дії

За принципом дії електролічильники поділяються на електромеханічні та електронні.

Електромеханічні лічильники є найбільш простими та історично першими приладами обліку. В їх основі лежить індукційний принцип, за якого обертання алюмінієвого диска відбувається під дією електромагнітного поля, що створюється струмовими та напруговими котушками. Кількість обертів диска пропорційна спожитій електроенергії.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15

До основних переваг електромеханічних лічильників належать простота конструкції, надійність у роботі та відносно низька вартість. Водночас вони мають ряд суттєвих недоліків: низьку точність, зношування механічних елементів, обмежені функціональні можливості та відсутність інтерфейсів для передачі даних. Саме тому їх використання в сучасних автоматизованих системах обліку є обмеженим.

Електронні (цифрові) лічильники працюють на основі вимірювання електричних параметрів за допомогою електронних компонентів і подальшої цифрової обробки сигналів. У таких пристроях струм і напруга перетворюються в цифрову форму за допомогою аналого-цифрових перетворювачів, після чого обчислюється спожита електроенергія.

Перевагами електронних лічильників є висока точність, відсутність рухомих частин, можливість збереження даних, підтримка багатотарифного обліку та наявність інтерфейсів зв'язку. Саме ці властивості роблять їх основою сучасних автоматизованих систем обліку.

1.2.2 Інтелектуальні (smart) електролічильники

Окрему групу становлять інтелектуальні або “розумні” електролічильники (smart meters), які є складовою частиною автоматизованих систем обліку електроенергії.

Smart-лічильники, на відміну від звичайних електронних, мають розширений функціонал, що включає:

- автоматичний збір даних;
- передавання інформації каналами зв'язку;
- підтримку двостороннього обміну;
- збереження профілів навантаження;
- реєстрацію подій і аварійних ситуацій;
- можливість дистанційного налаштування.

З точки зору автоматизації такі лічильники виступають як інтелектуальні вузли системи, які не лише вимірюють, а й обробляють інформацію на локальному рівні. Вони можуть працювати у складі АМІ-систем, передаючи дані до систем збору (HES) і подальшої обробки (MDMS).

Застосування smart-лічильників дозволяє реалізувати концепцію Smart Grid, у якій електроенергетична система функціонує як інтегрована цифрова мережа.

1.2.3 Класифікація за кількістю фаз

За кількістю фаз електролічильники поділяються на однофазні та трифазні.

Однофазні лічильники використовуються в побутових електромережах із напругою 220 В. Вони призначені для обліку електроенергії в житлових будинках, квартирах та невеликих об'єктах.

Трифазні лічильники застосовуються в промисловості та на підприємствах, де використовується трифазна система електропостачання. Вони дозволяють вимірювати електроенергію в кожній фазі та забезпечують більш точний контроль навантаження.

Застосування трифазних лічильників є необхідним у системах з великим енергоспоживанням, де важливо враховувати баланс фаз і рівномірність навантаження.

1.2.4 Класифікація за способом підключення

За способом підключення електролічильники поділяються на:

- лічильники прямого включення;
- лічильники трансформаторного включення.

Лічильники прямого включення підключаються безпосередньо до електричної мережі і використовуються при невеликих значеннях струму.

Лічильники трансформаторного включення застосовуються в мережах із великими струмами. У цьому випадку вимірювання здійснюється через

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		17

трансформатори струму та напруги, що дозволяє зменшити навантаження на вимірювальний прилад і підвищити безпеку.

1.2.5 Класифікація за функціональними можливостями

Залежно від функціональних можливостей електролічильники поділяються на:

- однотарифні;
- багатотарифні;
- багатофункціональні.

Однотарифні лічильники враховують електроенергію за єдиним тарифом незалежно від часу доби.

Багатотарифні лічильники дозволяють враховувати електроенергію за різними тарифами, що змінюються залежно від часу. Це дає змогу оптимізувати витрати електроенергії.

Багатофункціональні лічильники здатні вимірювати не лише енергію, але й інші параметри:

- напругу;
- струм;
- частоту;
- коефіцієнт потужності;
- активну і реактивну потужність.

Такі лічильники широко використовуються в автоматизованих системах, оскільки дозволяють отримувати розширену інформацію про стан електромережі.

1.2.6 Вимоги до електролічильників у автоматизованих системах

Для використання в автоматизованих системах моніторингу та аналізу електроспоживання електролічильники повинні відповідати ряду вимог:

- висока точність вимірювання;

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		18

- наявність інтерфейсів зв'язку (RS-485, Ethernet, бездротові технології);
- підтримка стандартних протоколів обміну;
- можливість збереження даних;
- стійкість до зовнішніх впливів;
- надійність та довговічність.

Використання сучасних електролічильників із цифровими інтерфейсами дозволяє інтегрувати їх у автоматизовані системи та забезпечити ефективний обмін даними.

У результаті аналізу встановлено, що електролічильники є ключовими елементами систем обліку електроенергії та визначають точність і функціональність усієї системи.

Найбільш перспективними для використання в автоматизованих системах є електронні та інтелектуальні лічильники, оскільки вони забезпечують:

- високу точність;
- можливість автоматичного збору даних;
- інтеграцію з інформаційними системами.

Отже, при розробленні автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання доцільно використовувати сучасні електронні або smart-лічильники, що забезпечують ефективну взаємодію з іншими компонентами системи.

1.2.7 Огляд існуючих електролічильників

У сучасних автоматизованих системах обліку електроенергії використовуються різні типи електролічильників, що відрізняються функціональними можливостями, точністю та рівнем інтеграції в інформаційні системи. Нижче наведено огляд найбільш поширених сучасних електролічильників, які застосовуються у складі автоматизованих систем.

Електролічильники Landis+Gyr (серія E360, E550) зображено на рис.1.1.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19



Рисунок 1.1 – Електролічильники Landis+Gyr (серія E360, E550) [14]

Одним із провідних виробників електролічильників є компанія Landis+Gyr, яка розробляє рішення для інтелектуальних мереж та автоматизованих систем обліку.

Лічильники серії E360 та E550 є сучасними цифровими приладами, що підтримують функції автоматизованого обліку. Вони можуть працювати у складі АМІ-систем і забезпечують двосторонній обмін даними.

Основні характеристики:

- вимірювання активної та реактивної енергії;
- підтримка багатотарифного обліку;
- наявність комунікаційних інтерфейсів;
- збереження профілів навантаження;
- дистанційне керування.

Особливістю цих лічильників є можливість інтеграції з системою Gridstream, яка дозволяє здійснювати централізований збір і обробку даних.

Електролічильники Itron (серія ACE) зображено на рис.1.2.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		20



Рисунок 1.2 – Електролічильники Itron (серія ACE) [15]

Компанія Itron є одним із світових лідерів у сфері розробки smart metering рішень.

Лічильники серії ACE (зокрема ACE SL7000) використовуються як у побутовому, так і в промисловому секторі. Вони підтримують функції інтелектуального обліку та інтеграції в автоматизовані системи.

Основні можливості:

- високоточне вимірювання електроенергії;
- підтримка інтервального обліку;
- передача даних у режимі реального часу;
- інтеграція з AMI та MDMS;
- контроль якості електроенергії.

Ці лічильники широко застосовуються в системах енергетичних компаній та підприємств.

Електролічильники Siemens (серія SENTRON PAC) зображено на рис.1.3.



Рисунок 1.3 – Електролічильники Siemens (серія SENTRON PAC) [16]

Компанія Siemens пропонує серію електролічильників SENTRON PAC, які призначені для вимірювання параметрів електроенергії в промислових мережах.

Основні функції:

- вимірювання електричних параметрів (струм, напруга, потужність);
- облік активної та реактивної енергії;
- моніторинг якості електроенергії;
- передача даних через стандартні інтерфейси (Modbus, Ethernet).

Ці прилади використовуються в системах енергомоніторингу підприємств і є складовою автоматизованих систем.

Електролічильники Schneider Electric (серія PowerLogic) зображено на рис.1.3.



Рисунок 1.4 – Електролічильники Schneider Electric (серія PowerLogic) [17]

Компанія Schneider Electric виробляє електролічильники серії PowerLogic, які широко застосовуються в автоматизованих системах енергомоніторингу.

Основні характеристики:

- вимірювання електричних параметрів;
- аналіз якості електроенергії;
- інтеграція з системою EcoStruxure;
- підтримка промислових протоколів.

Такі лічильники використовуються переважно на підприємствах і в комерційних об'єктах.

Проведений огляд показує, що сучасні електролічильники є високотехнологічними пристроями, які виконують не лише функцію вимірювання, але й забезпечують обмін даними та інтеграцію в автоматизовані системи.

Найбільш перспективними є інтелектуальні електролічильники, які:

- підтримують автоматизований збір даних;
- мають комунікаційні інтерфейси;
- забезпечують двосторонній зв'язок;
- інтегруються в системи обробки даних.

Отже, при розробленні автоматизованої системи доцільно використовувати сучасні цифрові або smart-лічильники, які відповідають вимогам автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

1.3 Автоматизовані системи моніторингу та аналізу електроспоживання

Автоматизовані системи обліку та моніторингу електроспоживання (АСОМЕ) являють собою комплекс технічних і програмних засобів [1, 3], призначених для автоматичного збору, передавання, обробки, аналізу, збереження та аналізу даних про електроспоживання. Впровадження таких систем є необхідним етапом розвитку сучасної енергетики, оскільки вони

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

дозволяють забезпечити підвищення точності обліку, оперативність отримання інформації та ефективне управління енергоресурсами.

На відміну від традиційних систем моніторингу та аналізу, автоматизовані системи забезпечують безперервний контроль параметрів електроспоживання, що дозволяє не лише фіксувати обсяг спожитої електроенергії, але й аналізувати режими роботи електромережі, виявляти перевантаження, втрати та несанкціоноване використання електроенергії.

З точки зору автоматизації АСМАЕ є складною багаторівневою системою, яка інтегрує вимірювальні пристрої, канали зв'язку, сервери обробки даних та програмні засоби в єдину інформаційну структуру.

1.3.1 Структура автоматизованих систем

З точки зору автоматизації АСОМЕ є складною багаторівневою системою, яка інтегрує вимірювальні пристрої, канали зв'язку, сервери обробки та аналізу даних і програмні засоби в єдину інформаційну структуру.

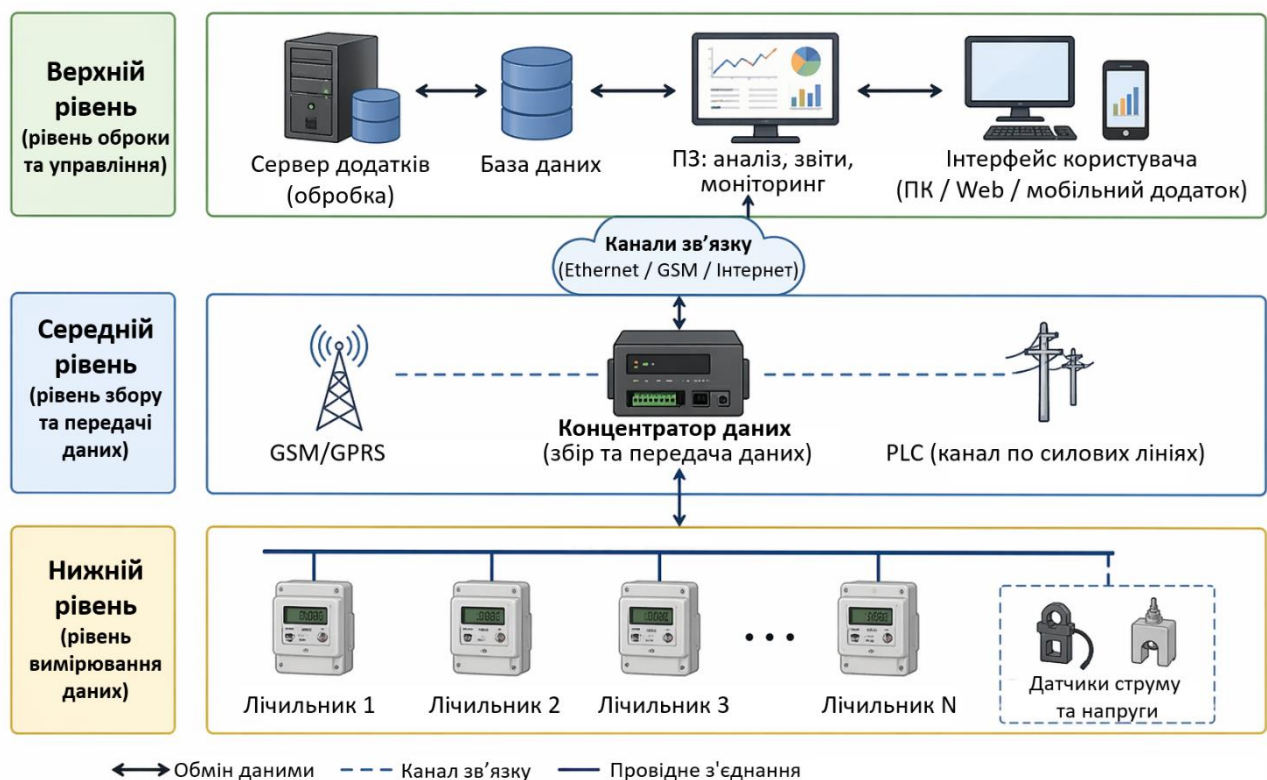


Рисунок 1.9 – Типова структурна схема автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання

Нижній рівень (рівень вимірювання даних) включає:

- електролічильники (лічильники);
- датчики електричних параметрів;
- трансформатори струму та напруги.

Цей рівень забезпечує первинне вимірювання електричної енергії та формування даних.

Середній рівень (рівень збору та передачі даних) включає:

- концентратори;
- контролери;
- комунікаційні модулі;
- інтерфейсні перетворювачі.

Основною функцією цього рівня є збір інформації з вимірювальних пристроїв та її передача на верхній рівень.

Верхній рівень (рівень обробки та управління) включає:

- сервери;
- бази даних;
- програмне забезпечення;
- аналітичні системи.

На цьому рівні здійснюється моніторинг, обробка, збереження та аналіз даних, а також їх відображення користувачу.

1.3.2 Основні функції автоматизованих систем

Автоматизовані системи обліку, моніторингу та аналізу електроспоживання виконують широкий спектр функцій [4], серед яких основними є:

- моніторинг;
- автоматичний збір даних з електролічильників;
- передавання інформації каналами зв'язку;
- збереження даних у базах даних;

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- моніторинг параметрів електроспоживання;
- аналіз електроспоживання;
- формування звітів;
- контроль навантаження;
- виявлення аварійних ситуацій;
- дистанційне керування обладнанням.

Особливістю таких систем є можливість роботи в режимі реального часу або з мінімальною затримкою, що дозволяє оперативно реагувати на зміни в режимах електроспоживання та стані електромережі.

1.3.3 Принцип роботи автоматизованих систем

Принцип роботи автоматизованої системи обліку, моніторингу та аналізу електроспоживання полягає у послідовному виконанні таких етапів:

- Вимірювання параметрів електроенергії: лічильники здійснюють вимірювання напруги, струму, потужності та спожитої електроенергії, формуючи первинні дані про електроспоживання.
- Передавання даних: зібрана інформація передається каналами зв'язку (RS-485, Ethernet, GSM/GPRS тощо) до контролера, концентратора або безпосередньо на сервер верхнього рівня системи.
- Обробка та аналіз даних: серверна частина системи виконує перевірку достовірності, обробку, аналіз і збереження даних у базах даних, забезпечуючи формування структурованої інформації для подальшого використання.
- Візуалізація та моніторинг: користувач отримує доступ до інформації через інтерфейс системи (персональний комп'ютер, вебінтерфейс або мобільний додаток) з можливістю відображення, моніторингу та аналізу параметрів електроспоживання.

Особливістю таких систем є можливість роботи в режимі реального часу або з мінімальною затримкою, що забезпечує оперативне реагування на зміни в

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		26

режимах електроспоживання, виявлення відхилень і підвищення ефективності управління енергоресурсами.

1.3.4 Огляд існуючих автоматизованих систем

У сучасній практиці існує велика кількість автоматизованих систем моніторингу та аналізу електроспоживання, які відрізняються функціональністю, масштабом та сферою застосування.

На рис. 1.10 зображено структуру автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання Landis+Gyr Gridstream [18], яка є прикладом сучасної платформи AMI (Advanced Metering Infrastructure).

З рис.1.10 видно, що система має багаторівневу архітектуру, яка включає польовий рівень, комунікаційну мережу, рівень збору даних та рівень обробки інформації. Така структура забезпечує ефективну взаємодію між усіма компонентами системи та дозволяє організувати централізований облік електроспоживання.

На нижньому рівні системи розташовані інтелектуальні електролічильники (Smart Meter), які встановлюються у споживачів. Вони здійснюють вимірювання електричної енергії, реєстрацію параметрів електромережі, збереження профілів навантаження та передачу даних у систему. Крім того, такі пристрої можуть виконувати функції діагностики та підтримувати дистанційне керування.

Передача даних від лічильників здійснюється через комунікаційну мережу, яка може включати RF mesh, PLC або мобільні мережі зв'язку. Особливістю системи Gridstream є використання самоорганізуючих радіомереж, у яких кожен вузол може виконувати функцію ретранслятора, що підвищує надійність та масштабованість системи.

На рівні збору даних використовуються концентратори (Data Collector), які забезпечують агрегування інформації від групи лічильників, її попередню обробку та передачу на центральний сервер. Це дозволяє оптимізувати передачу даних і зменшити навантаження на мережу.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		27

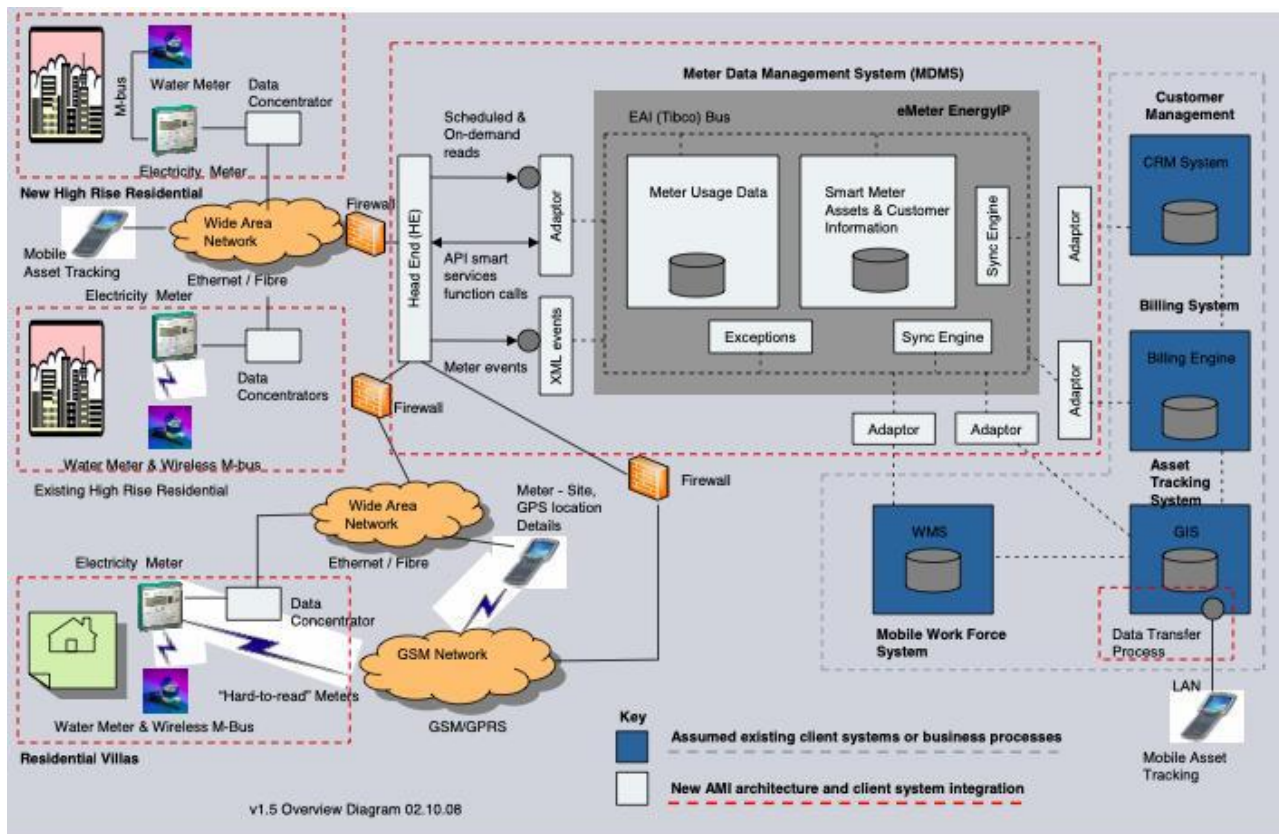


Рисунок 1.10 – Структура автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання Landis+Gyr Gridstream та її програмний інтерфейс [18]

На верхньому рівні системи функціонує центр обробки даних, який включає Head-End System (HES) та Meter Data Management System (MDMS). Система HES забезпечує прийом даних та керування пристроями обліку, тоді як MDMS виконує збереження, аналіз та обробку інформації. На цьому рівні також

здійснюється формування звітів, моніторинг електроспоживання та інтеграція з іншими інформаційними системами.

Таким чином, структура системи Landis+Gyr Gridstream забезпечує повний цикл роботи з даними – від їх вимірювання до аналітичної обробки та використання для управління електроспоживанням.

Інтерфейс реалізований у вигляді інформаційної панелі (dashboard), яка забезпечує зручне відображення даних про електроспоживання та стан електромережі. Основними елементами інтерфейсу є графіки, діаграми, таблиці та індикатори, що дозволяють оператору швидко оцінити стан системи.

На інтерфейсі відображаються такі параметри:

- поточне та сумарне електроспоживання;
- графіки зміни навантаження в часі;
- показники напруги та потужності;
- інформація про аварійні ситуації;
- статистичні та аналітичні дані.

Тобто, система Landis+Gyr Gridstream є повноцінною АМІ-платформою, яка забезпечує:

- автоматичний збір даних;
- двосторонній обмін інформацією;
- управління лічильниками;
- інтеграцію зі Smart Grid.

На рис. 1.11 представлено структуру автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання типу АМІ, яка використовується в системах Itron [19]. Дана структура відображає сучасний підхід до організації інтелектуального обліку електроенергії з використанням багаторівневої архітектури.

Система складається з декількох взаємопов'язаних рівнів, які забезпечують повний цикл збору, передачі та обробки/аналізу даних про електроспоживання.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		29

На нижньому рівні (Home Area Network, HAN) розташовані інтелектуальні електролічильники (Smart Meter), які встановлюються безпосередньо у споживачів. Вони виконують вимірювання електричної енергії, а також можуть взаємодіяти з локальними системами управління енергоспоживанням (Energy Management System) та відображенням інформації для користувача (Customer Premise Display). Передача даних на цьому рівні здійснюється через локальний шлюз (HAN Gateway).

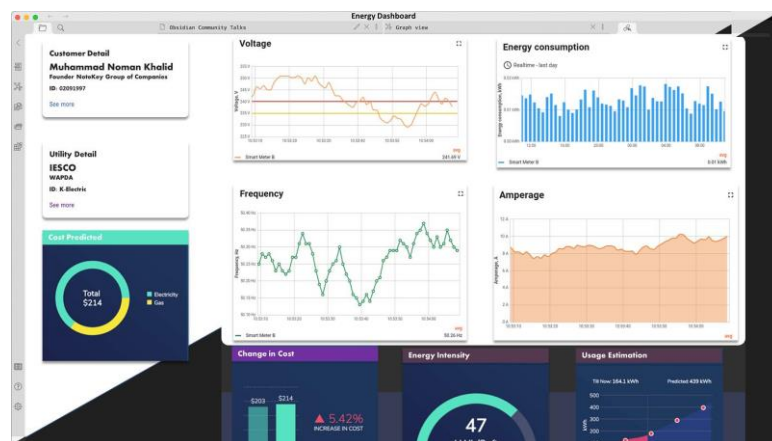
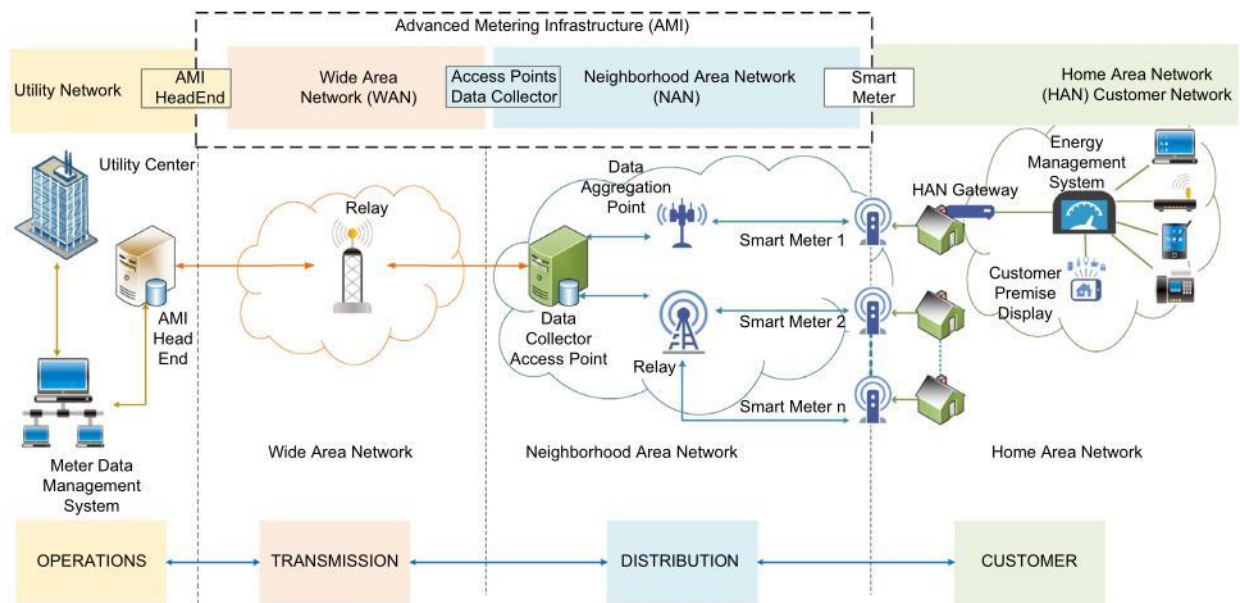


Рисунок 1.11 – Структуру автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання Itron AMI та її інтерфейс (HAN (локальний рівень – лічильники в будинках, NAN (районний рівень) – збір даних, WAN (глобальний рівень) – передача на сервер, центр обробки (HES / MDMS)) [19]

Далі дані передаються на середній рівень (Neighborhood Area Network, NAN), де відбувається їх агрегування. Тут використовуються точки збору даних (Data Collector або Access Point), які отримують інформацію від групи лічильників. Передача даних у межах NAN може здійснюватися через радіоканали (RF mesh), що дозволяє реалізувати надійну та масштабовану мережу.

Наступним є магістральний рівень (Wide Area Network, WAN), який забезпечує передачу інформації від районних вузлів до центрального серверу. Для цього використовуються різні технології зв'язку, зокрема стільникові мережі або інші широкосмугові канали.

На верхньому рівні (Utility Center) розташована центральна система управління, яка включає:

- 1) AMI Head-End – систему збору даних від лічильників;
- 2) Meter Data Management System (MDMS) – систему обробки та зберігання даних.

На цьому рівні здійснюється аналіз інформації, формування звітів, контроль режимів роботи мережі та інтеграція з іншими інформаційними системами енергокомпанії.

Особливістю представленої структури є підтримка двостороннього обміну даними, що дозволяє не лише отримувати інформацію про споживання електроенергії, але й здійснювати дистанційне керування приладами обліку, а також оперативно реагувати на аварійні ситуації.

Таким чином, дана система забезпечує інтеграцію всіх елементів енергетичної інфраструктури – від кінцевого споживача до центрального рівня управління – і відповідає сучасним вимогам до автоматизованих систем обліку та моніторингу електроспоживання.

Отже, система Itron AMI використовується для побудови масштабованих систем обліку та моніторингу включає:

- smart-лічильники;
- комунікаційні мережі;

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		31

- системи збору даних;
- аналітичні платформи.

Систему Schneider Electric EcoStruxure зображено на рис. 1.12 [20].

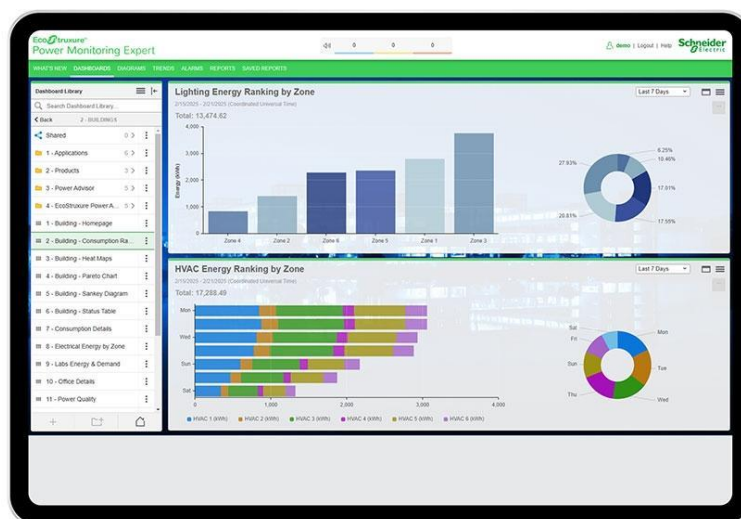
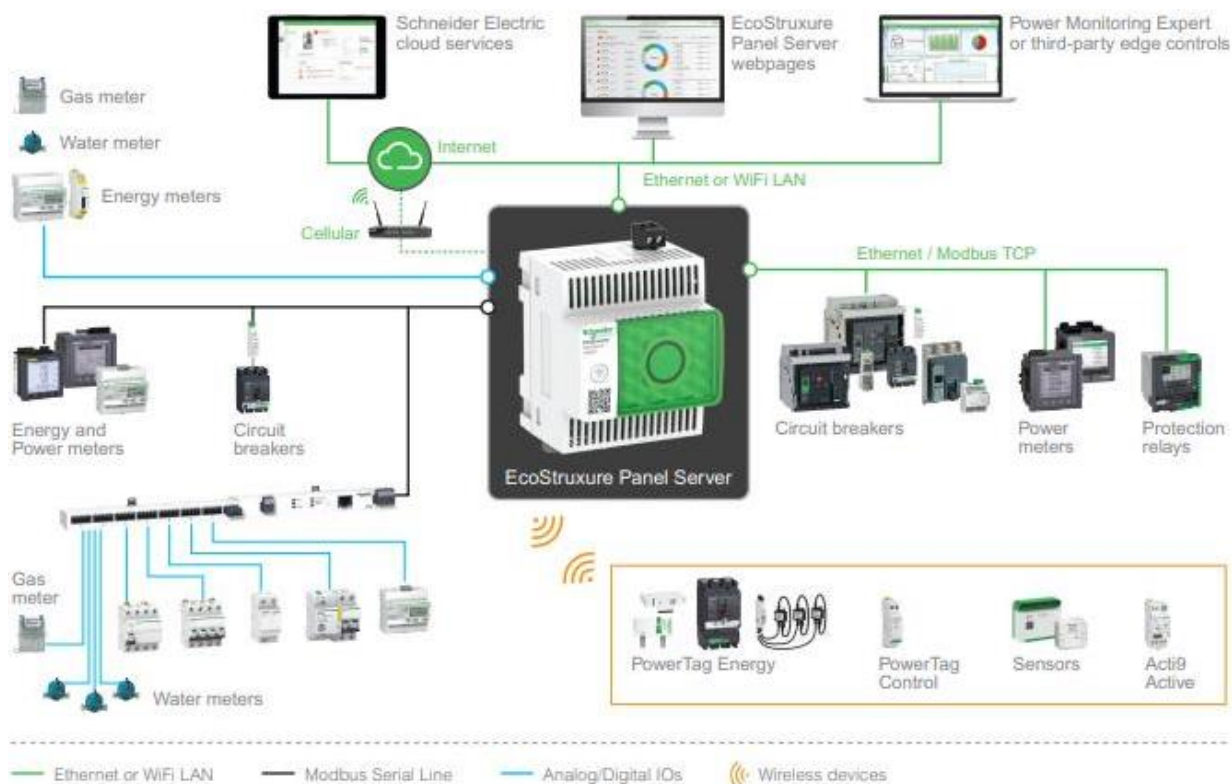


Рисунок 1.12 – Система Schneider Electric EcoStruxure та програмний інтерфейс

Система має багаторівневу структуру та забезпечує інтеграцію вимірювальних пристроїв, комунікаційних каналів та програмних засобів у єдину інформаційну систему.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		32

На нижньому (польовому) рівні розташовані різноманітні вимірювальні пристрої, зокрема електролічильники (Energy meters), лічильники води та газу, датчики, а також пристрої контролю та захисту (автоматичні вимикачі, реле захисту). Ці пристрої здійснюють вимірювання параметрів електроспоживання та стану електромережі.

Передача даних від польових пристроїв здійснюється через різні інтерфейси та протоколи, зокрема:

- Modbus (послідовний та TCP/IP);
- Ethernet або Wi-Fi мережі;
- бездротові канали зв'язку.

Центральним елементом системи є EcoStruxure Panel Server, який виконує функції моніторингу, збору, обробки, аналізу та передачі даних. Він виступає як шлюз між польовими пристроями та верхнім рівнем системи, забезпечуючи інтеграцію різних типів обладнання.

На верхньому рівні реалізовано взаємодію з програмними сервісами, такими як:

- Schneider Electric Cloud Services;
- EcoStruxure Web Pages;
- системи Power Monitoring Expert або сторонні аналітичні платформи.

Обмін даними між рівнями здійснюється через мережу Internet або локальні мережі (LAN), що забезпечує доступ до інформації в режимі реального часу.

Таким чином, структура системи дозволяє організувати централізований збір і передачу даних від великої кількості пристроїв, що є основою для подальшого аналізу та управління енергоспоживанням.

Інтерфейс реалізований у вигляді веб-орієнтованої інформаційної панелі (dashboard), яка забезпечує зручний доступ до даних та інструментів аналізу.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		33

1.3.5 Переваги та недоліки автоматизованих систем

Автоматизовані системи моніторингу та аналізу електроспоживання є важливим елементом сучасної енергетичної інфраструктури, оскільки забезпечують ефективний контроль, моніторинг, аналіз та управління електроспоживанням. Їх впровадження дозволяє суттєво підвищити якість обліку електроенергії, однак поряд із перевагами існують і певні недоліки, які необхідно враховувати при проектуванні та експлуатації таких систем.

Однією з основних переваг автоматизованих систем є підвищення точності обліку електроспоживання. Використання сучасних електронних та інтелектуальних лічильників дозволяє мінімізувати похибки вимірювання та виключити вплив людського фактора, що особливо важливо для великих споживачів та енергопостачальних організацій.

Важливою перевагою є автоматизація процесу збору даних. У традиційних системах облік здійснюється вручну, що потребує значних витрат часу та ресурсів. В автоматизованих системах дані передаються дистанційно, що дозволяє отримувати інформацію в режимі реального часу або з мінімальною затримкою.

Ще однією суттєвою перевагою є оперативний моніторинг електроспоживання. Система дозволяє відстежувати параметри електромережі, аналізувати навантаження, виявляти пікові значення та контролювати режими роботи обладнання, що сприяє більш ефективному використанню електроенергії.

Автоматизовані системи також забезпечують зменшення втрат електроенергії, оскільки дозволяють оперативно виявляти несанкціоноване підключення, витоки та інші порушення в роботі мережі. Це особливо актуально для енергопостачальних компаній.

Важливою функцією є можливість аналізу та прогнозування електроспоживання. Завдяки накопиченню великих обсягів даних система дозволяє будувати прогнози, оптимізувати навантаження та підвищувати енергоефективність.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		34

Крім того, автоматизовані системи підтримують двосторонній обмін даними, що дозволяє не лише отримувати інформацію від лічильників, але й здійснювати дистанційне керування, наприклад зміну тарифів або відключення споживачів у разі аварійних ситуацій.

Ще однією перевагою є інтеграція з іншими інформаційними системами, такими як SCADA, ERP або білінгові системи, що забезпечує комплексний підхід до управління енергоресурсами.

Незважаючи на значні переваги, автоматизовані системи мають і певні недоліки. Одним із основних є висока вартість впровадження. Встановлення інтелектуальних лічильників, створення комунікаційної інфраструктури та впровадження програмного забезпечення потребують значних фінансових витрат.

Ще одним недоліком є складність проєктування та налаштування системи. Для її впровадження необхідні висококваліфіковані спеціалісти, що ускладнює процес розгортання та обслуговування.

Суттєвим фактором є залежність від каналів зв'язку. У разі порушення зв'язку між елементами системи може виникнути затримка або втрата даних, що негативно впливає на роботу системи.

Також слід враховувати питання кібербезпеки. Оскільки система передає дані через мережі зв'язку, існує ризик несанкціонованого доступу, втручання або витоку інформації, що вимагає впровадження додаткових заходів захисту.

Ще одним недоліком є необхідність технічного обслуговування та оновлення системи. Програмне забезпечення та обладнання потребують регулярного оновлення, що може призводити до додаткових витрат.

Крім того, можливі проблеми сумісності обладнання різних виробників, що ускладнює інтеграцію системи та може вимагати використання додаткових інтерфейсів або протоколів.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.4 Висновок до розділу 1

Автоматизовані системи моніторингу та аналізу електроспоживання є важливим елементом сучасних енергетичних систем, що забезпечують ефективний контроль та управління електроспоживанням.

Проведений аналіз показав, що такі системи мають багаторівневу структуру та виконують комплекс функцій, спрямованих на збір, передавання, обробку та аналіз даних про електроспоживання.

Основними перевагами автоматизованих систем є підвищення точності обліку, автоматизація процесів збору даних, можливість оперативного моніторингу та аналізу інформації, а також підвищення ефективності управління електроспоживанням. Разом з тим їх впровадження супроводжується певними труднощами, зокрема значними фінансовими витратами, складністю реалізації, залежністю від каналів зв'язку та необхідністю забезпечення надійності і кібербезпеки системи.

Таким чином, при розробленні автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання доцільно використовувати принципи побудови існуючих систем, адаптуючи їх до конкретних умов експлуатації, а також враховувати як їх переваги, так і недоліки з метою створення ефективної, надійної та економічно обґрунтованої системи.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		36

2. АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТА АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

2.1 Функціональне призначення автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання

У результаті аналізу предметної області встановлено, що сучасні системи обліку електроенергії характеризуються переходом від локального ручного збору показів до автоматизованих багаторівневих систем, які забезпечують безперервний контроль, передавання, обробку та аналіз інформації про електроспоживання. Такий підхід дозволяє не лише фіксувати значення спожитої електроенергії, а й аналізувати режими роботи електрообладнання, визначати пікові навантаження та своєчасно виявляти відхилення від нормального режиму.

З урахуванням отриманих результатів формулюється функціональне призначення розроблюваної автоматизованої системи.

Автоматизована система моніторингу та аналізу електроспоживання призначена для забезпечення безперервного автоматичного контролю параметрів електроспоживання, збору інформації з приладів обліку, її передавання, обробки, збереження та подальшого аналізу з метою підвищення ефективності використання електричної енергії та надійності функціонування об'єкта [7].

На відміну від традиційних способів обліку, у яких участь оператора є обов'язковою, запропонована система забезпечує автоматичне виконання основних операцій без постійного втручання людини. Це дозволяє підвищити достовірність даних, зменшити кількість помилок та забезпечити оперативне отримання інформації про стан електроспоживання.

Функціональне призначення системи реалізується через сукупність взаємопов'язаних функцій.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		37

Першою функцією є вимірювання параметрів електроспоживання. На цьому етапі за допомогою електролічильників здійснюється визначення основних електричних величин, таких як активна та реактивна енергія, напруга, струм, потужність. Лічильники виконують роль первинних вимірювальних перетворювачів, які формують вихідні дані для подальшої обробки та аналізу.

Другою функцією є автоматичний збір даних. Зчитування інформації з лічильників здійснюється за допомогою програмованого логічного контролера або пристрою збору даних. Контролер виконує опитування приладів у задані інтервали часу, приймає інформацію та забезпечує її узгодження за часом. Використання ПЛК на цьому рівні дозволяє реалізувати циклічний режим роботи системи та виключити необхідність ручного збору показів.

Наступною функцією є передавання даних між рівнями системи. Передавання здійснюється каналами зв'язку з використанням стандартних інтерфейсів, що забезпечують надійність та завадостійкість інформаційного обміну. Це дозволяє об'єднати всі елементи системи в єдиний інформаційний простір.

Важливою функцією є обробка, збереження та підготовка інформації до аналізу. Отримані дані підлягають перевірці достовірності, перетворенню у необхідний формат та запису у базу даних. Накопичення інформації дозволяє формувати архіви даних та здійснювати подальший аналіз електроспоживання.

Однією з ключових функцій системи є аналіз режимів електроспоживання. На основі накопичених даних система дозволяє визначати характер навантаження, виявляти пікові значення та оцінювати динаміку зміни споживання у часі. Це створює основу для прийняття рішень щодо оптимізації використання електроенергії.

Особливе значення має функція автоматичного контролю параметрів електроспоживання, яка реалізує елементи автоматизації у системі. Програмований логічний контролер виконує порівняння поточних значень параметрів із заданими допустимими межами. У разі виявлення перевищення або відхилення від нормального режиму система формує відповідні сигнали, що

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		38

дозволяє своєчасно реагувати на зміну стану об'єкта. Таким чином, система виконує не лише інформаційні, але й контрольні функції.

Кінцевою функцією є відображення інформації для користувача. Результати обробки та аналізу даних подаються у зручній формі на персональному комп'ютері або операторській панелі, що забезпечує можливість оперативного моніторингу та аналізу стану системи.

З урахуванням виконуваних функцій автоматизована система має узагальнену структурну організацію, що відображає послідовність перетворення інформації від моменту її отримання до кінцевого використання (рис. 2.1).

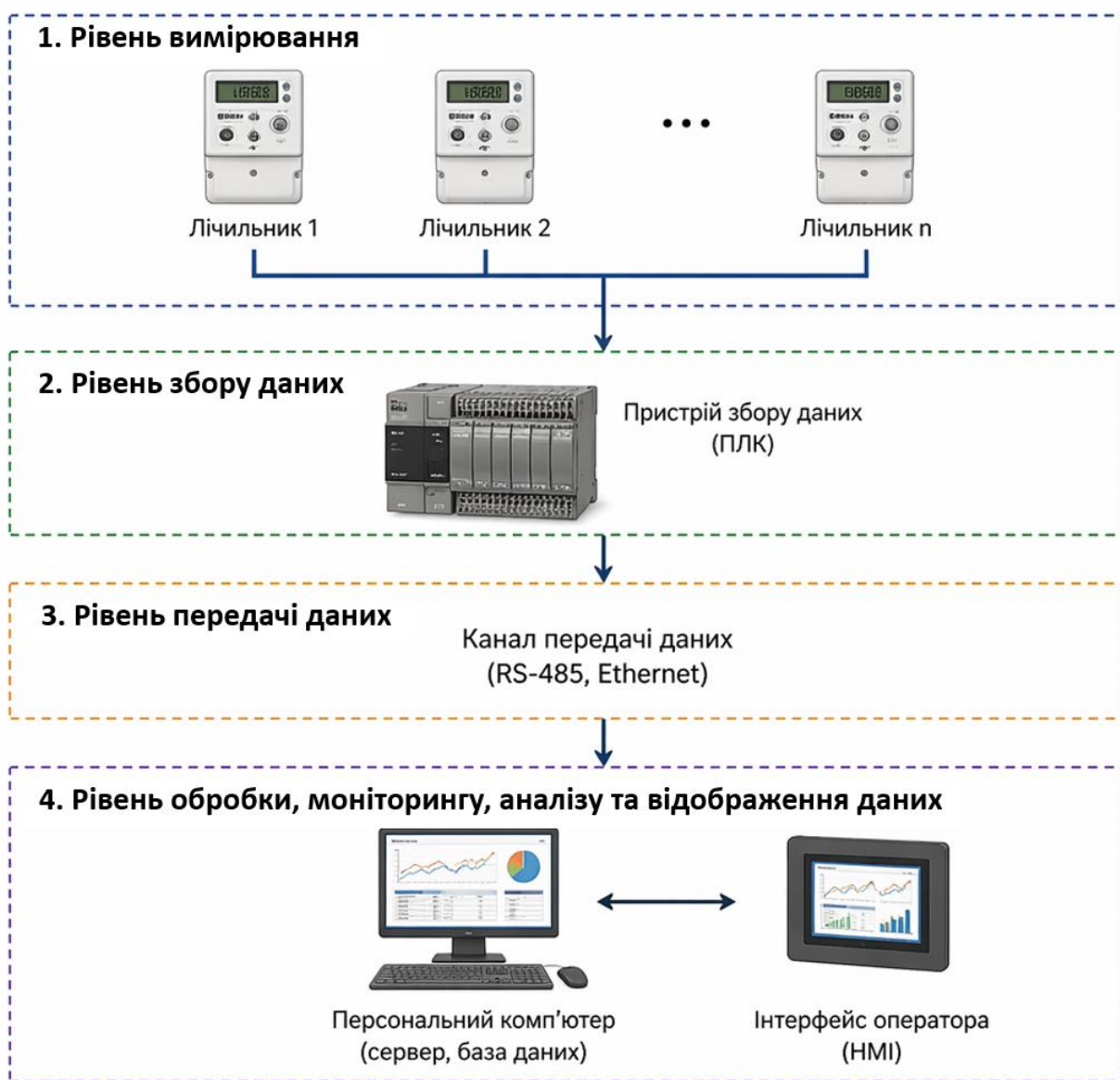


Рисунок 2.1 – Узагальнена структура автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання

Як видно з рис. 2.1, система має ієрархічну структуру. На нижньому рівні здійснюється вимірювання параметрів електроспоживання. На наступному рівні виконується збір, первинна обробка та аналіз даних за допомогою контролера. Далі інформація передається каналами зв'язку на верхній рівень, де здійснюється її обробка, моніторинг, аналіз, збереження та відображення.

До основних задач, які вирішує система, належать:

- забезпечення автоматичного збору даних з приладів обліку;
- організація надійного передавання інформації;
- обробка, аналіз та збереження даних;
- контроль параметрів електроспоживання;
- виявлення відхилень від нормального режиму;
- забезпечення можливості аналізу електроспоживання.

Для ефективного функціонування система повинна відповідати таким вимогам:

- достатня точність вимірювань;
- надійність та безперервність роботи;
- оперативність отримання інформації;
- завадостійкість каналів зв'язку;
- можливість розширення;
- мінімальна участь оператора.

Таким чином, функціональне призначення розроблюваної системи полягає у забезпеченні автоматизованого моніторингу, збору, обробки, аналізу та контролю даних про електроспоживання. Реалізація зазначених функцій дозволяє підвищити ефективність використання електроенергії, забезпечити своєчасне виявлення відхилень у режимах роботи системи та створити основу для подальшої оптимізації режимів електроспоживання.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		40

2.2 Розроблення структурної схеми автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання

На основі визначеного у підрозділі 2.1 функціонального призначення системи виконано розроблення її структурної схеми, яка відображає склад основних елементів, їх взаємозв'язки та організацію процесів моніторингу, збору, обробки та аналізу даних.

Структурна схема автоматизованої системи наведена на рис. 2.2.

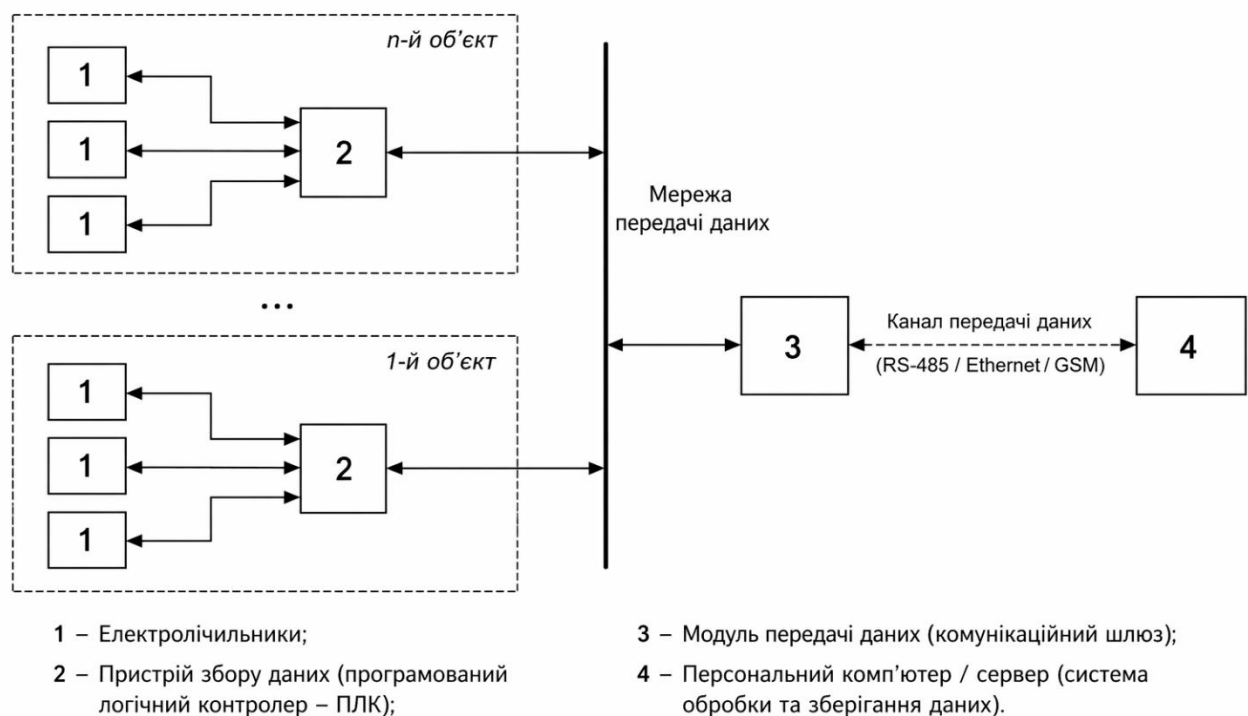


Рисунок 2.2 – Структурна схема автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання

Як видно з рис.2.2, система має ієрархічну структуру та складається з декількох функціональних рівнів. На кожному об'єкті контролю встановлюються електролічильники, які виконують вимірювання параметрів електроспоживання (поз. 1). Дані пристрої забезпечують отримання інформації про значення електричної енергії, напруги, струму та потужності.

Зчитування даних з електролічильників здійснюється за допомогою пристрою збору даних – програмованого логічного контролера (поз. 2). Контролер виконує опитування лічильників, приймає інформацію та здійснює її первинну обробку. Крім того, на цьому рівні реалізуються елементи автоматизації, зокрема перевірка достовірності даних та контроль параметрів електроспоживання.

Передача даних від контролера до верхнього рівня системи здійснюється за допомогою модуля передачі даних (поз. 3). Для цього використовуються стандартні канали зв'язку, такі як RS-485, Ethernet або бездротові технології. Використання таких каналів забезпечує надійність та завадостійкість передавання інформації.

На верхньому рівні системи розташований персональний комп'ютер або сервер (поз. 4), який виконує функції автоматизованої обробки, моніторингу, аналізу, збереження та відображення інформації. На цьому рівні здійснюється накопичення даних у базі, їх аналіз та формування звітів для користувача.

Особливістю структурної схеми є можливість підключення декількох об'єктів контролю, кожен з яких має аналогічну структуру. Це забезпечує масштабованість системи та можливість її застосування для об'єктів різної складності.

Таким чином, розроблена структурна схема забезпечує реалізацію основних функцій автоматизованої системи, а саме: вимірювання, моніторингу, збору, передавання, обробки, аналізу та контролю даних електроспоживання.

2.3 Розроблення функціональної схеми автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання

Після розроблення структурної схеми системи наступним етапом є формування її функціональної схеми. Якщо структурна схема відображає склад основних елементів та зв'язки між ними, то функціональна схема дає змогу показати, які саме функції виконує кожний елемент, як відбувається рух

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		42

інформації в системі та у якій послідовності здійснюються процеси моніторингу, збору, передавання, обробки та аналізу даних.

Функціональна схема автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання повинна відображати повний цикл проходження інформації: від моменту вимірювання параметрів електроспоживання до їх відображення користувачу, проведення аналізу та формування сигналів контролю.

Виходячи із розробленої структурної схеми, до складу функціональної схеми доцільно включити такі основні вузли: електролічильники, програмований логічний контролер, модуль або канал передавання даних, персональний комп'ютер чи сервер обробки та аналізу даних, а також засоби відображення інформації для користувача. Кожен із зазначених вузлів виконує визначені функції в загальному циклі роботи системи.

Функціональна схема системи наведена на рисунку 2.3.

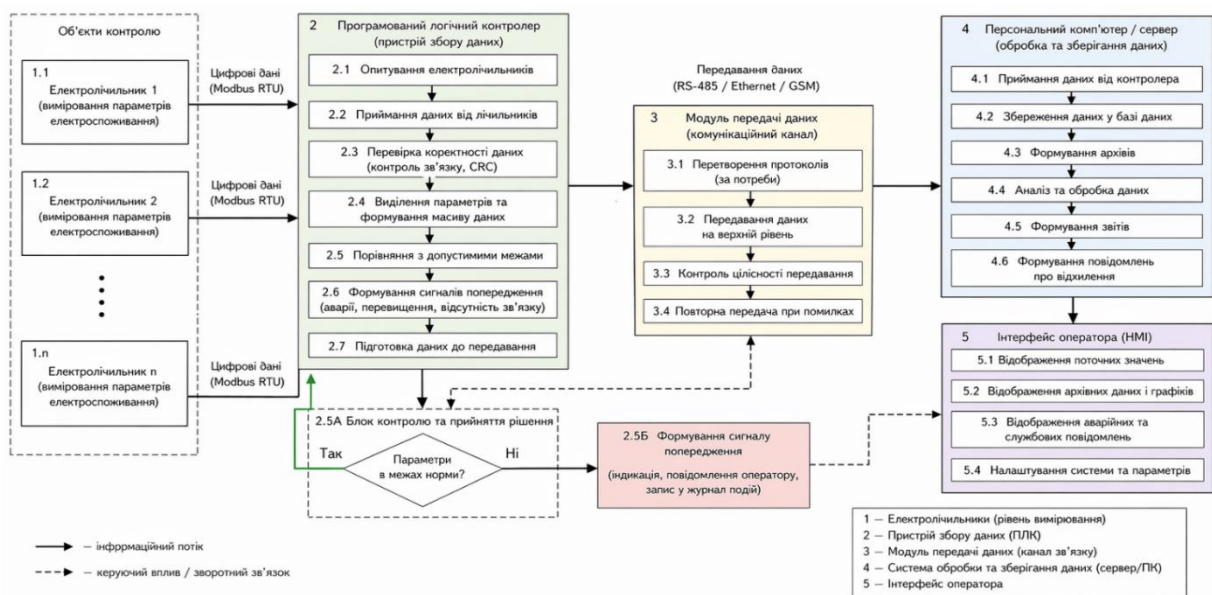


Рисунок 2.3 – Функціональна схема автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання

Як видно з рис. 2.3, система складається з декількох взаємопов'язаних функціональних рівнів, кожен з яких виконує визначені операції у загальному процесі обробки інформації.

Загалом, логіка функціональної схеми ґрунтується на циклічному принципі роботи системи. Після запуску контролер послідовно опитує лічильники, приймає дані та виконує їх аналіз. Якщо значення параметрів знаходяться в межах допустимого діапазону, дані передаються на верхній рівень для накопичення та подальшого використання. Якщо ж виявляється перевищення або порушення зв'язку, формується службове повідомлення чи сигнал тривоги. Такий підхід дозволяє забезпечити не лише автоматизований збір інформації, а й технічний контроль за режимами електроспоживання.

Обґрунтування саме такої функціональної побудови полягає в тому, що вона забезпечує розподіл функцій між окремими елементами системи відповідно до їх технічного призначення. Електролічильники виконують вимірювальну функцію, ПЛК – функцію збору, первинної обробки та контролю, канал зв'язку – функцію передавання, верхній рівень – функцію накопичення, аналізу та візуалізації. Такий розподіл є раціональним, оскільки дозволяє зменшити навантаження на окремі вузли, підвищити надійність роботи системи та забезпечити можливість її масштабування.

На рівні вимірювання (поз. 1) використовуються електролічильники (поз. 1.1–1.n), які здійснюють вимірювання параметрів електроспоживання та формують цифрові дані. Отримані значення передаються до пристрою збору даних у вигляді інформаційного потоку за допомогою протоколу обміну.

На рівні збору та первинної обробки даних (поз. 2) використовується програмований логічний контролер, який виконує основні функції автоматизації. Згідно з рисунком 2.3, у контролері реалізовано послідовність операцій:

- опитування електролічильників (поз. 2.1);
- приймання даних (поз. 2.2);
- перевірка їх коректності (поз. 2.3);
- формування масиву даних (поз. 2.4).

Після обробки отримані значення підлягають аналізу, який здійснюється у блоці порівняння з допустимими межами (поз. 2.5). Далі в системі реалізовано

логічний блок прийняття рішення (поз. 2.5,А), у якому визначається, чи знаходяться параметри в межах норми.

У випадку, якщо параметри відповідають допустимим значенням («Так»), дані передаються до наступного етапу обробки, а саме до блоку підготовки даних до передавання (поз. 2.7), після чого надходять до модуля передачі даних.

Якщо ж параметри виходять за межі допустимих значень («Ні»), система формує сигнал попередження (поз. 2.5,Б), який може включати індикацію аварійного стану, повідомлення оператору або запис у журнал подій. Таким чином реалізується функція автоматичного контролю режимів електроспоживання.

Передача даних здійснюється за допомогою модуля передачі (поз. 3), який забезпечує перетворення протоколів (поз. 3.1), передачу інформації на верхній рівень (поз. 3.2), контроль цілісності даних (поз. 3.3) та повторну передачу у разі виникнення помилок (поз. 3.4).

На верхньому рівні системи (поз. 4) виконується приймання даних (поз. 4.1), їх збереження у базі (поз. 4.2), формування архівів (поз. 4.3), аналіз (поз. 4.4) та формування звітів (поз. 4.5). У разі виявлення відхилень система також формує відповідні повідомлення (поз. 4.6).

Взаємодія з користувачем здійснюється через інтерфейс оператора (поз. 5), який забезпечує відображення поточних значень (поз. 5.1), архівних даних (поз. 5.2), аварійних повідомлень (поз. 5.3) (сигнали попередження, інформація про перевищення встановлених меж) та можливість налаштування системи (поз. 5.4).

Наявність такого вузла у функціональній схемі обґрунтована тим, що система повинна не лише автоматично опрацьовувати дані, а й забезпечувати зручне представлення результатів для користувача.

Таким чином, як видно з рис. 2.3, функціональна схема реалізує повний цикл обробки інформації: від вимірювання параметрів до їх аналізу та відображення. Особливістю системи є наявність логічного блоку прийняття рішення, який забезпечує автоматичний контроль параметрів та формування сигналів у разі відхилення від нормального режиму.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		45

Розроблена функціональна схема дозволяє забезпечити автоматизований моніторинг, збір, обробку, аналіз та контроль даних електроспоживання, що підвищує ефективність функціонування системи та забезпечує своєчасне реагування на зміни режимів роботи об'єкта.

Важливо підкреслити, що розроблена функціональна схема не обмежується тільки інформаційним обміном між елементами. Вона включає функціональні зв'язки, пов'язані з автоматичним контролем, виявленням відхилень та формуванням повідомлень для оператора. Саме ця особливість забезпечує відповідність розроблюваної системи завданням автоматизації, оскільки дозволяє перейти від пасивного накопичення даних до активного контролю стану об'єкта.

Отже, розробка функціональної схеми дала змогу встановити послідовність виконання основних функцій системи, визначити роль кожного її елемента та обґрунтувати логіку проходження інформації від рівня вимірювання до рівня аналізу та відображення. Розроблена функціональна схема є основою для подальшого розроблення алгоритму роботи системи, вибору технічних засобів та програмної реалізації автоматизованого моніторингу, збору, обробки та аналізу даних електроспоживання.

2.4 Розроблення алгоритму функціонування автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання

На основі розробленої функціональної схеми (рис. 2.3) сформовано алгоритм функціонування автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання. Алгоритм визначає послідовність виконання операцій у системі, умови переходів між етапами та логіку обробки й аналізу інформації.

Блок-схема алгоритму функціонування системи наведена на рис. 2.4.

Як видно з рис. 2.4, алгоритм реалізовано у вигляді циклічного процесу, що забезпечує періодичне опитування електролічильників, моніторинг та

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46

обробку отриманих даних, аналіз і контроль параметрів електроспоживання, їх передавання на верхній рівень та відображення результатів оператору.

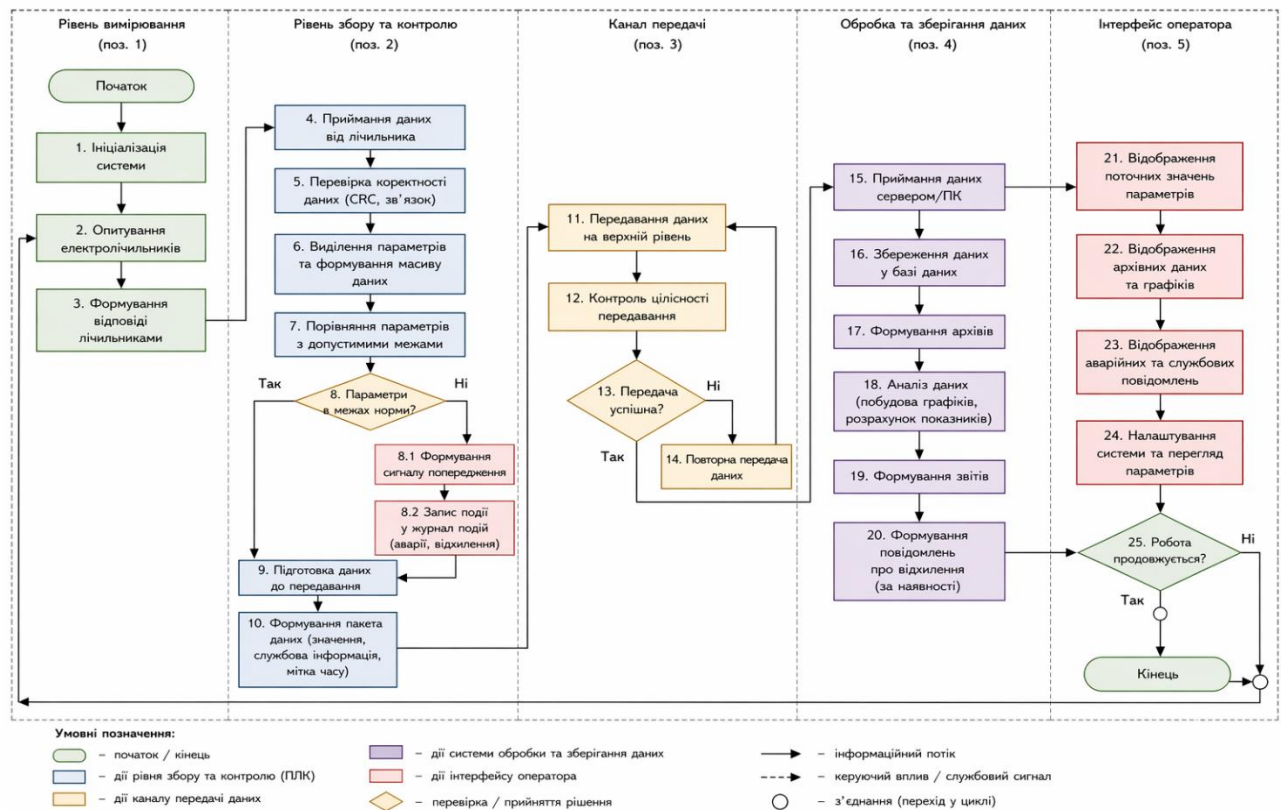


Рисунок 2.4 – Блок-схема алгоритму функціонування системи

Рисунок 2.4 – Блок-схема алгоритму функціонування системи автоматизованої системи збору, моніторингу, обробки та аналізу даних електроспоживання

На початковому етапі роботи система переходить у робочий режим, після чого виконується ініціалізація (блок 1). У процесі ініціалізації здійснюється налаштування основних параметрів системи, зокрема встановлення адрес електролічильників, параметрів зв'язку, інтервалів опитування та допустимих меж контролюваних параметрів. Проведення цього етапу є необхідним для забезпечення коректного функціонування всіх елементів системи в автоматичному режимі.

Після ініціалізації програмований логічний контролер переходить до етапу опитування електролічильників (блок 2), у ході якого формуються запити до

підключених приладів обліку. У відповідь на ці запити електролічильники формують інформаційні повідомлення (блок 3), що містять значення параметрів електроспоживання, які передаються до контролера.

Отримані дані приймаються контролером (блок 4) та підлягають перевірці коректності (блок 5). На цьому етапі виконується контроль цілісності повідомлення, перевірка контрольної суми та наявності зв'язку з пристроєм. Такий підхід дозволяє виключити використання некоректних або неповних даних у подальшому процесі обробки.

Після перевірки дані підлягають обробці, яка включає виділення необхідних параметрів та формування масиву даних (блок 6). Із отриманого інформаційного потоку виділяються значення струму, напруги, потужності та електроенергії, які структуруються для подальшого аналізу.

Наступним етапом є порівняння параметрів із допустимими межами (блок 7). Поточні значення параметрів співставляються із встановленими нормативними значеннями, що дозволяє здійснювати контроль режимів електроспоживання. Результат порівняння визначається у логічному блоці прийняття рішення (блок 8), де встановлюється, чи знаходяться параметри в межах норми.

У разі, якщо параметри відповідають допустимим значенням, алгоритм переходить до підготовки даних до передавання (блок 9). Якщо ж виявлено відхилення, система формує сигнал попередження (блок 8.1) та виконує запис події у журнал (блок 8.2), що дозволяє фіксувати аварійні ситуації та відхилення у роботі системи. Після цього також виконується підготовка даних для подальшого передавання.

На етапі підготовки даних (блок 9) виконується структуризація інформації, додавання службових параметрів та часових міток. Далі формується пакет даних (блок 10), який містить повний набір інформації для передачі на верхній рівень системи.

Передавання даних здійснюється у блоці 11 через канал зв'язку. Після цього виконується контроль цілісності передавання (блок 12), що дозволяє

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		48

визначити правильність отримання інформації. У блоці прийняття рішення (блок 13) перевіряється успішність передачі. У разі успішної передачі дані надходять на верхній рівень системи (блок 15). Якщо ж передавання виконано з помилкою, здійснюється повторна передача даних (блок 14), після чого алгоритм повертається до блоку передавання (блок 11). Такий механізм забезпечує надійність обміну інформацією.

На верхньому рівні виконується приймання даних сервером або персональним комп'ютером (блок 15), після чого вони зберігаються у базі даних (блок 16). Далі здійснюється формування архівів (блок 17), що дозволяє накопичувати історичну інформацію про споживання електроенергії.

Наступним етапом є аналіз даних (блок 18), який включає побудову графіків, визначення характеру навантаження та розрахунок основних показників. На основі отриманих результатів формуються звіти (блок 19), які можуть використовуватися для контролю та планування споживання електроенергії. У разі наявності відхилень система формує відповідні повідомлення (блок 20).

Взаємодія з оператором здійснюється через інтерфейс користувача. На цьому рівні виконується відображення поточних значень параметрів (блок 21), архівних даних і графіків (блок 22), а також аварійних і службових повідомлень (блок 23). Крім того, оператор має можливість здійснювати налаштування системи та перегляд параметрів її роботи (блок 24).

На завершальному етапі виконується перевірка умови продовження роботи системи (блок 25). Якщо робота продовжується, алгоритм повертається до етапу опитування електролічильників (блок 2), що забезпечує циклічний характер функціонування системи. У протилежному випадку відбувається завершення роботи.

Таким чином, розроблений алгоритм функціонування системи забезпечує послідовне виконання всіх необхідних операцій, починаючи від збору даних і закінчуючи їх аналізом та відображенням. Його побудова відповідає вимогам до автоматизованих систем, оскільки включає елементи контролю, обробки

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		49

помилки та прийняття рішень. Це забезпечує підвищення надійності системи, достовірності отриманої інформації та ефективності контролю електроспоживання.

2.5 Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації системи

Після розроблення структурної схеми автоматизованої системи збору, моніторингу, обробки та аналізу даних електроспоживання, функціональної схеми та алгоритму її роботи необхідно обґрунтувати вибір конкретних технічних засобів, за допомогою яких може бути реалізована проєктована система. Вибір апаратної частини повинен забезпечувати виконання всіх функцій, покладених на систему: вимірювання параметрів електроспоживання, автоматизований моніторинг і збір даних, їх первинну обробку та аналіз, контроль відхилень, передавання на верхній рівень, архівацію та візуалізацію результатів. Крім функціональної достатності, при виборі обладнання враховуються точність, надійність, сумісність інтерфейсів, відповідність сучасним стандартам автоматизації та доступність обладнання на ринку України.

З урахуванням прийнятої структури системи до її складу доцільно включити такі основні технічні засоби:

- трифазний електролічильник як первинний вимірювальний елемент;
- програмований логічний контролер як центральний елемент збору та первинної обробки даних;
- комунікаційний модуль для роботи по RS-485;
- індустріальний Ethernet-комутатор для організації верхнього рівня зв'язку,
- операторську панель для локальної візуалізації,
- персональний комп'ютер із SCADA/WinCC-середовищем для архівації та аналізу;
- джерело живлення на DIN-рейку для живлення пристроїв автоматизації.

					ДП.АКИТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Такий склад є логічним продовженням розроблених у попередніх підрозділах структурної та функціональної схем, оскільки кожен із перелічених засобів виконує чітко визначену функцію в загальному циклі роботи системи.

2.5.1 Вибір електролічильника

У якості первинного вимірювального засобу доцільно використати трифазний багатотарифний електролічильник серії NIK 2307, призначений для обліку електроенергії в трифазних колах змінного струму. Лічильники цієї серії є продукцією українського виробника NIK-ELEKTRONIKA і використовуються у системах автоматизованого контролю та обліку електроенергії. В офіційній документації виробника зазначено, що лічильник NIK 2307 може застосовуватися в автоматизованих системах контролю і обліку електроенергії, а також відповідає вимогам низки національних і гармонізованих стандартів. У паспорті на один із поширених варіантів виконання наведено клас точності 0,5S для активної енергії, клас 1,0 для реактивної енергії, до чотирьох тарифів, міжповірочний інтервал 6 років і робочий діапазон температур від -40 до +70 °C.

Для цілей даної роботи вибір саме серії NIK 2307 є обґрунтованим з кількох причин. По-перше, це обладнання реально представлене й використовується в Україні як у побутовому, так і в промисловому секторі. По-друге, сам виробник орієнтує ці лічильники на використання в АСКОЕ, а в каталозі прямо описує схеми, у яких збір інформації здійснюється через RS-485, Ethernet, PLC або мобільний канал зв'язку. По-третє, використання приладу українського виробництва є доцільним як з точки зору доступності на внутрішньому ринку, так і з точки зору сервісної підтримки.

У тексті роботи доцільно подати фото вибраного лічильника і зробити на нього посилання, наприклад:

На рис. 2.5 наведено загальний вигляд електролічильника NIK 2307, який обрано як первинний вимірювальний засіб системи.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		51



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд трифазного електролічильника NIK 2307

Функціонально електролічильник у проєктованій системі виконує роль джерела первинної інформації. Саме в ньому формуються значення активної та реактивної енергії, а також супровідні параметри режиму електроспоживання. Вибір такого приладу дозволяє забезпечити необхідну точність вимірювання і створює основу для побудови подальшого автоматизованого збору даних.

2.5.2 Вибір програмованого логічного контролера

Центральним елементом рівня збору та первинної обробки даних доцільно обрати програмований логічний контролер Siemens SIMATIC S7-1200 CPU 1212C. Даний контролер належить до сімейства компактних промислових ПЛК, яке широко використовується для побудови систем автоматизації середнього рівня складності. Для варіанта CPU 1212C виробник наводить наявність вбудованого інтерфейсу PROFINET/Ethernet (RJ-45), вбудованих дискретних та аналогових каналів введення-виведення, а також достатній обсяг програмної та даних пам'яті для реалізації алгоритмів логічного контролю та комунікації. У технічних даних для актуальних виконань CPU 1212C зазначено, що контролер

має інтегрований PROFINET-інтерфейс RJ-45 та придатний для побудови компактних автоматизованих рішень.

Вибір контролера Siemens S7-1200 [8, 9] є доцільним тому, що він забезпечує не тільки функції комунікації, але й реалізацію логіки алгоритму, розробленого в підрозділі 2.4. Саме на рівні ПЛК виконуються опитування лічильників, перевірка коректності даних, виділення параметрів, порівняння із допустимими межами та формування повідомлень про відхилення. Це означає, що контролер виступає не просто передавальною ланкою, а повноцінним елементом автоматизації, який реалізує функції збору, первинної обробки та контролю. Такий вибір дозволяє чітко показати належність роботи до спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Для організації зв'язку між ПЛК і лічильниками по інтерфейсу RS-485 доцільно використати комунікаційний модуль Siemens CB 1241 RS485 або CM 1241 RS422/485.

В офіційних даних Siemens визначено, що CB 1241 RS485 призначений для швидкого послідовного обміну через точка-точка з'єднання, а для варіанта RS485 використовується двопровідний half-duplex режим. Для CM 1241 також наведено використання RS422/485 для високошвидкісного серійного обміну. Наявність такого модуля робить вибір S7-1200 технічно завершеним, оскільки дає змогу організувати опитування лічильників по стандартній шині RS-485 і реалізувати Modbus RTU-взаємодію.

На рис. 2.6 наведено загальний вигляд контролера Siemens SIMATIC S7-1200, який у проєктованій системі виконує функції опитування лічильників, первинної обробки даних і формування керуючої логіки.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		53

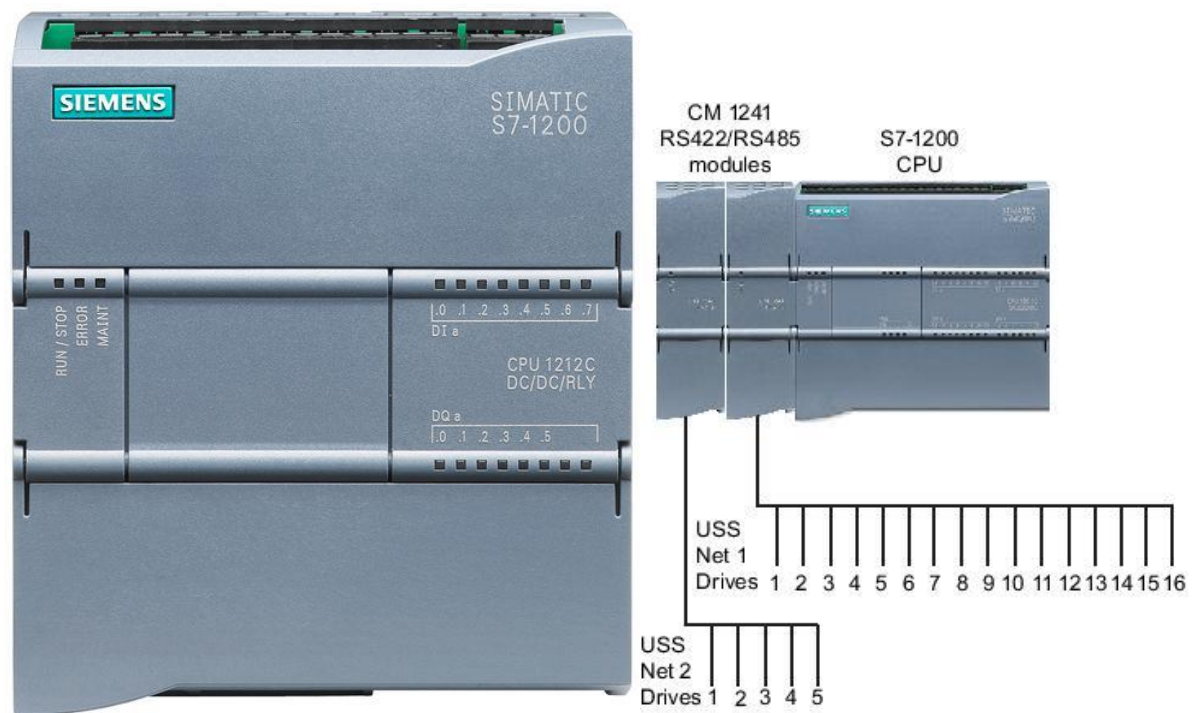


Рисунок 2.6 – Загальний вигляд контролера Siemens SIMATIC S7-1200 з модулем RS-485

Основні технічні характеристики контролера:

- живлення - 24 В DC;
- вбудований Ethernet (PROFINET);
- підтримка модулів розширення;
- достатній обсяг пам'яті для реалізації алгоритму;
- можливість програмування в TIA Portal.

Вибір ПЛК обумовлений його високою надійністю, широкими функціональними можливостями та можливістю реалізації алгоритмів автоматичного контролю та обробки даних.

2.5.3 Вибір засобів передачі даних

Передавання даних є одним із ключових процесів у роботі автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання. Від правильного вибору засобів зв'язку залежить стабільність роботи системи, своєчасність отримання інформації, достовірність переданих даних та можливість подальшого

розширення системи. З урахуванням розробленої структурної схеми в системі передбачено два основні рівні передавання інформації: нижній рівень зв'язку між електролічильниками та програмованим логічним контролером, а також верхній рівень зв'язку між контролером, операторською панеллю та персональним комп'ютером.

Для нижнього рівня системи доцільно використати інтерфейс RS-485, оскільки він широко застосовується у промислових системах автоматизації та системах обліку електроенергії. Його основними перевагами є завадостійкість, можливість передавання даних на значні відстані, а також підключення декількох пристроїв до однієї лінії зв'язку. У розроблюваній системі через RS-485 здійснюється опитування електролічильників, приймання вимірних значень та передавання їх до контролера для подальшої обробки.

Для реалізації зв'язку по RS-485 обрано комунікаційний модуль Siemens CM 1241 RS422/485. Цей модуль призначений для організації послідовного обміну даними у складі систем SIMATIC S7-1200 і використовується для швидкого обміну через point-to-point з'єднання. Siemens вказує, що модулі CM 1241 застосовуються для високопродуктивного послідовного обміну даними, а специфікація CM 1241 RS422/485 передбачає роботу з інтерфейсами RS422 або RS485.

Характеристики CM 1241:

- підтримка RS-485;
- робота з протоколом Modbus RTU;
- інтеграція з S7-1200.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		55



Рисунок 2.7 – Загальний вигляд комунікаційного модуля Siemens CM 1241 RS422/485

Вибір модуля Siemens CM 1241 RS422/485 є обґрунтованим, оскільки він є штатним комунікаційним модулем для контролерів Siemens S7-1200. Це забезпечує апаратну та програмну сумісність із вибраним ПЛК, спрощує налаштування в середовищі TIA Portal та дозволяє реалізувати обмін із лічильниками за промисловими протоколами. У межах розроблюваної системи модуль виконує функцію зв'язувальної ланки між вимірювальним рівнем і рівнем автоматизованої обробки даних.

На верхньому рівні системи необхідно забезпечити зв'язок між програмованим логічним контролером, операторською панеллю та персональним комп'ютером. Для цього доцільно використати промислову Ethernet-мережу. На відміну від звичайного офісного мережевого обладнання, промислові Ethernet-комутатори розраховані на роботу в умовах підвищених електромагнітних завад, мають надійне живлення та виконання, придатне для монтажу в шафах автоматизації.

Для організації Ethernet-зв'язку обрано індустріальний некерований комутатор Siemens SCALANCE XB005 (рис.2.8).

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Згідно з офіційною технічною документацією Siemens, SCALANCE XB005 є некерованим Industrial Ethernet-комутатором для мереж 10/100 Мбіт/с, має 5 портів RJ-45, світлодіодну діагностику, ступінь захисту IP20 та живлення 24 В AC/DC. Комутатор призначений для побудови невеликих зіркоподібних або лінійних топологій мережі.



Рисунок 2.8 – Загальний вигляд індустріального Ethernet-комутатора Siemens SCALANCE XB005

Вибір Siemens SCALANCE XB005 є доцільним для даної системи, оскільки кількість пристроїв верхнього рівня є невеликою: до мережі необхідно підключити контролер, операторську панель і персональний комп'ютер або сервер. П'яти портів комутатора достатньо для реалізації такої структури з можливістю підключення додаткового пристрою в майбутньому. Наявність світлодіодної індикації спрощує діагностику стану мережі, а промислове виконання підвищує надійність роботи системи порівняно з побутовими Ethernet-комутаторами.

Таким чином, вибір засобів передачі даних здійснено з урахуванням поділу системи на два рівні. Для нижнього рівня обрано інтерфейс RS-485 і модуль

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Siemens CM 1241 RS422/485, що забезпечує надійний обмін між електролічильниками та ПЛК. Для верхнього рівня обрано Ethernet-мережу з використанням комутатора Siemens SCALANCE XB005, що забезпечує стабільний обмін між контролером, HMI-панеллю та персональним комп'ютером. Така побудова забезпечує надійність, масштабованість і технічну узгодженість усіх елементів автоматизованої системи.

2.5.4 Вибір операторської панелі та засобів візуалізації

Для локальної візуалізації стану системи доцільно використати операторську панель Siemens SIMATIC HMI KTP700 Basic, яка належить до серії Basic Panels 2nd Generation. За офіційними технічними даними, панель KTP700 Basic має 7-дюймовий TFT-дисплей, підтримує клавішне та сенсорне керування, має 65 536 кольорів і PROFINET-інтерфейс. Це робить її придатною для відображення поточних значень параметрів, аварійних повідомлень, архівних даних і сервісних екранів налаштування.

Вибір саме KTP700 Basic є раціональним з огляду на характер проєктованої системи. Для задачі локального моніторингу електроспоживання немає необхідності застосовувати надлишково складні панелі Comfort або Unified-класу. Базова панель із 7-дюймовим екраном є достатньою для відображення поточних показників, стану обміну, архівних даних та попереджень. Крім того, дане обладнання реально доступне на українському ринку, що підтверджується наявністю пропозицій українських постачальників і маркетплейсів.

На рис. 2.9 наведено загальний вигляд операторської панелі KTP700 Basic, призначеної для локальної візуалізації параметрів електроспоживання та повідомлень системи.

Основні характеристики:

- діагональ екрану – 7 дюймів;
- сенсорне керування;
- інтерфейс Ethernet;
- підтримка TIA Portal.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		58



Рисунок 2.9 – Загальний вигляд операторської панелі
Siemens KTP700 Basic

Для верхнього рівня візуалізації, архівації та формування звітів доцільно використати Siemens WinCC Runtime Advanced у середовищі TIA Portal. Офіційні сторінки Siemens підтверджують, що WinCC Runtime Advanced є активним програмним продуктом для рівня машинної візуалізації та інтегрується з TIA Portal. Використання такого ПЗ дозволяє реалізувати архівування, тренди, аварійні повідомлення, екрани моніторингу й формування звітів на персональному комп'ютері.

Вибір обумовлений простотою інтеграції з ПЛК та достатніми можливостями.

2.5.5 Вибір джерела живлення

Для забезпечення стабільної та надійної роботи автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання необхідно передбачити відповідне джерело живлення для всіх її складових елементів. До таких елементів належать програмований логічний контролер, комунікаційні модулі, операторська панель, мережеве обладнання, а також інші допоміжні пристрої.

Більшість промислових засобів автоматизації працюють від стандартної напруги 24 В постійного струму, що обумовлює необхідність використання

відповідного джерела живлення. Вибір такого стандарту пояснюється його безпечністю, стабільністю та широким застосуванням у промислових системах.

У якості джерела живлення у даній системі обрано імпульсний блок живлення Mean Well HDR-60-24, який встановлюється на DIN-рейку (рис. 2.10).



Рисунок 2.10 – Загальний вигляд джерела живлення Mean Well HDR-60-24

Джерело живлення Mean Well HDR-60-24 є сучасним промисловим пристроєм, призначеним для перетворення змінної напруги мережі 220 В у стабілізовану постійну напругу 24 В. Воно характеризується компактними розмірами, високою надійністю та можливістю встановлення у стандартних шафах автоматизації.

Основні технічні характеристики джерела живлення:

- номінальна вихідна напруга – 24 В;
- номінальний струм – 2,5 А;
- потужність – 60 Вт;
- вхідна напруга – 85...264 В змінного струму;
- монтаж – на DIN-рейку;

- наявність захистів від короткого замикання, перевантаження та перенапруги;
- робочий температурний діапазон – від -30 до $+70$ °C.

Вибір саме даного джерела живлення є обґрунтованим з кількох причин. По-перше, його параметри повністю відповідають вимогам живлення обраних технічних засобів, зокрема контролера Siemens S7-1200, комунікаційних модулів та мережевого обладнання. По-друге, використання джерела живлення з монтажем на DIN-рейку значно спрощує інтеграцію в електротехнічну шафу та забезпечує зручність монтажу.

По-третє, наявність вбудованих захистів підвищує надійність роботи всієї системи, оскільки запобігає виходу з ладу обладнання у випадку аварійних режимів роботи. По-четверте, продукція компанії Mean Well широко представлена на ринку України, що забезпечує доступність придбання та технічного обслуговування.

Крім того, вибір джерела живлення з певним запасом по потужності дозволяє врахувати можливе розширення системи у майбутньому, наприклад підключення додаткових датчиків або комунікаційних модулів. Це підвищує гнучкість та масштабованість розроблюваної системи.

Таким чином, використання джерела живлення Mean Well HDR-60-24 забезпечує стабільне електроживлення всіх елементів автоматизованої системи, підвищує її надійність та відповідає сучасним вимогам до побудови систем автоматизації.

2.5.6 Загальне обґрунтування вибраної конфігурації

Обрана конфігурація технічних засобів автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання є цілісною, узгодженою та забезпечує реалізацію всіх функцій, визначених у попередніх підрозділах. Побудова системи здійснена за ієрархічним принципом, що передбачає розподіл функцій між рівнем вимірювання, рівнем моніторингу, збору, обробки, аналізу даних і рівнем візуалізації та збереження інформації.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		61

Структура системи з урахуванням обраних технічних засобів наведена на рис. 2.11.

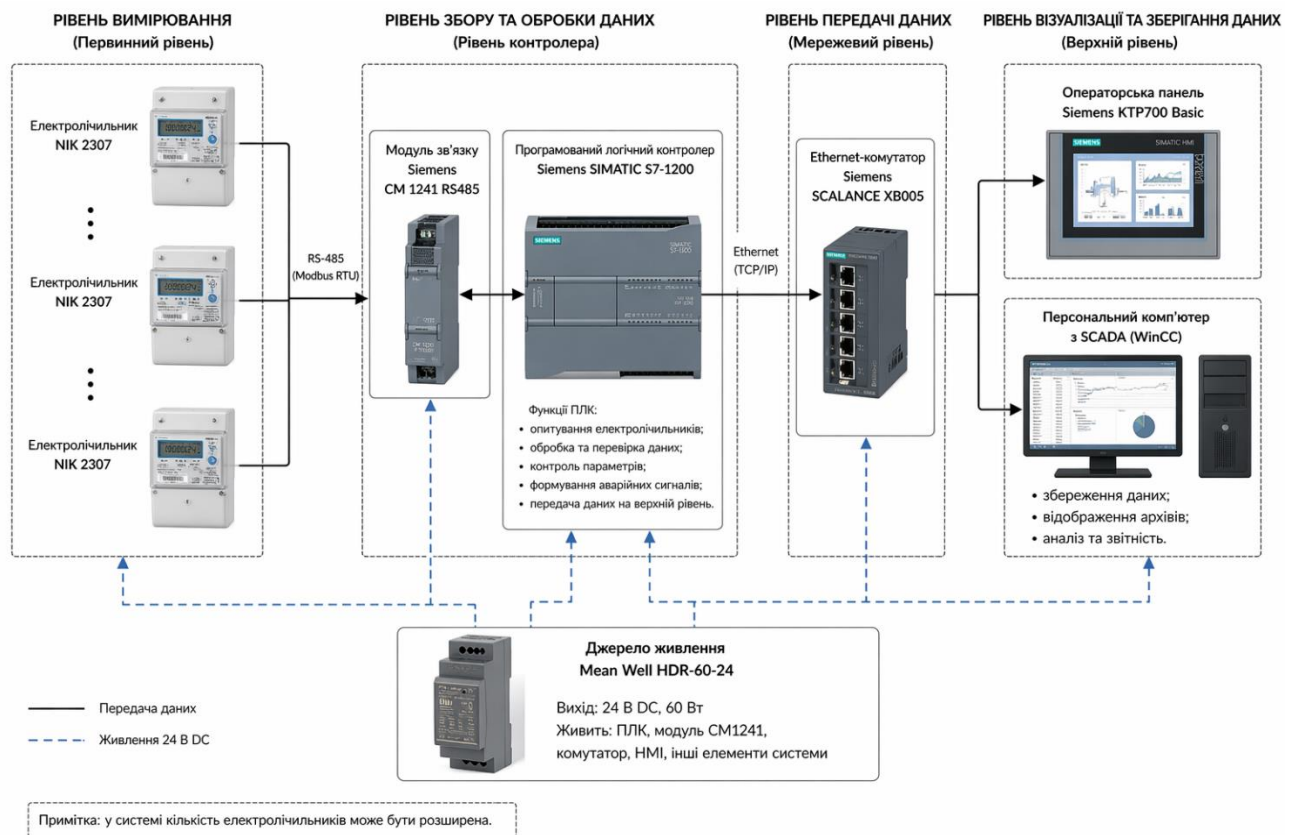


Рис.2.11. Структура автоматизованої системи з урахуванням обраних технічних засобів

На рівні вимірювання використовуються трифазні електролічильники типу NIK 2307, які забезпечують вимірювання та формування первинних даних про споживання електроенергії. Передача цих даних здійснюється через інтерфейс RS-485 із використанням протоколу Modbus RTU.

Для організації обміну даними між електролічильниками та контролером використовується комунікаційний модуль Siemens CM 1241 RS485, який забезпечує надійне підключення до мережі RS-485 та реалізацію протоколу обміну даними. Це дозволяє здійснювати автоматичне опитування приладів обліку та передавати інформацію до рівня обробки.

На рівні збору, обробки та аналізу даних центральним елементом є програмований логічний контролер Siemens SIMATIC S7-1200. Контролер виконує функції збору, обробки, аналізу та контролю даних відповідно до розробленого алгоритму функціонування. Зокрема, він здійснює опитування електролічильників, перевірку коректності отриманої інформації, обробку/аналіз даних та порівняння параметрів із заданими значеннями. У разі виявлення відхилень контролер формує відповідні сигнали, що забезпечує реалізацію функцій автоматичного контролю.

Передача оброблених/проаналізованих даних на верхній рівень здійснюється через Ethernet-мережу з використанням індустріального комутатора Siemens SCALANCE XB005. Даний пристрій забезпечує об'єднання контролера, операторської панелі та персонального комп'ютера в єдину мережу та гарантує стабільність і надійність обміну даними.

На рівні візуалізації та взаємодії з оператором використовується операторська панель Siemens KTP700 Basic, яка забезпечує відображення поточних параметрів системи, сигналів тривоги та службової інформації. Крім того, для розширених функцій обробки та аналізу даних використовується персональний комп'ютер із встановленою SCADA-системою (WinCC), який виконує архівацію даних, формування звітності та аналіз електроспоживання.

Живлення всіх елементів системи забезпечується джерелом живлення Mean Well HDR-60-24, яке формує стабілізовану напругу 24 В постійного струму. Це дозволяє забезпечити надійну роботу програмованого логічного контролера, комунікаційних модулів, мережевого обладнання та операторської панелі.

Взаємодія всіх елементів системи відповідає розробленому алгоритму функціонування, що наведений у підрозділі 2.4. Система працює у циклічному режимі, забезпечуючи безперервний збір, моніторинг, обробку, аналіз, передачу та відображення даних. У разі виникнення відхилень від нормального режиму роботи система автоматично формує повідомлення для оператора, що підвищує ефективність контролю електроспоживання.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		63

Важливою перевагою обраної конфігурації є використання стандартних промислових інтерфейсів зв'язку, таких як RS-485 та Ethernet, що забезпечує сумісність обладнання, простоту інтеграції та можливість подальшого розширення системи. Крім того, застосування сучасних промислових технічних засобів підвищує надійність, завадостійкість і стабільність роботи системи.

Таким чином, обрана конфігурація технічних засобів є технічно обґрунтованою, повністю відповідає вимогам до автоматизованих систем моніторингу та аналізу електроспоживання та забезпечує ефективну реалізацію поставлених задач.

2.6 Висновки до розділу 2

У розділі розроблено автоматизовану систему моніторингу та аналізу електроспоживання. На основі результатів аналізу предметної області визначено функціональне призначення системи, що полягає у забезпеченні автоматизованого моніторингу, збору, передавання, обробки та збереження даних з подальшою їх візуалізацією та аналізом.

Синтезовано структурну схему системи, яка включає польовий, комунікаційний та верхній рівні, що забезпечують ієрархічну організацію процесів моніторингу, збору, обробки та аналізу інформації. Розроблено функціональну схему, яка відображає взаємодію основних елементів системи та інформаційні потоки між ними.

Розроблено алгоритм функціонування автоматизованої системи, який реалізує циклічне опитування електролічильників, приймання, перевірку, обробку та аналіз даних, а також їх передавання до верхнього рівня. Побудовано блок-схеми алгоритмів, що забезпечують наочне відображення логіки роботи системи.

Виконано обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації, зокрема електролічильників, програмованого логічного контролера, засобів передавання

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		64

даних, операторської панелі та джерела живлення. Обрана конфігурація забезпечує надійність, масштабованість і можливість інтеграції системи.

Отримані результати створюють основу для подальшої програмної реалізації та дослідження системи, а також підтверджують можливість ефективної автоматизації процесів моніторингу, збору, обробки та аналізу даних електроспоживання.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		65

3. РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

3.1 Математичне та інформаційне моделювання системи

Математичне та інформаційне моделювання є важливим етапом розроблення автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання. На попередніх етапах було визначено функціональне призначення системи, розроблено її структурну і функціональну схеми, обґрунтовано вибір технічних засобів та сформовано алгоритм функціонування. Однак для подальшої реалізації системи необхідно формально описати, які параметри вимірюються, як вони змінюються у часі, як перетворюються у цифрові дані, як обробляються, зберігаються та використовуються для моніторингу й аналізу.

Моделювання виконується у двох взаємопов'язаних напрямках. Перший напрям пов'язаний із математичним описом процесу електроспоживання, тобто зі зміною потужності, струму, напруги та накопиченої електроенергії у часі. Другий напрям пов'язаний з інформаційним моделюванням, тобто з описом руху даних від електролічильника до програмованого логічного контролера, бази даних і засобів візуалізації.

Такий підхід є важливим саме для задачі автоматизації, оскільки система повинна не лише відображати значення спожитої електроенергії, але й автоматично збирати дані, перевіряти їх коректність, формувати архіви, виявляти відхилення та подавати результати оператору у зручному вигляді. Отже, моделювання є основою для подальшої розробки програмного забезпечення та перевірки працездатності всієї системи.

3.1.1 Інформаційна модель системи

Інформаційна модель автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання описує процес формування, передавання, обробки,

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		66

збереження та використання даних, що виникають у процесі функціонування системи. Вона є основою для розуміння логіки роботи системи, забезпечення моніторингу та аналізу параметрів електроспоживання і визначає взаємозв'язки між її основними складовими.

Інформаційна модель наведена на рисунку 3.1.

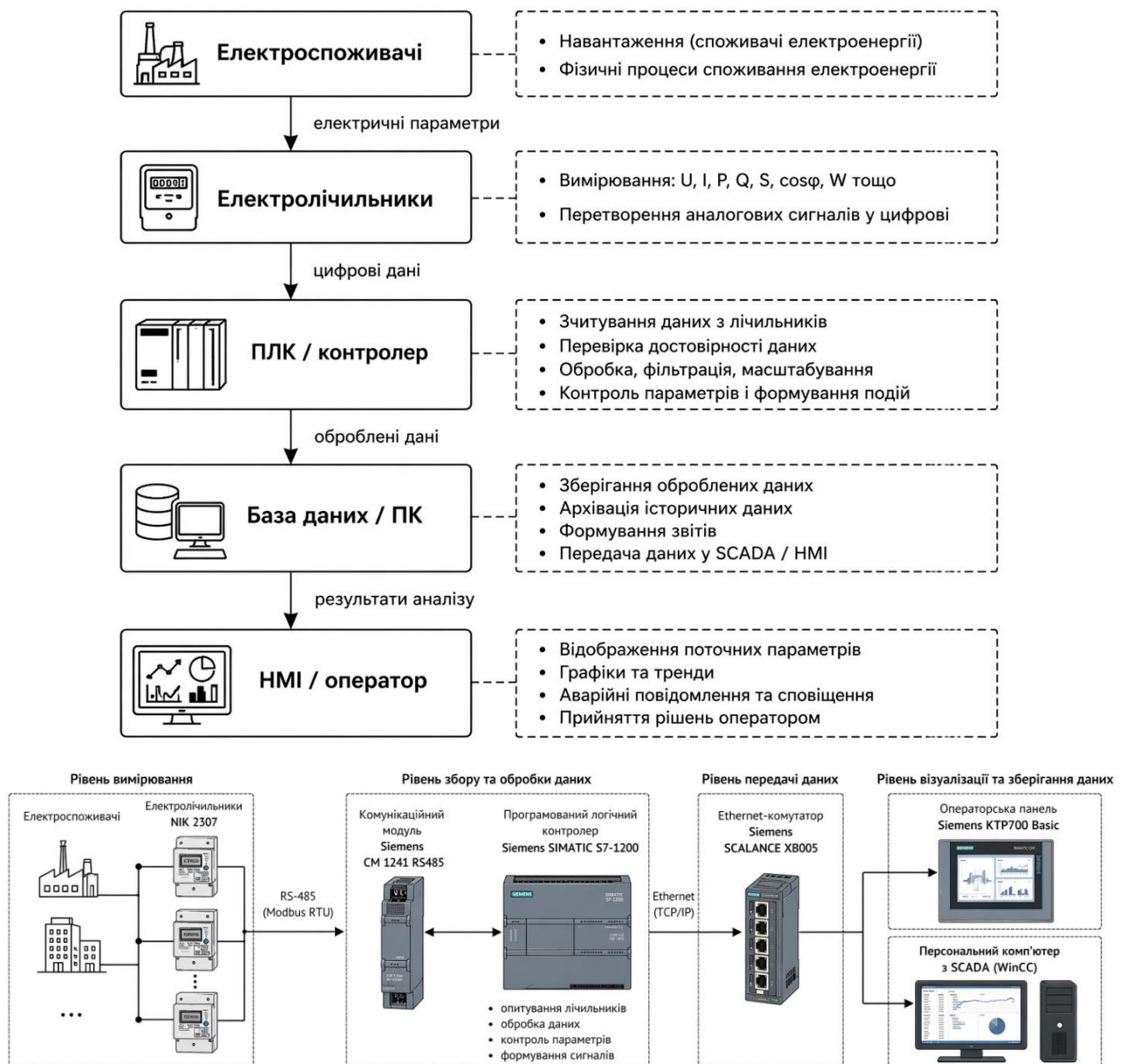


Рисунок 3.1 – Інформаційна модель автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання

У загальному випадку система представляється як багаторівнева структура, у якій відбувається послідовне перетворення фізичних величин у цифрову інформацію з подальшим її аналізом. Основною особливістю такої системи є наявність інформаційного потоку, який проходить через усі рівні – від об'єкта електроспоживання до оператора.

На першому етапі формується інформація про електроспоживання. Джерелом цієї інформації є об'єкт електроспоживання, яким можуть бути електричні установки, технологічне обладнання, група споживачів або частина електромережі. У процесі роботи об'єкта виникають електричні параметри, зокрема напруга, струм, активна та реактивна потужність, коефіцієнт потужності та спожита електроенергія.

На другому етапі здійснюється вимірювання електричних параметрів. Цю функцію виконують електролічильники, які є первинними вимірювальними перетворювачами. Вони перетворюють аналогові сигнали або внутрішньо обчислені електричні величини у цифрові значення та формують структуровані дані, придатні для подальшої передачі. Сучасні електролічильники можуть вимірювати не лише спожиту енергію, але й напругу, струм, потужність, коефіцієнт потужності та інші параметри електромережі.

На третьому етапі відбувається передавання даних. Отримана інформація передається від електролічильників до програмованого логічного контролера за допомогою промислових інтерфейсів і протоколів зв'язку. У розроблюваній системі передавання даних здійснюється у цифровому вигляді, що дозволяє зменшити вплив людського фактора та забезпечити більш стабільний обмін інформацією.

На четвертому етапі здійснюється первинна обробка даних. Програмований логічний контролер виконує функції збору інформації, перевірки її достовірності, узгодження за часом та підготовки до подальшого передавання. Контролер працює в циклічному режимі, опитуючи електролічильники через задані інтервали часу. Крім того, на цьому рівні може

виконуватися попередній контроль параметрів, зокрема перевірка їх на відповідність допустимим межам.

Наступним етапом є передавання інформації на верхній рівень системи. Дані надходять до персонального комп'ютера або серверної частини, де здійснюється їх накопичення та подальша обробка. На цьому рівні інформація зберігається у базі даних, що дозволяє формувати архіви та виконувати аналіз за різні періоди часу.

Останнім етапом є відображення інформації користувачу. Дані подаються у зручному вигляді за допомогою операторської панелі або програмного інтерфейсу. Це дозволяє оператору здійснювати контроль за станом системи, аналізувати показники та приймати відповідні рішення.

Таким чином, інформаційна модель системи описує повний цикл обробки даних: формування параметрів → вимірювання → передавання → обробка → збереження → аналіз → відображення.

Важливою особливістю розроблюваної системи є автоматизація всіх основних етапів цього процесу. На відміну від традиційного ручного знімання показів, запропонована система забезпечує автоматичний збір, обробку та аналіз даних, що підвищує точність, оперативність і надійність отриманої інформації.

3.1.2 Математична модель електроспоживання

Математична модель електроспоживання призначена для формалізованого опису процесів, що відбуваються в електричній мережі об'єкта, та є основою для подальшої обробки, аналізу і контролю параметрів в автоматизованій системі збору даних. Її використання дозволяє перейти від фізичних явищ до числових залежностей, які можуть бути реалізовані в програмному забезпеченні контролера та системи верхнього рівня.

У загальному випадку електроспоживання характеризується сукупністю електричних параметрів, основними з яких є напруга, струм, активна, реактивна та повна потужності, коефіцієнт потужності, а також спожита електрична

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		69

енергія. Саме ці параметри вимірюються електролічильниками та використовуються в системі для оцінки режиму роботи об'єкта.

Ключовим параметром для аналізу є активна потужність, оскільки вона безпосередньо характеризує корисне споживання електричної енергії. Для трифазної електричної мережі активна потужність визначається за формулою:

$$P = \sqrt{3}UI \cos \varphi, \quad (3.1)$$

де P – активна потужність, Вт;
 U – лінійна напруга, В;
 I – струм навантаження, А;
 $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності.

З наведеного виразу видно, що величина активної потужності залежить не лише від значень напруги та струму, але й від коефіцієнта потужності, який характеризує фазовий зсув між ними. Для автоматизованої системи це має важливе значення, оскільки дозволяє оцінювати ефективність використання електроенергії та виявляти нераціональні режими роботи обладнання.

Окрім активної потужності, важливим параметром є реактивна потужність, яка визначається як:

$$Q = \sqrt{3}UI \sin \varphi, \quad (3.2)$$

де Q – реактивна потужність, вар.

Реактивна потужність не виконує корисної роботи, однак впливає на навантаження електромережі. Тому її контроль є необхідним для оцінки якості електроспоживання та оптимізації режимів роботи. Повна потужність визначається співвідношенням:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (3.3)$$

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		70

де S – повна потужність, В·А.

Цей параметр характеризує загальне навантаження на електричну мережу і використовується при виборі обладнання та аналізі режимів роботи системи.

Важливим інтегральним показником є спожита електрична енергія. Вона визначається як інтеграл активної потужності за часом:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt, \quad (3.4)$$

де W – спожита електроенергія, кВт·год;

$P(t)$ – активна потужність у момент часу t ;

t_1, t_2 – початковий і кінцевий моменти часу вимірювання.

Оскільки в автоматизованій системі дані збираються дискретно, використовується наближена форма цієї залежності:

$$W = \sum_{i=1}^n P_i \Delta t, \quad (3.5)$$

де P_i – значення активної потужності на i -му інтервалі вимірювання;

Δt – інтервал дискретизації;

n – кількість вимірювань.

Ця формула безпосередньо відповідає алгоритму роботи системи, у якому контролер періодично зчитує значення потужності та накопичує дані для подальшого аналізу.

Для більш повного опису електроспоживання доцільно розглядати його як функцію часу $P(t)$. Ця функція відображає зміну навантаження протягом доби або іншого періоду. У більшості випадків електроспоживання має нерівномірний характер і залежить від режиму роботи обладнання, часу доби та технологічних процесів.

Для практичного моделювання електроспоживання використовується узагальнена залежність:

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		71

$$P(t) = P_{баз} + P_{змін}(t), \quad (3.6)$$

де $P_{баз}$ – базова складова навантаження, що характеризує постійне споживання;

$P_{змін}(t)$ – змінна складова, яка відображає пікові та перехідні режими.

Для більш детального опису добового профілю навантаження можна використовувати модель:

$$P(t) = P_{баз} + P_{ран}(t) + P_{ден}(t) + P_{веч}(t), \quad (3.7)$$

де $P_{ран}(t)$ – ранкова складова навантаження;

$P_{ден}(t)$ – денна складова;

$P_{веч}(t)$ – вечірня складова.

У межах автоматизованої системи всі виміряні параметри представляються у вигляді структурованого набору даних. Для цього використовується вектор параметрів:

$$x_i = \{U_i, I_i, P_i, Q_i, S_i, \cos \varphi_i, t_i\}, \quad (3.8)$$

де кожний елемент відповідає значенню параметра в момент часу t_i .

Послідовність таких вимірювань формує масив даних:

$$X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}. \quad (3.9)$$

Цей масив є основою для побудови графіків, формування архівів, аналізу електроспоживання та прийняття рішень у системі.

Отже, математична модель є необхідною складовою автоматизованої системи, оскільки забезпечує зв'язок між фізичними процесами

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		72

електроспоживання та їх цифровим представленням у системі моніторингу та аналізу електроспоживання.

3.1.3 Дискретна модель моніторингу даних електроспоживання

Дискретна модель збору даних є невід’ємною складовою математичного моделювання автоматизованої системи, оскільки визначає принцип отримання інформації від електролічильників та безпосередньо впливає на точність аналізу електроспоживання, обсяг даних і навантаження на систему.

На відміну від теоретичної математичної моделі, в якій електричні параметри розглядаються як неперервні функції часу, у реальній автоматизованій системі вимірювання здійснюються через певні інтервали часу. Це пов’язано з технічними обмеженнями засобів вимірювання, необхідністю зменшення обсягу передаваних даних та забезпеченням стабільної роботи системи.

Процес збору даних можна представити у вигляді дискретної послідовності вимірювань:

$$t_1, t_2, t_3, \dots, t_n, \quad (3.10)$$

де t_i – момент часу виконання i -го вимірювання.

Інтервал між двома послідовними вимірюваннями визначається як:

$$\Delta t = t_{i+1} - t_i. \quad (3.11)$$

Значення Δt є одним із ключових параметрів системи, оскільки саме воно визначає частоту опитування електролічильників. У розроблюваній автоматизованій системі інтервал опитування задається програмно у контролері та є сталим протягом роботи системи.

Дискретна модель збору даних наведена на рис. 3.2.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

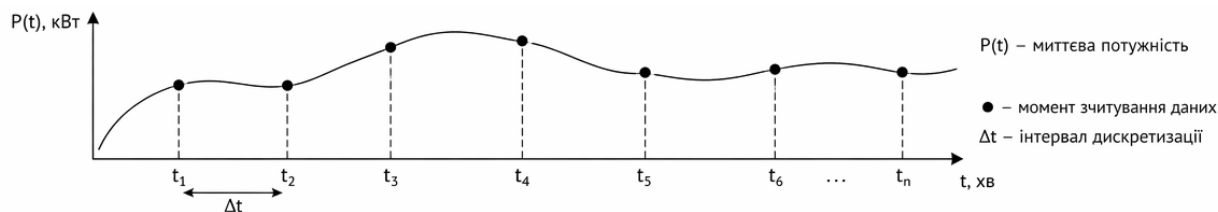


Рисунок 3.2 – Дискретна модель збору даних про електроспоживання

Як видно з рис. 3.2, значення параметрів електроспоживання фіксуються лише у визначені моменти часу, а між ними зміна параметрів не реєструється безпосередньо, а оцінюється опосередковано. Такий підхід дозволяє значно спростити процес обробки інформації та зменшити обсяг даних.

Кількість вимірювань за добу визначається за формулою:

$$N = 24 \cdot 60 \Delta t, \quad (3.12)$$

де N – кількість вимірювань за добу;

Δt – інтервал опитування, хв.

Наприклад, при інтервалі опитування 15 хвилин $N=24 \cdot 60 \cdot 15=96$. Отже, протягом доби система формує 96 записів для кожного електролічильника. Така кількість є достатньою для побудови добового профілю навантаження та аналізу режимів електроспоживання.

Вибір інтервалу опитування є важливим етапом проєктування системи. Якщо інтервал є занадто великим, система не зможе зафіксувати короточасні пікові навантаження або швидкі зміни параметрів. З іншого боку, занадто малий інтервал призводить до значного збільшення обсягу даних, що передаються та зберігаються, а також підвищує навантаження на канал зв'язку, контролер і базу даних.

Таким чином, вибір значення Δt повинен забезпечувати компроміс між точністю відображення процесу електроспоживання та ефективністю роботи системи. Для задач енергомоніторингу доцільним є використання інтервалу 10–

15 хвилин, що забезпечує достатню деталізацію профілю навантаження без надмірного збільшення обсягу інформації.

Дискретна модель збору даних безпосередньо пов'язана з алгоритмом роботи ПЛК. Контролер працює в циклічному режимі та виконує такі дії: формує запит до електролічильників, приймає відповіді, обробляє отримані дані, зберігає їх або передає на верхній рівень.

Кожен цикл роботи контролера відповідає одному інтервалу Δt . Таким чином, дискретизація часу визначає період виконання алгоритму системи.

3.1.4 Моделювання електроспоживання в MATLAB

Для дослідження характеру зміни параметрів у часі виконано моделювання процесу електроспоживання в середовищі MATLAB. Використання MATLAB є доцільним, оскільки це середовище дозволяє виконувати числове моделювання, формувати масиви даних, будувати графічні залежності та аналізувати динаміку зміни параметрів. У межах моделювання було сформовано добовий профіль активної потужності, зміну напруги, струму та накопиченої електроенергії.

Для опису добового навантаження використано модель (3.7). Для реалізації моделі використано такий програмний код MATLAB:

```
t = 0:0.25:24; % час, год
P_base = 2.8; % базове навантаження, кВт
P_morning = 2.2*exp(-0.5*((t-8)/1.4).^2);
P_day = 1.3*exp(-0.5*((t-13)/3.5).^2);
P_evening = 3.0*exp(-0.5*((t-19)/2.0).^2);

P = P_base + P_morning + P_day + P_evening;
cos_phi = 0.92;
U = 230 + 5*sin(2*pi*(t-2)/24);
I = (P*1000)./(sqrt(3)*400*cos_phi);
dt = 0.25;
W = cumsum(P*dt);

figure(1)
plot(t,P)
axis tight
grid on
xlabel('t, год')
ylabel('P, кВт')
```

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

```

figure(2)
plot(t,U)
axis tight
grid on
xlabel('t, год')
ylabel('U, кВ')

figure(3)
plot(t,I)
axis tight
grid on
xlabel('t, год')
ylabel('I, кА')

figure(4)
plot(t,W)
axis tight
grid on
xlabel('t, год')
ylabel('W, кВт')

```

У цьому коді створюється часовий масив з кроком 15 хвилин, що відповідає дискретній моделі збору даних. Потужність формується як сума базового, ранкового, денного та вечірнього навантажень. Далі розраховуються коефіцієнт потужності, напруга, струм і накопичена електроенергія.

На рис. 3.3 наведено графік зміни активної потужності протягом доби.

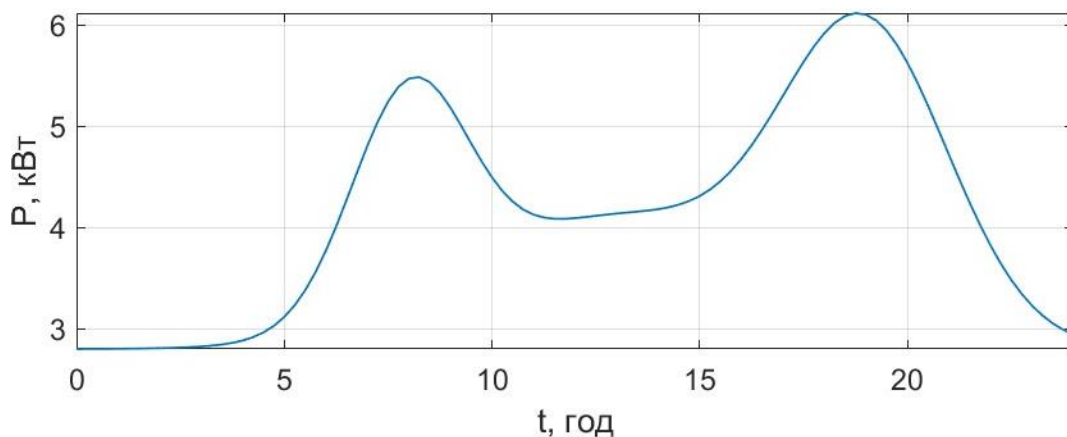


Рисунок 3.3 – Графік зміни активної потужності протягом доби

З рис. 3.3 видно, що активна потужність змінюється нерівномірно. У нічний період навантаження є найменшим, що відповідає мінімальній активності

споживача. У ранкові години спостерігається зростання потужності, пов'язане з увімкненням обладнання або початком роботи об'єкта. У денний період навантаження набуває відносно стабільного характеру, а у вечірній час формується найбільше пікове значення. Саме такі пікові ділянки є важливими для автоматизованої системи, оскільки вони можуть бути використані для контролю перевищення допустимої потужності або аналізу нерівномірності електроспоживання.

Значення струму навантаження розраховується на основі активної потужності, напруги та коефіцієнта потужності:

$$I_i = \frac{P_i \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_L \cos \varphi}, \quad (3.13)$$

де I_i – струм навантаження на i -му інтервалі;

P_i – активна потужність, кВт;

U_L – лінійна напруга, В;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності.

На рис. 3.4 наведено результат моделювання зміни напруги протягом доби.

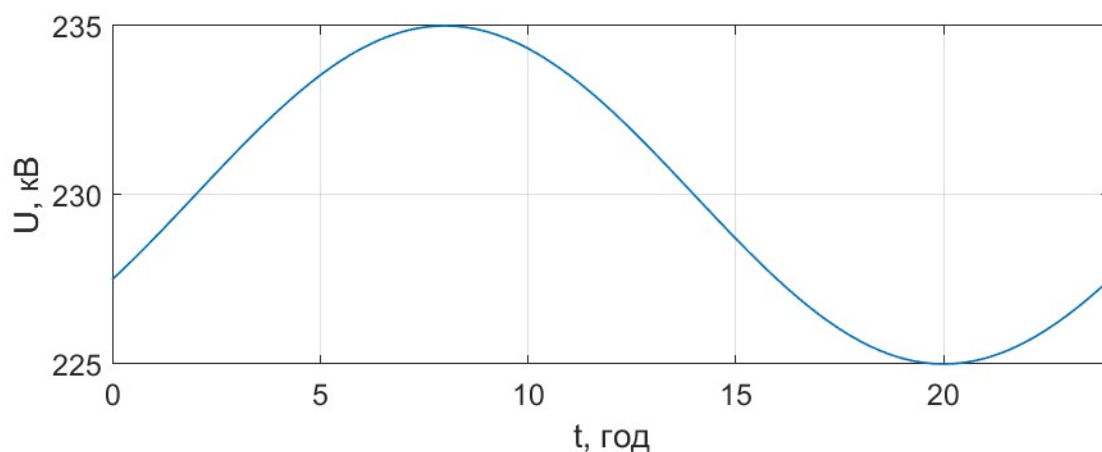


Рисунок 3.4 – Графік зміни напруги протягом доби

Як видно з рис. 3.4, напруга змінюється в межах допустимого діапазону та не має різких провалів або перенапруг. Для автоматизованої системи контроль напруги має практичне значення, оскільки зниження або підвищення напруги може впливати на режим роботи обладнання, точність вимірювання та надійність електропостачання. У разі виходу напруги за встановлені межі ПЛК може сформувати попереджувальне повідомлення для оператора.

На рис. 3.5 наведено графік зміни струму навантаження.

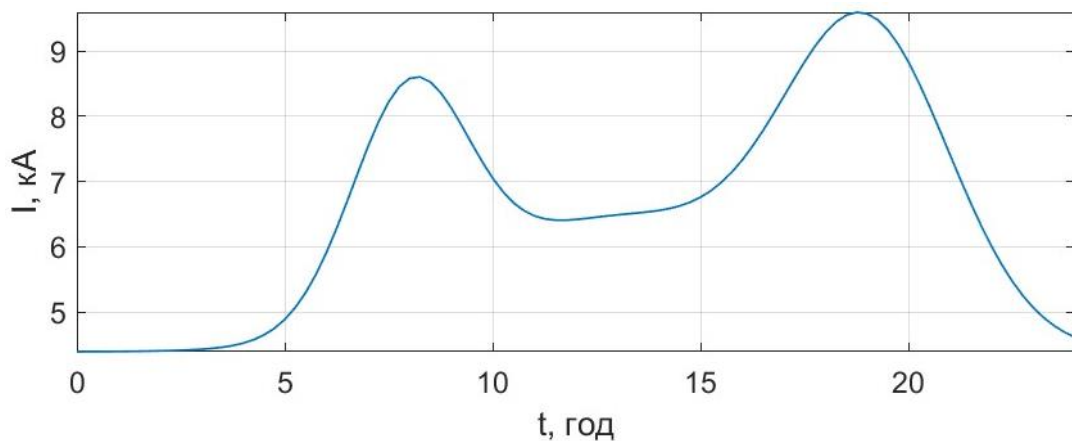


Рисунок 3.5 – Графік зміни струму навантаження протягом доби

Графік струму має характер, подібний до графіка активної потужності. Це пояснюється тим, що при відносно стабільній напрузі та коефіцієнті потужності струм прямо залежить від потужності. У періоди збільшення навантаження струм також зростає. Така залежність є важливою для контролю режиму роботи електричної мережі, оскільки перевищення струму може свідчити про перевантаження лінії або обладнання.

На рис. 3.6 наведено графік накопичення спожитої електроенергії протягом доби.

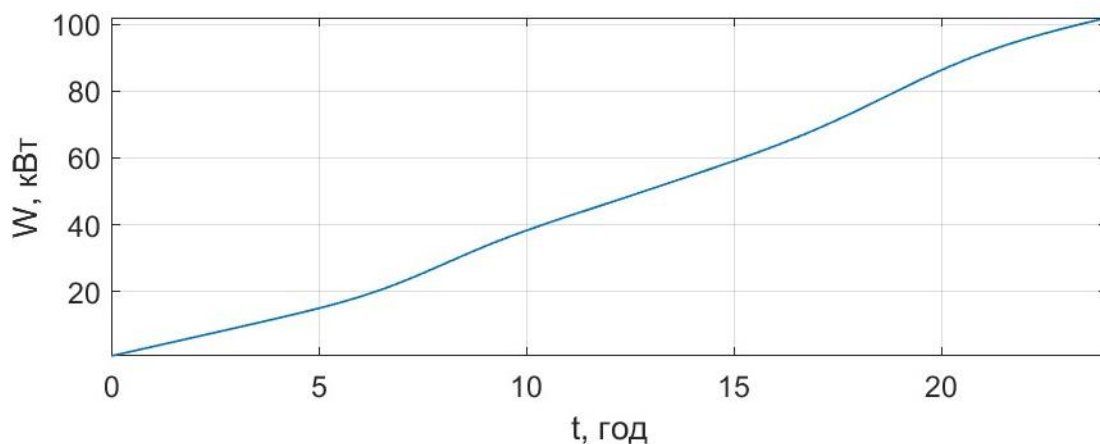


Рисунок 3.6 – Графік накопичення спожитої електроенергії протягом доби

З рис. 3.6 видно, що накопичена електроенергія має монотонно зростаючий характер. Це відповідає фізичній суті процесу споживання, оскільки електроенергія накопичується протягом часу залежно від поточного значення активної потужності. На ділянках, де активна потужність більша, крива накопичення має більший нахил. Таким чином, графік підтверджує коректність дискретної моделі обчислення енергії за формулою (3.5).

Для реалізації автоматичного контролю в системі необхідно задати допустимі межі контрольованих параметрів. У загальному вигляді умова контролю має вигляд:

$$X_{\min} \leq X_i \leq X_{\max}, \quad (3.14)$$

де X_i – поточне значення контрольованого параметра;

$X_{\min}$ – мінімально допустиме значення;

$X_{\max}$ – максимально допустиме значення.

Якщо значення параметра знаходиться в установлених межах, система працює у нормальному режимі. Якщо ж значення виходить за межі допустимого діапазону, формується сигнал попередження або аварійний сигнал. Логічно це можна подати так:

$$A = \begin{cases} 0, & X_{\min} \leq X_i \leq X_{\max} \\ 1, & X_i \leq X_{\min} \text{ або } X_i > X_{\max} \end{cases}, \quad (3.15)$$

де A – стан сигналу попередження.

Значення $A=0$ відповідає нормальному режиму роботи, а $A=1$ означає наявність відхилення. Така модель безпосередньо пов'язана з алгоритмом роботи системи, оскільки саме ПЛК виконує порівняння параметрів із допустимими межами та формує сигнал попередження. У твоїй роботі така логіка вже закладена у функціональній схемі: ПЛК приймає дані, перевіряє їх, формує масив, порівнює з допустимими межами та у разі відхилення формує попередження.

З погляду автоматизації це є одним із найважливіших результатів моделювання. Система не лише накопичує дані, а й виконує автоматичне оцінювання стану об'єкта. Це дозволяє перейти від пасивного обліку електроенергії до активного технічного контролю режимів електроспоживання.

3.1.5 Інформаційна модель бази даних

Окрім математичної моделі параметрів, у системі необхідно передбачити інформаційну модель збереження даних. Вона визначає, які дані повинні зберігатися, як вони пов'язані між собою та яким чином можуть використовуватися для подальшого аналізу. Інформаційна модель бази даних наведена на рис. 3.7.

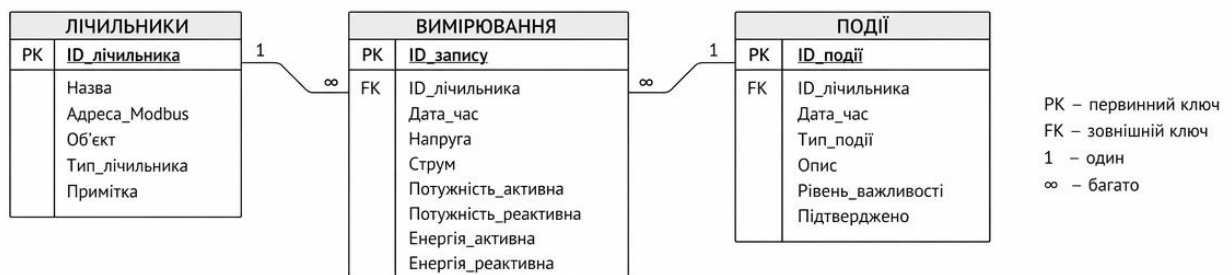


Рисунок 3.7 – Інформаційна модель бази даних системи

Як видно з рис. 3.7, база даних системи містить декілька основних таблиць. Таблиця «Лічильники» використовується для збереження довідкової інформації про кожний прилад обліку: його ідентифікатор, адресу в мережі, місце встановлення та належність до певного об'єкта. Таблиця «Вимірювання» призначена для накопичення поточних і архівних значень параметрів електроспоживання. До неї можуть входити час вимірювання, напруга, струм, активна потужність, реактивна потужність, коефіцієнт потужності та накопичена електроенергія. Таблиця «Події» використовується для фіксації аварійних ситуацій, перевищень допустимих меж, втрати зв'язку або інших службових повідомлень.

Таке подання бази даних є доцільним, оскільки воно забезпечує розділення довідкової, вимірювальної та службової інформації. Це спрощує подальший аналіз, дозволяє формувати звіти за певний період, будувати графіки навантаження та відслідковувати історію аварійних подій. У наявному тексті роботи вже зазначено, що таблиця «Лічильники» містить довідкову інформацію, таблиця «Вимірювання» – поточні й архівні параметри, а таблиця «Події» – аварійні ситуації та службові повідомлення.

Таким чином, математична модель описує фізичні залежності між електричними параметрами, а інформаційна модель визначає порядок їх збереження, обробки та використання. Поєднання цих моделей забезпечує повноцінну основу для реалізації програмної частини системи. Дані, отримані в результаті моделювання у MATLAB, можуть бути використані для перевірки алгоритму моніторингу, збору, обробки та аналізу, побудови тестових графіків у SCADA-системі, перевірки роботи аварійної сигналізації та формування архівів.

Результати математичного та інформаційного моделювання підтверджують працездатність обраної структури автоматизованої системи. Побудовані графіки зміни активної потужності, напруги, струму та накопиченої електроенергії дозволяють оцінити характер електроспоживання, визначити пікові ділянки навантаження та перевірити коректність розрахунку енергії. Інформаційна модель забезпечує логічну організацію даних для подальшого

збереження, аналізу і візуалізації. Отже, розроблені моделі створюють основу для подальшої програмної реалізації автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання.

Окрім моделювання електричних параметрів, у роботі доцільно виконати моделювання характеристик самої автоматизованої системи. Це потрібно для оцінки того, чи зможе система своєчасно опитувати електролічильники, передавати дані на верхній рівень, виконувати обробку та формувати повідомлення оператору без суттєвих затримок.

3.2 Моделювання характеристик автоматизованої системи

У системах автоматизації важливими є не лише значення потужності, струму чи напруги, але й часові характеристики роботи системи збору даних. Якщо період опитування вибраний занадто великим, система може не зафіксувати короточасні пікові навантаження. Якщо ж інтервал опитування занадто малий, збільшується обсяг даних, навантаження на канал зв'язку та базу даних. Тому при моделюванні необхідно оцінити час циклу роботи ПЛК, загальну затримку системи та обсяг інформації, що формується протягом доби.

Час одного циклу роботи ПЛК можна подати у вигляді:

$$T_{cycle} = T_{poll} + T_{proc} + T_{comm}, \quad (3.16)$$

де T_{poll} – час опитування електролічильників;

T_{proc} – час первинної обробки даних у ПЛК;

T_{comm} – час передавання даних на верхній рівень.

Якщо в системі використовується декілька електролічильників, то час опитування залежить від їх кількості:

$$T_{cycle} = m(T_{req} + T_{resp} + T_{parse}), \quad (3.17)$$

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						82
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

де m – кількість електролічильників;

T_{req} – час формування та передавання запиту;

T_{resp} – час приймання відповіді від лічильника;

T_{parse} – час виділення корисних параметрів із отриманого повідомлення.

Для моделювання прийнято, що один лічильник потребує приблизно 0,10 с на повний цикл запиту, відповіді та попередньої обробки. Таке значення є прийнятним для локальної системи збору даних на базі RS-485 та Modbus RTU. У MATLAB було побудовано залежність часу циклу ПЛК від кількості електролічильників:

```
m = 1:32; % кількість електролічильників

T_req = 0.035; % час передавання запиту, с
T_resp = 0.055; % час приймання відповіді, с
T_parse = 0.010; % час обробки даних одного лічильника, с

T_proc_base = 0.12; % базова обробка у ПЛК, с
T_comm_upper = 0.08; % передавання на верхній рівень, с

T_cycle = m.*(T_req + T_resp + T_parse) + ...
          T_proc_base + T_comm_upper;

plot(m, T_cycle, 'LineWidth', 2);
grid on;
xlabel('Кількість електролічильників, шт. ');
ylabel('Час циклу Tcycle, с');
title('Залежність часу циклу ПЛК від кількості лічильників');
```

Результат залежності часу циклу опитування ПЛК від кількості лічильників наведено на рис.3.8.

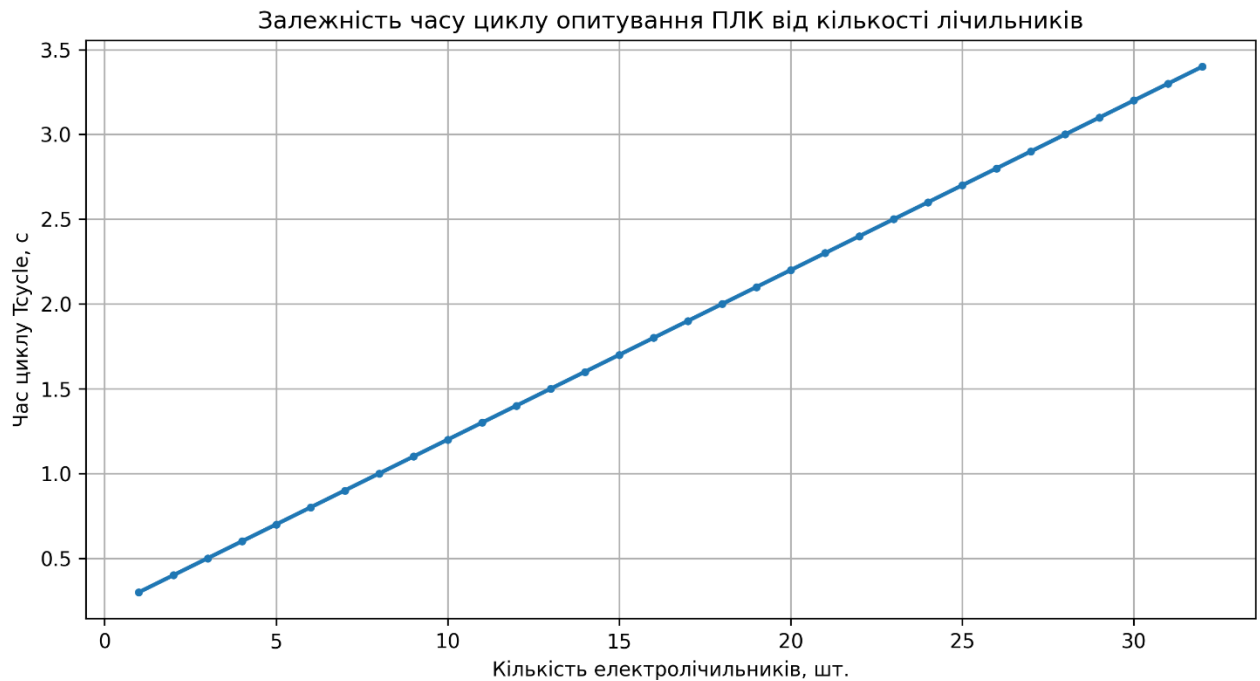


Рисунок 3.8 – Залежність часу циклу опитування ПЛК від кількості електролічильників

Як видно з рис. 3.9, збільшення кількості електролічильників призводить до майже лінійного збільшення часу циклу роботи ПЛК. Це пояснюється тим, що контролер послідовно опитує кожен пристрій. Отриманий результат підтверджує, що для невеликої кількості точок обліку час циклу залишається незначним і не створює обмежень для роботи системи. При збільшенні кількості електролічильників необхідно або збільшувати період опитування, або розділяти систему на декілька шин RS-485.

Загальна затримка системи визначається як час від моменту вимірювання параметра до його відображення оператору:

$$T_{delay} = T_{meas} + T_{cycle} + T_{vis}, \quad (3.18)$$

де T_{meas} – час вимірювання та формування даних лічильником;

T_{cycle} – час циклу роботи ПЛК;

T_{vis} – час передавання, обробки на верхньому рівні та відображення на НМІ або ПК.

Ця характеристика є важливою, оскільки визначає оперативність реакції системи на зміну режиму електроспоживання. У системі збору даних про електроенергію немає необхідності у мілісекундній реакції, як у швидкодіючих системах керування приводами, однак затримка повинна бути достатньо малою для своєчасного виявлення перевантажень або втрати зв'язку.

Код моделювання:

```
% Моделювання загальної затримки системи
m = 1:32; % кількість електролічильників
T_req = 0.035; % час передавання запиту, с
T_resp = 0.055; % час приймання відповіді, с
T_parse = 0.010; % час обробки відповіді одного лічильника, с
T_proc_base = 0.12; % базовий час обробки у ПЛК, с
T_comm_upper = 0.08; % час передавання даних на верхній рівень, с
T_meas = 0.20; % час формування вимірювання лічильником, с
T_vis = 0.30; % час відображення даних на HMI/SCADA, с
% час циклу ПЛК
T_cycle = m .* (T_req + T_resp + T_parse) + ...
          T_proc_base + T_comm_upper;
% загальна затримка системи
T_delay = T_meas + T_cycle + T_vis;
% побудова графіка
plot(m, T_delay, 'LineWidth', 2);
grid on;
xlabel('Кількість електролічильників, шт. ');
ylabel('Загальна затримка Tdelay, с');
title('Залежність затримки отримання та відображення даних від
кількості електролічильників');
```

Результат моделювання затримки отримання та відображення даних від кількості електролічильників наведено на рис.3.9.

З рис. 3.9 видно, що загальна затримка також зростає зі збільшенням кількості електролічильників. Це є очікуваним результатом, оскільки основну частину затримки формує саме послідовне опитування пристроїв. Для обраної структури системи отримані значення затримки є допустимими, оскільки процес збору даних про електроспоживання не потребує надшвидкої реакції, але вимагає стабільності та гарантованої доставки інформації.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		85

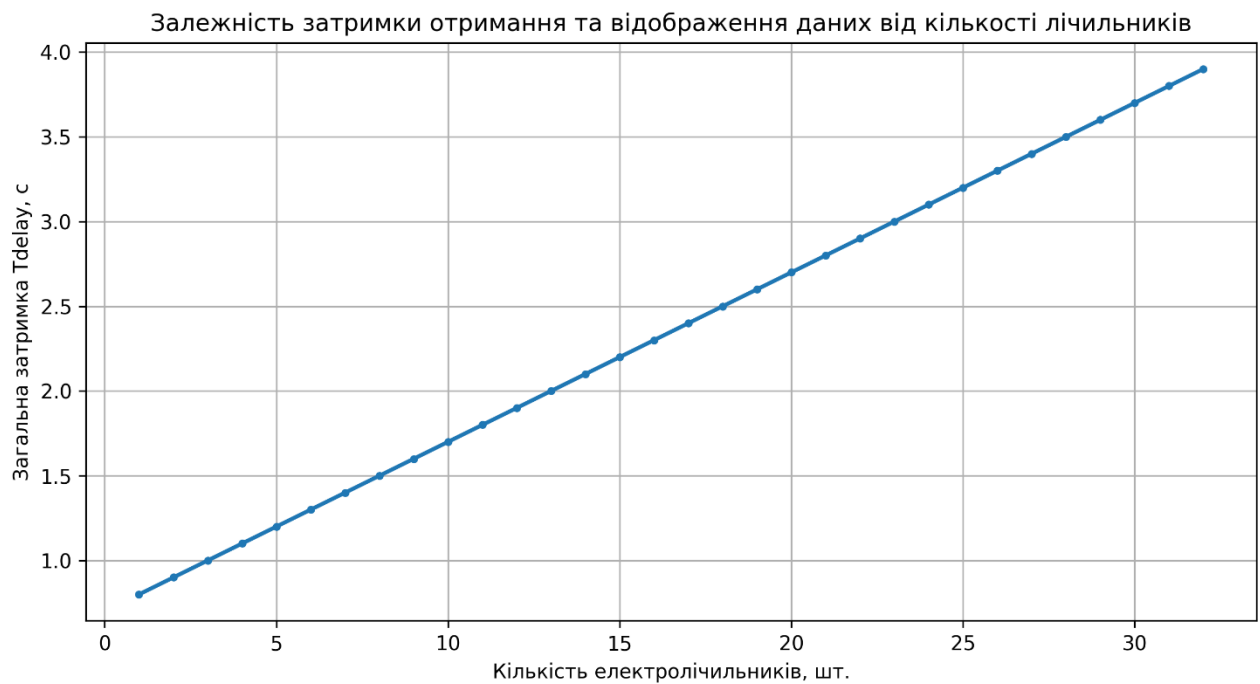


Рисунок 3.9 – Залежність затримки отримання та відображення даних від кількості електролічильників

Важливою характеристикою системи є обсяг даних, який формується за добу. Він залежить від інтервалу опитування, кількості параметрів, що зберігаються, та розміру одного запису:

$$V = N \cdot np \cdot s, \quad (3.19)$$

де V – обсяг даних;

N – кількість вимірювань за добу;

np – кількість параметрів в одному записі;

s – розмір одного параметра.

Кількість вимірювань за добу визначається як:

$$N = 24 \cdot 60 \Delta t, \quad (3.20)$$

де Δt – інтервал опитування, хв.

Наприклад, при інтервалі опитування 15 хв, $N=24 \cdot 60/15=96$.

Це означає, що для одного електролічильника формується 96 записів на добу. Якщо в одному записі зберігаються напруга, струм, активна потужність, реактивна потужність, повна потужність, коефіцієнт потужності, електроенергія та час вимірювання, то обсяг даних залишається невеликим і не створює значного навантаження на Ethernet-мережу або базу даних.

Код Matlab має наступний вигляд:

```
dt_min = [1 5 10 15 30 60];           % інтервал опитування, хв
N_day = 24*60 ./ dt_min;                % кількість записів на добу

n_params = 8;                           % кількість параметрів у записі
bytes_per_param = 4;                     % розмір одного параметра, байт
service_bytes = 24;                       % службова інформація

record_bytes = n_params*bytes_per_param + service_bytes;
V_day_kb = N_day*record_bytes/1024;

plot(dt_min, V_day_kb, 'LineWidth', 2);
grid on;
xlabel('Інтервал опитування, хв');
ylabel('Обсяг даних за добу, кБ/лічильник');
title('Залежність обсягу даних від інтервалу опитування');
```

Залежність добового обсягу даних від інтервалу опитування наведено на рис.3.10.

Як видно з рис. 3.10, зі зменшенням інтервалу опитування обсяг даних зростає. Найбільше навантаження на систему виникає при опитуванні з інтервалом 1-5 хвилин. Для розроблюваної системи доцільним є інтервал 15 хв., оскільки він забезпечує достатню деталізацію профілю навантаження та водночас не створює надмірного навантаження на канал зв'язку і базу даних.

Результати моделювання характеристик системи показують, що обрана структура є працездатною для задачі автоматизованого моніторингу, збору, обробки та аналізу даних електроспоживання.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		87

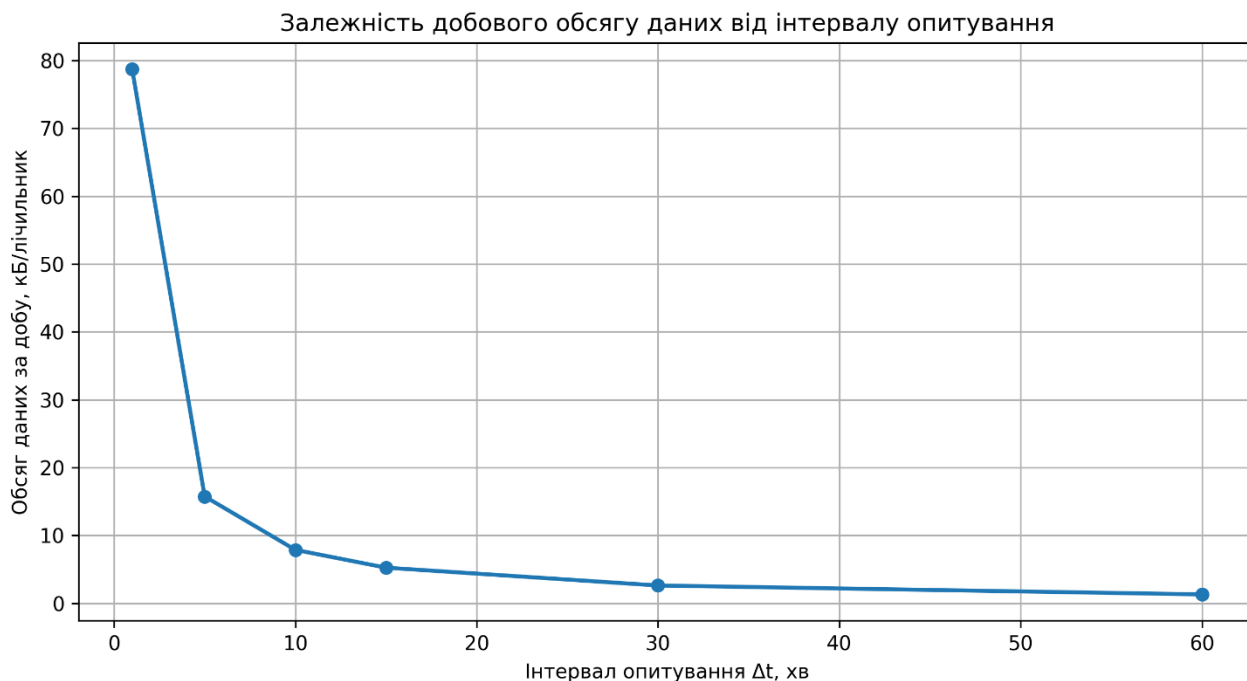


Рисунок 3.10 – Залежність добового обсягу даних від інтервалу опитування

Час циклу роботи ПЛК зростає пропорційно кількості електролічильників, однак для локальної системи залишається прийнятним. Обсяг даних при інтервалі опитування 15 хвилин є невеликим, що підтверджує достатність використання RS-485 на нижньому рівні та Ethernet на верхньому рівні. Таким чином, MATLAB-моделювання дозволило обґрунтувати не лише електричні параметри, а й часові та інформаційні характеристики автоматизованої системи.

Розроблені моделі дозволяють формалізувати процес моніторингу та аналізу електроспоживання, забезпечити контроль параметрів у заданих межах та створити умови для ефективного аналізу режимів електроспоживання.

3.3 Розробка алгоритму роботи системи

Розробка алгоритму роботи автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання є важливим етапом проектування, оскільки саме алгоритм визначає послідовність виконання операцій у системі, узгоджує роботу

її складових та забезпечує реалізацію функцій моніторингу, збору, обробки, аналізу, контролю і передавання інформації.

На відміну від структурної та функціональної схем, які відображають склад і призначення елементів системи, алгоритм визначає порядок їх взаємодії у часі. Розроблений алгоритм базується на математичній моделі електроспоживання (підрозділ 3.1), дискретній моделі збору даних та результатах моделювання характеристик системи (підрозділ 3.2), зокрема часу циклу ПЛК і затримки обробки інформації.

Блок-схема алгоритму роботи системи наведена на рис. 3.11.

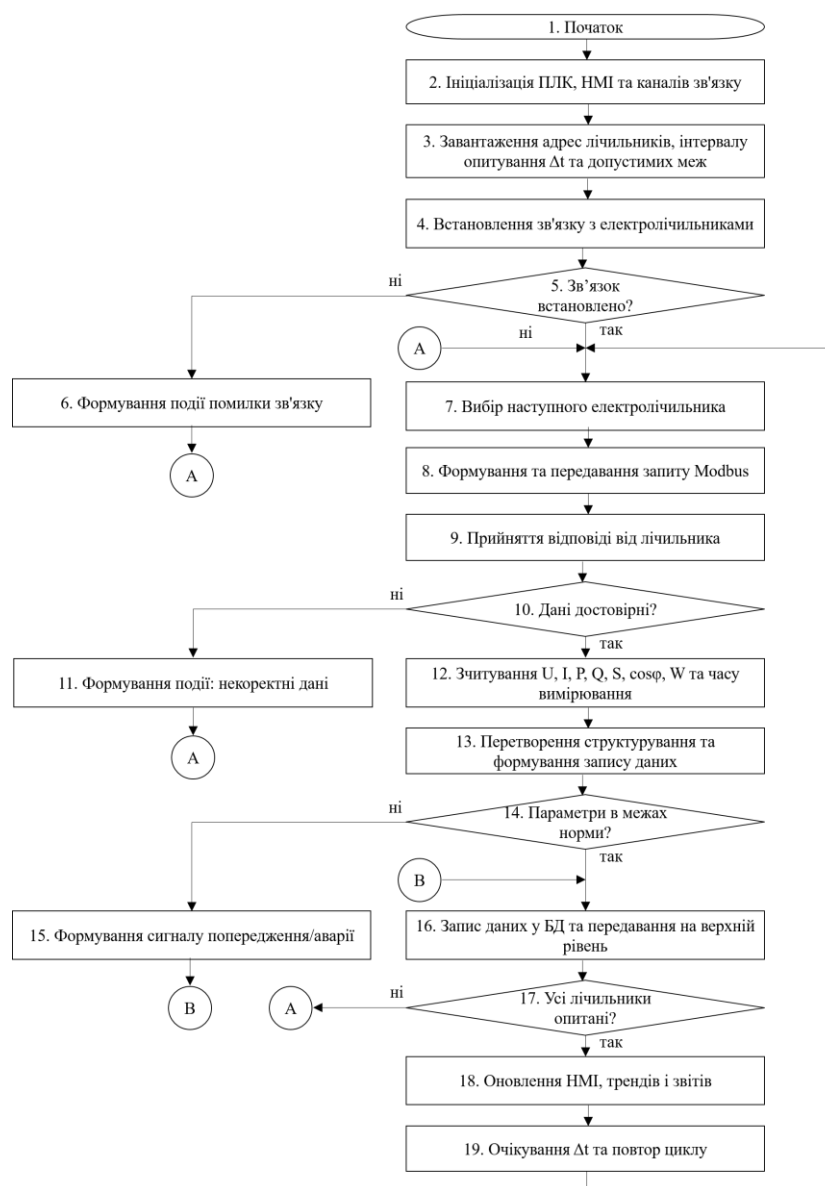


Рисунок 3.11 – Блок-схема алгоритму роботи автоматизованої системи моніторингу та аналізу

Алгоритм роботи системи має циклічний характер і включає такі основні етапи:

- ініціалізація системи;
- встановлення зв'язку з електролічильниками;
- циклічне опитування;
- зчитування, обробка та аналіз даних;
- перевірка достовірності;
- контроль допустимих меж;
- формування подій;
- передавання інформації;
- повторення циклу.

Такий підхід забезпечує безперервний автоматизований моніторинг та контроль параметрів електроспоживання.

На початковому етапі після подачі живлення система переходить у режим ініціалізації. У цей момент програмований логічний контролер виконує налаштування внутрішніх змінних, завантажує конфігураційні параметри та перевіряє готовність до роботи.

Зокрема, на цьому етапі визначаються:

- список електролічильників;
- адреси пристроїв у мережі;
- інтервал опитування Δt ;
- допустимі межі контрольованих параметрів.

Цей етап є критичним, оскільки неправильна конфігурація може призвести до помилок збору даних або втрати зв'язку з пристроями.

Після завершення ініціалізації система переходить до встановлення зв'язку з електролічильниками. Контролер формує запити до кожного пристрою відповідно до заданих адрес.

Якщо зв'язок встановлено успішно, система переходить до наступного етапу. У випадку відсутності відповіді або виникнення помилки формується

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						90
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

подія про втрату зв'язку. Це дозволяє оператору своєчасно виявити несправність каналу передачі даних або самого пристрою.

Основною частиною алгоритму є циклічне опитування електролічильників. Контролер послідовно звертається до кожного пристрою та виконує зчитування необхідних параметрів.

Циклічний характер роботи визначається інтервалом Δt , який був обґрунтований у підрозділі 3.2. Вибір цього інтервалу забезпечує компроміс між точністю вимірювань і навантаженням на систему.

Після отримання відповіді від електролічильника система виконує зчитування параметрів електроспоживання. До них належать:

- напруга;
- струм;
- активна потужність;
- реактивна потужність;
- коефіцієнт потужності;
- спожита електроенергія.

Отримані значення перетворюються у фізичні величини, структуризуються та доповнюються міткою часу. У результаті формується запис виду: $x_i = \{U_i, I_i, P_i, Q_i, S_i, \cos\phi_i, W_i, t_i\}$.

Цей запис відповідає інформаційній моделі, розглянутій у підрозділі 3.1.

Важливим етапом є перевірка достовірності отриманих даних. Вона включає:

- контроль наявності відповіді;
- перевірку діапазону значень;
- перевірку формату повідомлення;
- контроль часових затримок.

Якщо дані є некоректними, система формує відповідну подію та пропускає обробку цього запису. Це дозволяє уникнути накопичення помилкових даних у базі.

Після перевірки достовірності виконується контроль параметрів на відповідність допустимим межам. Для кожного параметра задаються значення X_{min} і X_{max} . Умова контролю має вигляд $X_{min} \leq X_i \leq X_{max}$.

У разі порушення цієї умови система формує сигнал попередження або аварії. Це дозволяє автоматично виявляти небезпечні режими роботи електрообладнання.

Усі відхилення від нормального режиму фіксуються у вигляді подій. До них належать:

- втрата зв'язку з електролічильником;
- отримання некоректних даних;
- перевищення допустимих значень параметрів.

Кожна подія містить інформацію про час виникнення, тип і значення параметра. Ці дані передаються до бази даних і використовуються для подальшого аналізу.

Після завершення обробки сформовані дані передаються на верхній рівень системи. На цьому рівні виконується:

- запис інформації у базу даних;
- побудова графіків;
- формування звітів;
- відображення інформації оператору.

Цей етап забезпечує інтеграцію системи з програмним забезпеченням моніторингу та візуалізації.

Після обробки всіх електролічильників система перевіряє, чи завершено опитування. Якщо всі пристрої опитані, контролер переходить у режим очікування на час Δt , після чого цикл повторюється.

Такий підхід забезпечує безперервну роботу системи та регулярне оновлення даних.

Запропонований алгоритм має такі переваги:

- забезпечує автоматизований збір даних без участі оператора;

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		92

- дозволяє реалізувати контроль параметрів у реальному часі;
- узгоджується з дискретною моделлю збору даних;
- враховує обмеження швидкодії ПЛК;
- забезпечує масштабованість системи.

Крім того, алгоритм враховує можливі нештатні ситуації та передбачає механізми їх обробки.

Алгоритм забезпечує виконання всіх необхідних функцій системи: зчитування, обробку, контроль, формування подій і передавання даних.

Розроблений алгоритм є основою для програмної реалізації системи та дозволяє забезпечити її ефективну, надійну та безперервну роботу.

3.4 Програмна реалізація системи

Програмна реалізація автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання є завершальним етапом її розроблення та забезпечує практичну реалізацію алгоритму роботи системи, розглянутого у підрозділі 3.3. Основною метою програмної реалізації є створення програмного забезпечення, яке забезпечує автоматичний збір, обробку, контроль та передавання даних у режимі реального часу.

Розроблене програмне забезпечення базується на математичній моделі електроспоживання (підрозділ 3.1), результатах моделювання характеристик системи (підрозділ 3.2) та структурному алгоритмі (рисунок 3.11).

3.4.1 Вибір програмного середовища

Для реалізації системи використано інтегроване середовище Siemens TIA Portal, яке забезпечує комплексне проєктування систем автоматизації.

Вибір цього середовища обґрунтований такими факторами:

- підтримка програмування контролерів Siemens S7-1200;
- інтеграція з операторською панеллю Siemens KTP700 Basic;

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		93

- підтримка промислових протоколів зв'язку (Modbus RTU, Modbus TCP, Profinet);
- можливість створення програм ПЛК і НМІ в одному середовищі;
- наявність вбудованих засобів діагностики.

Таким чином, використання TIA Portal дозволяє реалізувати всі функції системи в єдиному програмному комплексі.

3.4.2 Загальна структура програмного забезпечення

Програмне забезпечення системи має модульну структуру та включає:

- модуль ініціалізації;
- модуль обміну даними з електролічильниками;
- модуль обробки та аналізу даних;
- модуль контролю параметрів;
- модуль формування подій;
- модуль передавання даних;
- модуль візуалізації (НМІ).

На рис. 3.12 наведено загальну структуру програмного забезпечення системи. Програма ПЛК реалізує алгоритм роботи системи та координує взаємодію між модулями. Модуль ініціалізації забезпечує запуск системи, модуль обміну даними виконує зчитування інформації з електролічильників, модуль обробки даних здійснює обчислення параметрів, модуль контролю параметрів перевіряє їх допустимість, модуль формування подій відповідає за генерацію повідомлень про помилки та аварії, модуль передавання даних забезпечує передачу інформації на верхній рівень, а модуль візуалізації реалізує відображення даних на операторській панелі.

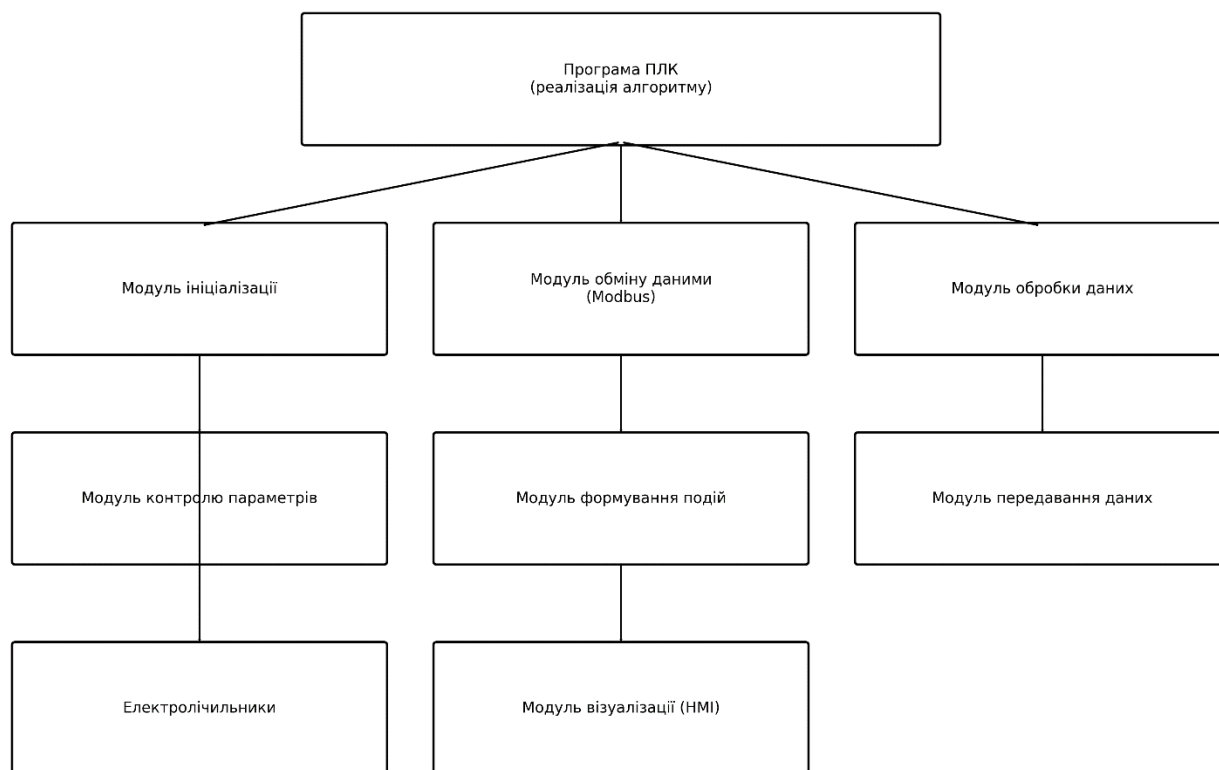


Рисунок 3.12 – Загальна структура програмного забезпечення автоматизованої системи моніторингу та аналізу

Робота програмного забезпечення реалізована за циклічним принципом, що є характерним для програмованих логічних контролерів. У межах одного циклу контролер послідовно виконує всі етапи обробки та аналізу даних, після чого цикл повторюється.

Структурно цикл роботи програми можна подати у вигляді послідовності:

Cycle=Init→Poll→Process→Check→Transmit

де InitInitInit – етап ініціалізації системи, під час якого здійснюється налаштування змінних, конфігурація інтерфейсів зв'язку та підготовка контролера до роботи;

PollPollPoll – етап опитування електролічильників, який включає формування запитів та приймання відповідей за протоколом Modbus;

ProcessProcessProcess – етап обробки та аналізу отриманих даних, що передбачає розрахунок додаткових параметрів (повної потужності, коефіцієнта потужності тощо);

CheckCheckCheck – етап контролю параметрів, на якому виконується перевірка отриманих значень на відповідність допустимим межам;

TransmitTransmitTransmit – етап передавання даних до системи верхнього рівня та оновлення операторської панелі.

Реалізація такого циклу забезпечує безперервне функціонування системи, оскільки після завершення одного циклу обробки даних автоматично розпочинається наступний. Це дозволяє здійснювати постійний моніторинг параметрів електроспоживання в реальному часі.

Крім того, циклічний принцип роботи забезпечує:

- регулярне оновлення інформації;
- своєчасне виявлення аварійних ситуацій;
- стабільність та передбачуваність роботи системи;
- ефективне використання ресурсів контролера.

Таким чином, застосування циклічної моделі виконання програми є обґрунтованим і відповідає вимогам до систем автоматизації реального часу.

У середовищі Siemens TIA Portal програмування ПЛК здійснюється із використанням структурованого підходу, що передбачає розділення оголошення змінних та програмної логіки (рис.3.13).

Інтерфейс програмного середовища включає дерево проєкту, таблицю змінних та редактор програмного коду. У таблиці змінних задаються типи даних, початкові значення та коментарі, тоді як у редакторі реалізується логіка роботи системи мовою Structured Text.

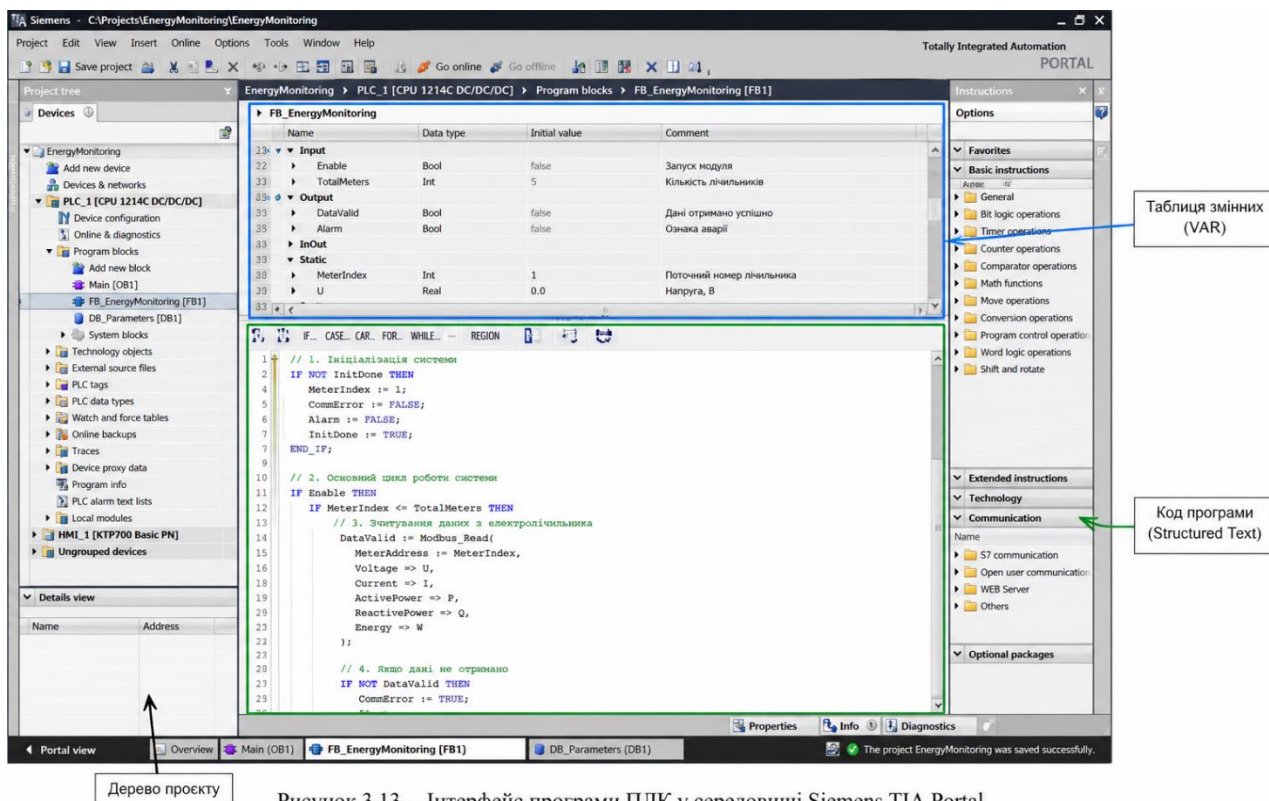


Рисунок 3.13 – Інтерфейс програми ПЛК у середовищі Siemens TIA Portal

Рисунок 3.13 – Інтерфейс програми ПЛК у середовищі Siemens TIA Portal (приклад реалізації функціонального блоку мовою Structured Text)

Як видно з рис. 3.13, інтерфейс середовища Siemens TIA Portal складається з декількох основних частин. У лівій частині розташоване дерево проєкту, яке відображає структуру системи, включаючи програмні блоки, конфігурацію обладнання та змінні. У верхній центральній частині представлена таблиця змінних (VAR), де визначаються всі необхідні параметри, що використовуються в програмі.

Нижче розташований редактор програмного коду, у якому реалізується алгоритм роботи системи мовою Structured Text. Код має підсвічування синтаксису, що спрощує його читання та налагодження. У правій частині інтерфейсу знаходиться панель інструкцій, яка містить бібліотеки стандартних функцій та операторів, що використовуються при розробці програми.

Такий інтерфейс дозволяє зручно реалізувати алгоритм роботи автоматизованої системи, забезпечує структурованість програмного коду, а також спрощує процес його налагодження та модифікації. Використання

середовища TIA Portal дозволяє інтегрувати програмування ПЛК та розробку інтерфейсу оператора в єдиному програмному комплексі, що підвищує ефективність розробки систем автоматизації.

3.4.3 Організація змінних та структури даних

На початку програми оголошуються змінні, необхідні для роботи автоматизованої системи. Вони поділяються на кілька груп: змінні стану системи, змінні для роботи з електролічильниками, виміряні параметри, допустимі межі, ознаки стану, таймер циклу та коди подій. Такий поділ дозволяє зробити програму структурованою та зручною для подальшого налагодження.

VAR

```
(* Стан системи *)
InitDone      : BOOL := FALSE;
SystemEnable  : BOOL := TRUE;

(* Лічильники *)
MeterIndex    : INT := 1;
TotalMeters   : INT := 5;

(* Виміряні параметри *)
U              : REAL := 0.0;
I              : REAL := 0.0;
P              : REAL := 0.0;
Q              : REAL := 0.0;
S              : REAL := 0.0;
CosPhi         : REAL := 0.0;
W              : REAL := 0.0;

(* Допустимі межі *)
U_Min         : REAL := 198.0;
U_Max         : REAL := 242.0;
I_Max         : REAL := 50.0;
P_Max         : REAL := 10000.0;
CosPhi_Min    : REAL := 0.85;

(* Ознаки стану *)
DataValid     : BOOL := FALSE;
CommError     : BOOL := FALSE;
Alarm         : BOOL := FALSE;
HMI_Update    : BOOL := FALSE;

(* Таймер циклу *)
PollTimer     : TON;
```

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						98
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

```

PollInterval      : TIME := T#15m;

(* Коди подій *)
Event_CommError   : INT := 1;
Event_Alarm       : INT := 2;
END_VAR

```

У цьому фрагменті змінна InitDone використовується для визначення факту завершення ініціалізації системи, а SystemEnable дозволяє вмикати або вимикати виконання основного алгоритму. Змінна MeterIndex визначає номер поточного електролічильника, який опитується в даний момент, а TotalMeters задає загальну кількість лічильників.

Змінні U, I, P, Q, S, CosPhi, W відповідають основним електричним параметрам, які отримуються або обчислюються у процесі роботи системи. Вони безпосередньо пов'язані з математичною моделлю електроспоживання, розглянутою у підрозділі 3.1.

Окремо задаються допустимі межі параметрів. Наприклад, U_Min та U_Max визначають допустимий діапазон напруги, I_Max – максимально допустимий струм, P_Max – граничну активну потужність, а CosPhi_Min – мінімально допустиме значення коефіцієнта потужності. Ці змінні використовуються у модулі контролю параметрів.

3.4.4 Ініціалізація системи

Перед початком основного циклу роботи виконується ініціалізація системи. Вона необхідна для того, щоб усі змінні мали визначені початкові значення, а система починала роботу з коректного стану.

```

(* 1. Ініціалізація системи *)
IF NOT InitDone THEN

    MeterIndex := 1;
    CommError := FALSE;
    Alarm := FALSE;
    DataValid := FALSE;

```

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		99

```

HMI_Update := FALSE;

InitDone := TRUE;

END_IF;

```

У цьому фрагменті перевіряється стан змінної InitDone. Якщо ініціалізація ще не виконувалась, програма встановлює початковий номер електролічильника, скидає ознаки помилки зв'язку, аварії, недостовірності даних та оновлення НМІ.

Після цього змінна InitDone набуває значення TRUE, що запобігає повторному виконанню блоку ініціалізації в кожному циклі програми. Такий підхід є важливим для стабільної роботи ПЛК, оскільки дозволяє уникнути випадкового скидання станів під час нормальної роботи системи.

3.4.5 Реалізація основного циклу роботи системи

Основний цикл роботи системи виконується лише за умови, що система дозволена до роботи. Це реалізовано за допомогою змінної SystemEnable.

```

(* 2. Основний цикл роботи системи *)
IF SystemEnable THEN

    (* 3. Перевірка, чи всі лічильники опитані *)
    IF MeterIndex <= TotalMeters THEN
        ...
    ELSE
        ...
    END_IF;

END_IF;

```

У цьому фрагменті оператор IF SystemEnable THEN визначає, чи повинна система виконувати основний алгоритм. Якщо значення SystemEnable дорівнює

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		100

TRUE, контролер переходить до перевірки номера поточного електролічильника.

Умова `MeterIndex <= TotalMeters` дозволяє визначити, чи залишилися лічильники, які ще потрібно опитати у поточному циклі. Якщо умова виконується, система зчитує дані з поточного лічильника. Якщо ні – вважається, що всі лічильники опитані, і програма переходить до завершення циклу, оновлення НМІ та запуску таймера очікування.

3.4.6 Реалізація обміну даними з електролічильниками

Зчитування параметрів електроспоживання виконується за допомогою функції `Modbus_Read`. Вона умовно відображає процес обміну даними між ПЛК та електролічильником за протоколом Modbus.

```
(* 4. Зчитування даних з електролічильника *)
DataValid := Modbus_Read(
    MeterAddress := MeterIndex,
    Voltage := U,
    Current := I,
    ActivePower := P,
    ReactivePower := Q,
    Energy := W
);
```

У цьому фрагменті параметр `MeterAddress` задає адресу електролічильника, з якого здійснюється зчитування. Для цього використовується значення `MeterIndex`, тобто контролер послідовно звертається до кожного лічильника.

Отримані значення записуються у змінні `U`, `I`, `P`, `Q` та `W`, які відповідають напрузі, струму, активній потужності, реактивній потужності та накопиченій електроенергії. Результатом роботи функції є змінна `DataValid`, яка показує, чи були отримані коректні дані.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		101

3.4.7 Перевірка достовірності даних та обробка помилки зв'язку

Після зчитування даних програма перевіряє їх достовірність. Якщо дані не отримані або отримані з помилкою, формується ознака помилки зв'язку та відповідна подія.

```
(* 5. Перевірка достовірності даних *)
IF NOT DataValid THEN

    CommError := TRUE;

    (* Формування події про помилку зв'язку *)
    LogEvent(
        MeterID := MeterIndex,
        EventType := Event_CommError
    );

    (* Перехід до наступного лічильника *)
    MeterIndex := MeterIndex + 1;

ELSE

    CommError := FALSE;

    ...

END_IF;
```

Якщо змінна DataValid має значення FALSE, це означає, що відповідь від електролічильника відсутня або дані не можуть бути використані для подальшої обробки. У такому випадку встановлюється ознака CommError.

Далі викликається функція LogEvent, яка формує подію з кодом Event_CommError. Така подія може бути збережена у базі даних або передана на НМІ для інформування оператора.

Важливо, що у разі помилки система не зупиняє роботу. Після фіксації події значення MeterIndex збільшується на одиницю, і контролер переходить до

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		102

наступного електролічильника. Це забезпечує безперервність роботи системи навіть у випадку несправності одного з пристроїв.

3.4.8 Обробка та аналіз отриманих даних

Якщо дані отримані коректно, програма переходить до їх математичної обробки. На цьому етапі обчислюється повна потужність та коефіцієнт потужності.

```
(* 6. Обчислення повної потужності *)
S := SQRT(P * P + Q * Q);
(* 7. Обчислення коефіцієнта потужності *)
IF S > 0.0 THEN
    CosPhi := P / S;
ELSE
    CosPhi := 0.0;
END_IF;
```

Повна потужність визначається відповідно до залежності: $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$, а коефіцієнт потужності обчислюється як $\cos\phi = P/S$. У програмі передбачено перевірку $IF S > 0.0$, яка необхідна для запобігання діленню на нуль. Якщо повна потужність дорівнює нулю, коефіцієнт потужності приймається рівним нулю. Це забезпечує стійкість програмного алгоритму до некоректних або нульових значень параметрів.

3.4.9 Контроль допустимих меж параметрів

Після обробки даних виконується перевірка параметрів на відповідність допустимим межам. Це дозволяє реалізувати автоматичний контроль режимів електроспоживання.

```
(* 8. Контроль допустимих меж *)
Alarm := FALSE;
```

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		103

```

IF (U < U_Min) OR (U > U_Max) THEN
    Alarm := TRUE;
END_IF;

IF I > I_Max THEN
    Alarm := TRUE;
END_IF;

IF P > P_Max THEN
    Alarm := TRUE;
END_IF;

IF CosPhi < CosPhi_Min THEN
    Alarm := TRUE;
END_IF;

```

Перед початком перевірки аварійна ознака Alarm скидається у стан FALSE. Далі програма послідовно аналізує значення напруги, струму, активної потужності та коефіцієнта потужності.

Якщо напруга виходить за межі діапазону U_{Min} – U_{Max} , струм перевищує I_{Max} , активна потужність перевищує P_{Max} , або коефіцієнт потужності знижується нижче $CosPhi_{Min}$, змінна Alarm набуває значення TRUE.

Таким чином, у програмі реалізовано логіку $X_{min} \leq X_i \leq X_{max}$.

У разі невиконання цієї умови система переходить до формування аварійної події.

3.4.10 Формування аварійних подій

Якщо під час контролю параметрів було виявлено відхилення від допустимих меж, програма формує аварійну подію.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		104

```
(* 9. Формування аварійної події *)
IF Alarm THEN
    LogEvent(
        MeterID := MeterIndex,
        EventType := Event_Alarm
    );
END_IF;
```

У цьому фрагменті перевіряється стан змінної Alarm. Якщо її значення дорівнює TRUE, викликається функція LogEvent, яка формує подію з кодом Event_Alarm.

Подія містить ідентифікатор електролічильника та тип аварії. У реальній системі до неї також може додаватися мітка часу, значення параметра, що спричинив аварію, та статус обробки. Такі дані можуть бути використані для подальшого аналізу роботи системи та формування звітів.

3.4.11 Збереження даних та перехід до наступного лічильника

Після обробки та контролю параметрів дані зберігаються або передаються на верхній рівень системи.

```
(* 10. Збереження даних *)
SaveData(
    MeterID := MeterIndex,
    Voltage := U,
    Current := I,
    ActivePower := P,
    ReactivePower := Q,
    FullPower := S,
    PowerFactor := CosPhi,
    Energy := W
);
```

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		105

(* 11. Перехід до наступного лічильника *)

```
MeterIndex := MeterIndex + 1;
```

Функція SaveData забезпечує збереження набору параметрів, отриманих від електролічильника. До запису входять напруга, струм, активна та реактивна потужність, повна потужність, коефіцієнт потужності та накопичена електроенергія.

Після збереження даних значення MeterIndex збільшується на одиницю. Це означає, що в наступному проході циклу контролер звернеться до наступного електролічильника. Такий підхід забезпечує послідовне опитування всіх пристроїв у системі.

3.4.12 Завершення циклу опитування

Якщо всі електролічильники були опитані, система переходить до завершення поточного циклу.

(* 12. Усі лічильники опитані *)

```
HMI_Update := TRUE;
```

(* Повернення до першого лічильника *)

```
MeterIndex := 1;
```

(* Запуск таймера очікування до наступного циклу *)

```
PollTimer(IN := TRUE, PT := PollInterval);
```

У цьому фрагменті встановлюється ознака HMI_Update, яка вказує на необхідність оновлення даних на операторській панелі. Після цього значення MeterIndex повертається до одиниці, тобто наступний цикл знову починатиметься з першого електролічильника.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		106

Також запускається таймер PollTimer, який задає інтервал очікування між циклами. У даному випадку інтервал визначається змінною PollInterval, значення якої встановлено як T#15m.

3.4.13 Оновлення HMI

Після завершення циклу збору даних виконується оновлення операторської панелі.

```
(* 13. Оновлення HMI *)
IF HMI_Update THEN

    UpdateHMI (
        Voltage := U,
        Current := I,
        ActivePower := P,
        ReactivePower := Q,
        FullPower := S,
        PowerFactor := CosPhi,
        Energy := W,
        AlarmState := Alarm,
        CommState := CommError
    );

    HMI_Update := FALSE;

END_IF;
```

У цьому фрагменті перевіряється ознака HMI_Update. Якщо вона активна, викликається функція UpdateHMI, яка передає на операторську панель поточні значення параметрів, а також стан аварії та зв'язку.

Після оновлення панелі змінна HMI_Update скидається у стан FALSE. Це необхідно для того, щоб оновлення HMI виконувалося лише один раз після завершення циклу опитування, а не постійно у кожному проході програми.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		107

3.4.14 Операторський інтерфейс HMI

Для забезпечення автоматизованого моніторингу процесу збору, обробки та аналізу даних розроблено операторський інтерфейс (HMI) у середовищі TIA Portal із використанням WinCC.

Інтерфейс призначений для візуалізації параметрів електроспоживання, контролю стану системи та відображення аварійних повідомлень.

Загальний вигляд інтерфейсу наведено на рис. 3.14.



Рисунок 3.14 – Інтерфейс оператора (HMI) та структура взаємодії компонентів автоматизованої системи

Як видно з рис.3.14, інтерфейс забезпечує відображення поточних значень параметрів електроспоживання, зокрема активної та реактивної потужності, напруги, струму та коефіцієнта потужності.

На етапі розроблення система працює в режимі моделювання, тому значення параметрів задаються програмно без підключення до реальних електролічильників.

Графік зміни активної потужності сформовано на основі моделювання процесу електроспоживання протягом доби у квітні 2026 року.

У системі реалізовано відображення аварійних повідомлень, що дозволяє контролювати стан об'єкта та своєчасно реагувати на відхилення.

Розроблений інтерфейс забезпечує автоматизацію процесів моніторингу та аналізу даних і може бути використаний після підключення до реальних вимірювальних пристроїв.

3.4.15 Забезпечення роботи системи в реальному часі

Однією з ключових вимог до автоматизованих систем моніторингу та аналізу електроспоживання є забезпечення їх роботи в режимі реального часу. Це означає, що система повинна своєчасно реагувати на зміни параметрів електроспоживання та виконувати всі необхідні операції в межах допустимого часу.

У розробленій системі ця вимога забезпечується за рахунок використання програмованого логічного контролера, який працює за циклічним принципом виконання програми.

Програма ПЛК виконується у вигляді послідовних циклів, кожен з яких включає:

$$Cycle = Init \rightarrow Poll \rightarrow Process \rightarrow Check \rightarrow Transmit$$

Тривалість одного циклу визначається як:

$$T_{cycle} = T_{poll} + T_{process} + T_{check} + T_{transmit}$$

де T_{poll} – час опитування електролічильників;

$T_{process}$ – час обробки даних;

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		109

T_{check} – час контролю параметрів;

$T_{transmit}$ – час передавання даних.

Для забезпечення роботи в реальному часі необхідно, щоб:

$$T_{cycle} \leq T_{max}$$

де T_{max} – максимально допустимий час циклу.

Час опитування залежить від кількості електролічильників і швидкості обміну даними:

$$T_{poll} = N \cdot t_{req}$$

де N – кількість електролічильників;

t_{req} – час одного запиту Modbus.

З урахуванням затримок передачі:

$$t_{req} = t_{tx} + t_{rx} + t_{proc}$$

Таким чином, зі збільшенням кількості лічильників зростає загальний час циклу, що необхідно враховувати при проектуванні системи.

Оптимізація часу обробки даних визначається кількістю виконуваних операцій:

$$T_{process} \approx n_{op} \cdot t_{op}$$

де n_{op} – кількість операцій;

t_{op} – час виконання однієї операції.

У програмі ПЛК цей час мінімізується за рахунок:

- використання простих арифметичних операцій;
- уникнення складних обчислень;
- обмеження кількості перевірок.

Робота в реальному часі передбачає детермінованість, тобто передбачуваність часу виконання програми. У системі це забезпечується за рахунок:

- фіксованої структури алгоритму;
- відсутності випадкових затримок;
- використання циклічного виконання;
- обмеження часу виконання кожного етапу.

Це дозволяє гарантувати, що кожен цикл виконуватиметься приблизно за однаковий час.

Для регулювання частоти опитування використовується таймер TimerPoll(IN := TRUE, PT := T#15m);

Таймер задає інтервал між циклами опитування $\Delta t = 15$ хв

Після завершення цього часу система автоматично переходить до нового циклу.

Для забезпечення роботи в реальному часі повинна виконуватись умова:

$$T_{cycle} \ll \Delta t.$$

Це означає, що час виконання всіх операцій значно менший за інтервал між циклами. Наприклад, якщо $T_{cycle} = 2$ с, $\Delta t = 900$ с, то система має достатній запас часу для стабільної роботи.

Важливою особливістю є те, що навіть у випадку помилок система не припиняє роботу. У програмі реалізовано:

- пропуск некоректних даних;
- перехід до наступного лічильника;
- фіксацію подій.

Це дозволяє забезпечити безперервність функціонування системи.

Стабільність роботи системи досягається за рахунок:

- обмеження кількості одночасних операцій;

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						111
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- оптимізації обміну даними;
- використання ефективних алгоритмів;
- контролю часу виконання програми.

Таким чином, у розробленій системі забезпечено роботу в режимі реального часу шляхом використання циклічної моделі виконання програми, оптимізації алгоритму обробки даних та контролю часу виконання кожного етапу.

Розрахунки показують, що час виконання одного циклу значно менший за інтервал між опитуваннями, що забезпечує своєчасну обробку даних, стабільність роботи та можливість оперативного реагування на зміни параметрів електроспоживання.

Для перевірки можливості роботи системи в режимі реального часу було побудовано залежність часу циклу ПЛК від кількості електролічильників. Результат моделювання наведено на рисунку 3.14.

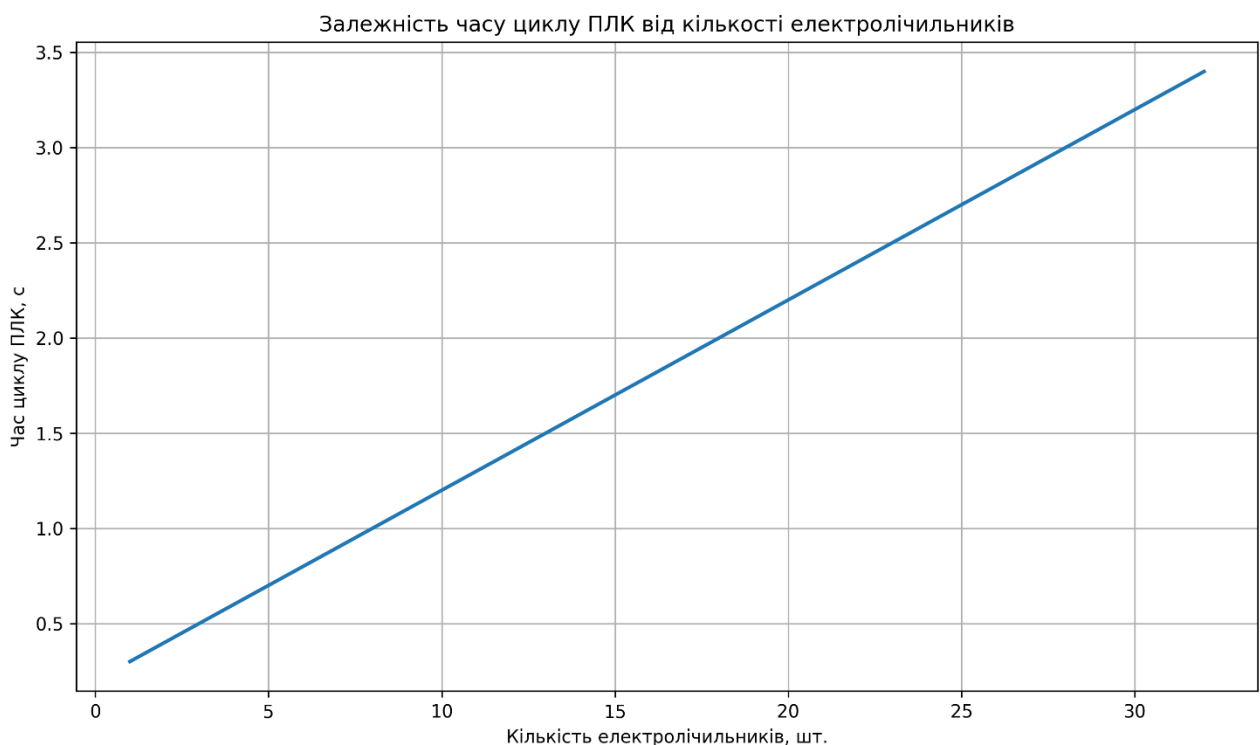


Рисунок 3.15 – Залежність часу циклу ПЛК від кількості електролічильників

Як видно з рис. 3.15, час циклу ПЛК зростає майже лінійно зі збільшенням кількості електролічильників. Це пояснюється тим, що контролер послідовно опитує кожний прилад обліку. Навіть при збільшенні кількості лічильників час циклу залишається значно меншим за інтервал опитування $\Delta t = 15$ хв, тому система має достатній запас часу для стабільної роботи в режимі реального часу.

3.5 Висновки до розділу 3

У розділі виконано реалізацію та дослідження автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання.

Проведено математичне та інформаційне моделювання системи, зокрема розроблено інформаційну, математичну та дискретну моделі процесу моніторингу, збору, обробки та аналізу даних. Виконано моделювання електроспоживання у середовищі MATLAB, що дозволило дослідити характер зміни основних параметрів системи та обґрунтувати параметри її функціонування.

Розроблено алгоритм функціонування автоматизованої системи, який забезпечує автоматизований збір, циклічне опитування електролічильників, передавання та обробку отриманих даних, контроль допустимих значень параметрів та формування аварійних повідомлень.

Здійснено програмну реалізацію системи у середовищі Siemens TIA Portal, що дозволило реалізувати логіку роботи програмованого логічного контролера та інтегрувати його з операторським інтерфейсом HMI. Розроблено структуру програмного забезпечення, реалізовано програмні модулі обробки даних, контролю станів та формування аварійних подій.

Розроблено операторський інтерфейс HMI, який забезпечує відображення поточних параметрів електроспоживання, графічну візуалізацію змін активної потужності, індикацію стану системи, відображення режиму роботи та ведення журналу аварій і подій.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		113

Забезпечено роботу системи в режимі реального часу в умовах моделювання, автоматизацію процесів збору, передавання, обробки та візуалізації даних, а також оновлення інформації на НМІ.

Отримані результати підтверджують працездатність розробленої автоматизованої системи та ефективність її використання для автоматизації обліку, контролю та управління електроспоживанням.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		114

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальну задачу розроблення автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання.

У процесі виконання роботи було проведено аналіз сучасних систем обліку електроенергії та автоматизованих систем збору і обробки даних. Встановлено, що сучасні системи базуються на багаторівневій архітектурі та забезпечують автоматизацію процесів вимірювання, передавання, обробки та аналізу інформації.

На основі проведеного аналізу розроблено структуру автоматизованої системи моніторингу та аналізу електроспоживання, яка включає вимірювальний рівень, рівень збору та передавання даних, а також рівень обробки, аналізу та візуалізації інформації. Синтезовано структурну та функціональну схеми системи, що відображають взаємодію її основних компонентів.

Розроблено алгоритм функціонування автоматизованої системи, який забезпечує автоматизований збір, передавання, перевірку, обробку та збереження даних про електроспоживання. Алгоритм враховує особливості роботи системи в умовах можливих збоїв зв'язку та передбачає контроль достовірності отриманої інформації.

Обґрунтовано вибір технічного забезпечення автоматизованої системи, зокрема електролічильників, програмованого логічного контролера, засобів передачі даних та операторського інтерфейсу, що забезпечує надійну та ефективну роботу системи.

Розроблено програмне забезпечення автоматизованої системи у середовищі TIA Portal, яке реалізує алгоритм її функціонування, забезпечує обмін даними з електролічильниками, обробку отриманої інформації, формування аварійних повідомлень та візуалізацію параметрів електроспоживання на HMI.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		115

Виконано математичне та інформаційне моделювання роботи автоматизованої системи, що дозволило дослідити її функціонування в різних режимах. За результатами моделювання підтверджено працездатність системи, коректність реалізованих алгоритмів та ефективність автоматизації процесів збору і обробки даних.

Розроблена автоматизована система забезпечує підвищення точності автоматизації обліку електроенергії, оперативність отримання інформації та ефективність управління електроспоживанням, що підтверджує доцільність її використання на об'єктах різного призначення.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		116

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойко В. С. Системи автоматичного керування. – Київ : Вища школа, 2014. – 304 с.
2. ДСТУ 3413-96. Системи автоматизації. Терміни та визначення. – Київ : Держстандарт України, 1996.
3. ДСТУ ISO 50001:2020. Системи енергетичного менеджменту. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020.
4. Ковальчук Б. І. Основи автоматизації технологічних процесів. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2016. – 256 с.
5. Козак Л. М. Інформаційні системи моніторингу енергоспоживання // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2019. – № 912. – С. 120–125.
6. Пупена О. М. Програмовані логічні контролери у системах автоматизації // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – 2016. – № 2. – С. 45–52.
7. Пупена О. М., Ельперін І. В., Ладигін А. І. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах. – Київ: Ліра-К, 2015. – 300 с.
8. Пупена О. М. Програмовані логічні контролери в системах автоматизації. – Київ : НУХТ, 2017. – 220 с.
9. Siemens AG. SIMATIC S7-1200 Programmable Controller System Manual. – Siemens AG, 2023. – URL: <https://support.industry.siemens.com> (дата звернення: 15.03.2026).
10. Siemens AG. SIMATIC WinCC Engineering Guide. – Siemens AG, 2023. – URL: <https://support.industry.siemens.com> (дата звернення: 15.03.2026).
11. Siemens AG. TIA Portal Programming Guide. – Siemens AG, 2023. – URL: <https://support.industry.siemens.com> (дата звернення: 15.03.2026).
12. Stenerson J., Deeg D. Siemens Step 7 (TIA Portal) Programming: A Practical Approach. – 2nd ed. – Independently Published, 2019. – 332 p.

13. IEC 61131-3:2013. Programmable controllers – Part 3: Programming languages. – Geneva : International Electrotechnical Commission, 2013.

14. Електролічильники Landis+Gyr (серія E360, E550). URL: <https://www.landisgyr.com> (дата звернення: 15.03.2026).

15. Електролічильники Itron (серія ACE). URL: <https://www.itron.com>. (дата звернення: 15.03.2026).

16. Електролічильники Siemens (серія SENTRON PAC). URL: <https://www.siemens.com> (дата звернення: 15.03.2026).

17. Електролічильники Schneider Electric (серія PowerLogic). URL: <https://www.se.com> (дата звернення: 15.03.2026).

18. Автоматизована система обліку електроенергії Landis+Gyr Gridstream: веб-сайт. URL: https://www.landisgyr.com/?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 15.03.2026).

19. Автоматизована системи обліку електроенергії Itron AMI. URL: https://www.landisgyr.com/?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 15.03.2026).

20. Schneider Electric DOCA0396EN-00 Eco Struxure Building Activate Erabiltzailearen Gida. URL: <https://manuals.plus/eu/schneider-electric/doca0396en-00-eco-struxure-building-activate-manual>.

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						118
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Лістинг програмного забезпечення контролера (ПЛК)

```

VAR
  (* Стан системи *)
  InitDone      : BOOL := FALSE;
  SystemEnable  : BOOL := TRUE;

  (* Лічильники *)
  MeterIndex     : INT := 1;
  TotalMeters    : INT := 5;

  (* Виміряні параметри *)
  U              : REAL := 0.0;      (* Напруга, В *)
  I              : REAL := 0.0;      (* Струм, А *)
  P              : REAL := 0.0;      (* Активна потужність, Вт *)
  Q              : REAL := 0.0;      (* Реактивна потужність, вар *)
*)
  S              : REAL := 0.0;      (* Повна потужність, ВА *)
  CosPhi         : REAL := 0.0;      (* Коефіцієнт потужності *)
  W              : REAL := 0.0;      (* Електроенергія, кВт·год *)
*)

  (* Допустимі межі *)
  U_Min          : REAL := 198.0;
  U_Max          : REAL := 242.0;
  I_Max          : REAL := 50.0;
  P_Max          : REAL := 10000.0;
  CosPhi_Min     : REAL := 0.85;

  (* Ознаки стану *)
  DataValid      : BOOL := FALSE;
  CommError      : BOOL := FALSE;
  Alarm          : BOOL := FALSE;
  HMI_Update     : BOOL := FALSE;

  (* Таймер циклу *)
  PollTimer      : TON;
  PollInterval   : TIME := T#15m;

  (* Коды подій *)
  Event_CommError : INT := 1;
  Event_Alarm     : INT := 2;
END_VAR

(* 1. Ініціалізація системи *)
IF NOT InitDone THEN

  MeterIndex := 1;

```

```

CommError := FALSE;
Alarm := FALSE;
DataValid := FALSE;
HMI_Update := FALSE;

InitDone := TRUE;

END_IF;

(* 2. Основний цикл роботи системи *)
IF SystemEnable THEN

    (* 3. Перевірка, чи всі лічильники опитані *)
    IF MeterIndex <= TotalMeters THEN

        (* 4. Зчитування даних з електролічильника *)
        DataValid := Modbus_Read(
            MeterAddress := MeterIndex,
            Voltage := U,
            Current := I,
            ActivePower := P,
            ReactivePower := Q,
            Energy := W
        );

        (* 5. Перевірка достовірності даних *)
        IF NOT DataValid THEN

            CommError := TRUE;

            (* Формування події про помилку зв'язку *)
            LogEvent(
                MeterID := MeterIndex,
                EventType := Event_CommError
            );

            (* Перехід до наступного лічильника *)
            MeterIndex := MeterIndex + 1;

        ELSE

            CommError := FALSE;

            (* 6. Обчислення повної потужності *)
            S := SQRT(P * P + Q * Q);

            (* 7. Обчислення коефіцієнта потужності *)
            IF S > 0.0 THEN
                CosPhi := P / S;
            ELSE
                CosPhi := 0.0;
            END_IF;
        END_IF;
    END_IF;

```

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						120
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

```

(* 8. Контроль допустимих меж *)
Alarm := FALSE;

IF (U < U_Min) OR (U > U_Max) THEN
    Alarm := TRUE;
END_IF;

IF I > I_Max THEN
    Alarm := TRUE;
END_IF;

IF P > P_Max THEN
    Alarm := TRUE;
END_IF;

IF CosPhi < CosPhi_Min THEN
    Alarm := TRUE;
END_IF;

(* 9. Формування аварійної події *)
IF Alarm THEN
    LogEvent(
        MeterID := MeterIndex,
        EventType := Event_Alarm
    );
END_IF;

(* 10. Збереження даних *)
SaveData(
    MeterID := MeterIndex,
    Voltage := U,
    Current := I,
    ActivePower := P,
    ReactivePower := Q,
    FullPower := S,
    PowerFactor := CosPhi,
    Energy := W
);

(* 11. Перехід до наступного лічильника *)
MeterIndex := MeterIndex + 1;

END_IF;

ELSE

    (* 12. Усі лічильники опитані *)
    HMI_Update := TRUE;

    (* Повернення до першого лічильника *)
    MeterIndex := 1;

```

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						121
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

```

        (* Запуск таймера очікування до наступного циклу *)
        PollTimer(IN := TRUE, PT := PollInterval);

    END_IF;

END_IF;

(* 13. Оновлення HMI *)
IF HMI_Update THEN

    UpdateHMI(
        Voltage := U,
        Current := I,
        ActivePower := P,
        ReactivePower := Q,
        FullPower := S,
        PowerFactor := CosPhi,
        Energy := W,
        AlarmState := Alarm,
        CommState := CommError
    );

    HMI_Update := FALSE;

END_IF;

(* 14. Очікування інтервалу опитування *)
IF PollTimer.Q THEN

    PollTimer(IN := FALSE);

END_IF;

```

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		122

Лістинг програмного забезпечення операторського інтерфейсу HMI

```

// DB_HMI_Data
// Блок даних для HMI-інтерфейсу автоматизованої системи

VAR
    HMI_DateTime      : String[30] := '15.04.2026 12:30:45';

    HMI_ActivePower    : Real := 5.62;           // кВт
    HMI_ReactivePower  : Real := 1.32;           // квар
    HMI_FullPower      : Real := 5.78;           // кВА
    HMI_Voltage        : Real := 228.4;          // В
    HMI_Current        : Real := 24.1;           // А
    HMI_Frequency      : Real := 49.97;          // Гц
    HMI_PowerFactor    : Real := 0.97;           // cos φ
    HMI_TotalEnergy    : Real := 12450.3;        // кВт·год

    HMI_Pmax           : Real := 10.8;
    HMI_Pmin           : Real := 2.7;
    HMI_Pavg           : Real := 6.1;
    HMI_DayEnergy      : Real := 146.3;

    HMI_PLC_Ready      : Bool := TRUE;
    HMI_DB_Ready       : Bool := TRUE;
    HMI_HMI_Ready      : Bool := TRUE;
    HMI_MeterConnection : Bool := FALSE;

    HMI_AutoMode        : Bool := TRUE;
    HMI_SimulationMode  : Bool := TRUE;

    HMI_AlarmVoltage    : Bool := TRUE;
    HMI_AlarmConnection : Bool := TRUE;
    HMI_SystemAlarm     : Bool := TRUE;

    AlarmText1          : String[100] := 'Втрата зв'язку з лічильником №3';
    AlarmText2          : String[100] := 'Перевищення напруги у фазі L2 (231.5
B)';
END_VAR

// FB_HMI_Update
// Обробка параметрів та оновлення даних для HMI

VAR_INPUT
    ActivePower    : Real;
    ReactivePower  : Real;
    Voltage        : Real;
    Current        : Real;
    Frequency      : Real;
    PowerFactor    : Real;
    TotalEnergy    : Real;
    MeterConnection : Bool;
END_VAR

VAR_OUTPUT
    FullPower      : Real;
    AlarmVoltage    : Bool;
    AlarmConnection : Bool;
    SystemAlarm     : Bool;
END_VAR

```

```

VAR_TEMP
    P2 : Real;
    Q2 : Real;
END_VAR

// Обчислення повної потужності
P2 := ActivePower * ActivePower;
Q2 := ReactivePower * ReactivePower;
FullPower := SQRT(P2 + Q2);

// Контроль напруги
IF (Voltage > 230.0) OR (Voltage < 207.0) THEN
    AlarmVoltage := TRUE;
ELSE
    AlarmVoltage := FALSE;
END_IF;

// Контроль зв'язку з електролічильником
IF MeterConnection = FALSE THEN
    AlarmConnection := TRUE;
ELSE
    AlarmConnection := FALSE;
END_IF;

// Загальний аварійний стан
SystemAlarm := AlarmVoltage OR AlarmConnection;
// OB1
// Основний цикл роботи ПЛК у режимі моделювання

DB_HMI_Data.HMI_DateTime := '15.04.2026 12:30:45';

// Модельні дані, не зчитані з реальних електролічильників
DB_HMI_Data.HMI_ActivePower := 5.62;
DB_HMI_Data.HMI_ReactivePower := 1.32;
DB_HMI_Data.HMI_Voltage := 228.4;
DB_HMI_Data.HMI_Current := 24.1;
DB_HMI_Data.HMI_Frequency := 49.97;
DB_HMI_Data.HMI_PowerFactor := 0.97;
DB_HMI_Data.HMI_TotalEnergy := 12450.3;

// Стан системи
DB_HMI_Data.HMI_PLC_Ready := TRUE;
DB_HMI_Data.HMI_DB_Ready := TRUE;
DB_HMI_Data.HMI_HMI_Ready := TRUE;
DB_HMI_Data.HMI_MeterConnection := FALSE;

DB_HMI_Data.HMI_AutoMode := TRUE;
DB_HMI_Data.HMI_SimulationMode := TRUE;

// Виклик блока оновлення HMI
FB_HMI_Update(
    ActivePower := DB_HMI_Data.HMI_ActivePower,
    ReactivePower := DB_HMI_Data.HMI_ReactivePower,
    Voltage := DB_HMI_Data.HMI_Voltage,
    Current := DB_HMI_Data.HMI_Current,
    Frequency := DB_HMI_Data.HMI_Frequency,
    PowerFactor := DB_HMI_Data.HMI_PowerFactor,
    TotalEnergy := DB_HMI_Data.HMI_TotalEnergy,
    MeterConnection := DB_HMI_Data.HMI_MeterConnection,

    FullPower := DB_HMI_Data.HMI_FullPower,
    AlarmVoltage := DB_HMI_Data.HMI_AlarmVoltage,
    AlarmConnection := DB_HMI_Data.HMI_AlarmConnection,

```

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		124

```

        SystemAlarm := DB_HMI_Data.HMI_SystemAlarm
    );

    // Дані для графіка активної потужності
    Trend_ActivePower := DB_HMI_Data.HMI_ActivePower;
    ' HMI Script: Navigation
    ' Перемикання між екранами операторського інтерфейсу

Sub OpenMainScreen()
    HmiRuntime.Screens("Головна").Activate
End Sub

Sub OpenGraphsScreen()
    HmiRuntime.Screens("Графіки").Activate
End Sub

Sub OpenArchiveScreen()
    HmiRuntime.Screens("Архів").Activate
End Sub

Sub OpenAlarmsScreen()
    HmiRuntime.Screens("Аварії").Activate
End Sub

Sub OpenSettingsScreen()
    HmiRuntime.Screens("Налаштування").Activate
End Sub

Sub OpenSystemScreen()
    HmiRuntime.Screens("Система").Activate
End Sub
    ' HMI Script: ModeText
    ' Виведення режиму роботи системи

Sub ModeText()

    If SmartTags("HMI_SimulationMode") = True Then
        SmartTags("ModeText") = "РЕЖИМ: МОДЕЛЮВАННЯ"
        SmartTags("ModeDescription") = "(не підключено до реального обладнання)"
    Else
        SmartTags("ModeText") = "РЕЖИМ: РОБОТА"
        SmartTags("ModeDescription") = "(підключено до електролічильників)"
    End If

End Sub
    ' HMI Script: SystemStatus
    ' Формування текстових станів системи

Sub SystemStatus()

    If SmartTags("HMI_PLC_Ready") = True Then
        SmartTags("PLC_Status") = "ОК"
    Else
        SmartTags("PLC_Status") = "ПОМИЛКА"
    End If

    If SmartTags("HMI_DB_Ready") = True Then
        SmartTags("DB_Status") = "ОК"
    Else
        SmartTags("DB_Status") = "ПОМИЛКА"
    End If

    If SmartTags("HMI_HMI_Ready") = True Then

```

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		125

```

        SmartTags("HMI_Status") = "OK"
    Else
        SmartTags("HMI_Status") = "ПОМИЛКА"
    End If

    If SmartTags("HMI_MeterConnection") = True Then
        SmartTags("Meter_Status") = "Є зв'язок"
    Else
        SmartTags("Meter_Status") = "Немає зв'язку"
    End If

End Sub
' HMI Script: AlarmMessages
' Формування журналу аварійних повідомлень

Sub AlarmMessages()

    If SmartTags("HMI_AlarmConnection") = True Then
        SmartTags("Alarm_Time_1") = "11:47:32"
        SmartTags("Alarm_Date_1") = "15.04.2026"
        SmartTags("Alarm_Type_1") = "Аварія"
        SmartTags("Alarm_Description_1") = "Втрата зв'язку з лічильником №3"
        SmartTags("Alarm_State_1") = "Активна"
    End If

    If SmartTags("HMI_AlarmVoltage") = True Then
        SmartTags("Alarm_Time_2") = "08:23:11"
        SmartTags("Alarm_Date_2") = "15.04.2026"
        SmartTags("Alarm_Type_2") = "Попередження"
        SmartTags("Alarm_Description_2") = "Перевищення напруги у фазі L2 (231.5
В)"
        SmartTags("Alarm_State_2") = "Підтверджена"
    End If

End Sub
' HMI Script: ResetAlarm
' Підтвердження аварії оператором

Sub ResetAlarm()

    SmartTags("Alarm_State_1") = "Підтверджена"
    SmartTags("Alarm_State_2") = "Підтверджена"

End Sub
' HMI Script: UpdateTrend
' Оновлення значення активної потужності для графіка

Sub UpdateTrend()

    SmartTags("Trend_ActivePower") = SmartTags("HMI_ActivePower")

End Sub

```

					ДП.АКІТ.10719635.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		126