

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ННІ/факультет _____
Кафедра Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Форма навчання Денна

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи

Магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Горафонов Філіп Романович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему ; Автоматизація процесів харчового виробництва. Розроблення та
впровадження SCADA-системи для підвищення енергоефективності
підприємства «Карлсберг Україна»

(повна назва теми)

за матеріалами _____

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник

к.п.н.

(наук. ступінь, вчене звання)

(підпис)

Чорний О.П

(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від _____ 20__ р. № _____

Завідувач кафедри _____

(підпис)

Є.О. Модло

Наук. ступінь, вчене звання

Ініціали, прізвище

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
 НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
 Кафедра Автоматизації, комп'ютерно-інтегровані технології та
 робототехніка

Освітньо-кваліфікаційний рівень _____ Магістр _____

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри Модло Є.О.

« _____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ(КИ)

Горафонов Філіп Романович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи «Автоматизація процесів харчового виробництва. Розроблення та впровадження SCADA-системи для підвищення енергоефективності підприємства «Карлсберг Україна» Automation of food production processes. Development and implementation of a SCADA system to increase energy efficiency at the Carlsberg Ukraine enterprise»

керівник випускної роботи Чорний Олексій Петрович, професор, доктор технічних наук.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« _____ » _____ 20__ року № _____

2. Строк подання студентом випускної кваліфікаційної роботи

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи Об'єктом дослідження є лінія розливу продукції на підприємстві «Carlsberg Україна», предметом дослідження є система автоматизації та диспетчерського керування технологічним процесом розливу з використанням програмованих логічних контролерів та SCADA-системи з метою підвищення енергоефективності підприємства..

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналітична частина; Дослідження технологій для управління та автоматизації лінії розливу “Carlsberg Україна; Проектування інтегрованої SCADA-системи для підвищення енергоефективності виробництва, Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень) Загальний вигляд автоматизованої лінії розливу; Порівняння популярних Scada-систем; Функціональна схема автоматизації транспортно-підйомної підсистеми лінії розливу; Техніко-економічні показники

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітична частина	Чорний О.П.		
Дослідження технологій для управління та автоматизації лінії розливу "Carlsberg Україна"	Чорний О.П.		
Проектування інтегрованої SCADA-системи для підвищення енергоефективності виробництва	Чорний О.П.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.	Ковальова І.Б.		

7. Дата _____ видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної роботи	Строк виконання етапів випускної роботи	Примітка
1	Аналітична частина		
2	<u>Дослідження технологій для управління та автоматизації лінії розливу "Carlsberg Україна"</u>		
3	<u>Проектування інтегрованої SCADA-системи для підвищення енергоефективності виробництва</u>		
4	<u>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.</u>		
5	Здача роботи на кафедрі		
	Захист випускної роботи		

Студент _____ Горафонов Ф.Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи _____ Чорний О.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1. Аналіз сучасного стану енергоефективності в промисловості	8
1.2. Законодавчі вимоги щодо енергоощадження в Україні та ЄС	10
1.3. Огляд SCADA-систем	12
1.3.1 Історія виникнення та етапи розвитку SCADA-системи.....	12
1.3.2 Перший етап - телемеханічні системи (1950–1970 рр.)	13
1.3.3 Другий етап — поява PLC та перших SCADA-подібних систем (1970–1980 рр.).....	17
1.3.4 Третій етап стандартизація промислових мереж і поява повноцінних SCADA-систем (1980 -2000 рр.).....	21
1.3.5 Четвертий етап - цифровізація, інтеграція та інтелектуалізація SCADA-систем (2000-ті роки - теперішній час).....	25
1.4. Основні компоненти SCADA	28
1.5. Порівняння популярних SCADA-платформ	29
1.5.1 Особливості SCADA-платформи Schneider Electric	29
1.5.2 Особливості SCADA-платформа ABB.....	30
1.6 Роль SCADA в управлінні енергоефективністю	34
2. Дослідження технологій для управління та автоматизації лінії розливу “Carlsberg Україна”	39
2.1. Загальна характеристика підприємства та вибір об’єкта дослідження.....	39
2.2. Опис технологічного процесу лінії розливу та її енергоспоживання....	41
2.2.1 Загальна структура лінії розливу.....	43
2.2.2 Система транспортування та «ліфти» (елеватори).....	43
2.2.3 Датчики положення та руху тари.....	45
2.2.4 Датчики перевантаження електродвигунів.....	46
2.3 Система автоматизації та збору даних лінії розливу.....	50
2.3.1 Контроль енергоспоживання електроприводів.....	51
2.3.2 Контроль швидкості обертання двигунів.....	51
2.3.3 Датчики тиску та витрати в пневматичних і гідравлічних системах..	53
2.3.4 Програмовані логічні контролери та локальне керування.....	54
2.3.5 Система моніторингу.....	55
2.3.6 Енергоспоживання та проблемні зони лінії розливу.....	56
2.4 Система автоматизації лінії розливу після впровадження SCADA.....	56

2.4.1	Архітектура SCADA-системи.....	57
2.4.2	Полювий рівень (рівень датчиків і виконавчих механізмів.....	57
2.4.3	Аварійна сигналізація та аналітика подій.....	60
2.4.4	Порівняльна оцінка змін після впровадження SCADA.....	60
2.5	Узагальнення результатів впровадження SCADA-системи та оцінка ефективності.....	61
3	Розділ 3. проектування інтегрованої SCADA-системи для лінії розливу.....	63
3.1.1	Вибір об'єкта автоматизації та постановка задач.....	64
3.2.1	Нормативна база та обґрунтування вибору стандартів для побудови функціональної схеми автоматизації.....	66
3.2.2	Структура функціональної схеми автоматизації.....	68
3.3	Програмно-апаратна реалізація системи керування.....	70
3.3.1	Вибір програмованого логічного контролера.....	71
3.3.2	Конфігурація модулів вводу-виводу.....	71
3.3.3	Реалізація керування електроприводами.....	72
3.3.4	Логіка обробки сигналів у PLC	72
3.3.5	Інтеграція з верхнім рівнем керування.....	73
3.4	Реалізація SCADA-системи моніторингу та керування	73
3.4.1	Призначення та функції SCADA-системи.....	74
3.4.2	Архітектура та інтеграція SCADA-системи.....	74
3.4.5	Архівація даних та аналітика енергоспоживання.....	76
3.4.6	Аварійна сигналізація та журнал подій.....	76
3.4.7	Роль SCADA-системи у підвищенні енергоефективності.....	76
3.5	Оцінка ефективності впровадження SCADA-системи.....	77
3.6	Висновки до третього розділу.....	78
	Розділ 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	80
4.1	Проведення інструктажів з охорони праці.....	81
4.2	Заходи з техніки безпеки при експлуатації автоматизованих систем керування та SCADA-систем.....	82
4.3	Вимоги пожежної безпеки при експлуатації електроустановок та систем автоматизації	83
4.4	Висновок до четвертого розділу.....	84
	ВИСНОВКИ	85
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	

Вступ

У сучасних умовах стрімкого розвитку промисловості питання ефективного використання енергетичних ресурсів набуває дедалі більшої актуальності. Зростання вартості енергоресурсів, підвищення вимог до екологічної безпеки та необхідність оптимізації виробничих витрат спонукають підприємства шукати нові рішення для контролю та управління споживанням енергії. Одним із найефективніших інструментів, що дозволяє забезпечити комплексний підхід до моніторингу енергетичних процесів, є інтеграція SCADA-систем.

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) — це автоматизована система, що дає змогу не лише здійснювати збір, передачу й обробку даних, а й управляти об'єктами в режимі реального часу. Завдяки гнучкості, масштабованості та можливості інтеграції з іншими інформаційними платформами, SCADA-системи широко застосовуються у сферах енергетики, виробництва, транспорту, водопостачання та багатьох інших.

Особливого значення впровадження SCADA-систем набуває в контексті енергоефективності. Саме системний моніторинг, оперативна аналітика та вчасне реагування на зміни дозволяють підприємствам значно зменшити енергетичні втрати, підвищити ефективність роботи обладнання та скоротити витрати на ресурси. Ця курсова робота присвячена дослідженню можливостей інтеграції SCADA-систем для моніторингу і керування енергоефективністю на промислових об'єктах. У роботі розглянуто теоретичні засади, технічні рішення, приклади впровадження та оцінено економічну доцільність використання таких систем.

Аналітична частина

1.1. Аналіз сучасного стану енергоефективності в промисловості

Розглядаючи питання сучасного стану енергоефективності на промислових підприємствах, було здійснено дослідницький аналіз існуючих методів та технологій, що використовуються для моніторингу та управління енергоспоживанням. На основі аналізу обрано ряд підходів від найменш ефективних до найбільш перспективних і сучасних, серед яких особливе місце посідає використання SCADA-систем:

1. Паперовий облік та ручні методи збору даних базовий підхід, що не дозволяє проводити аналіз у реальному часі й повністю залежить від людського фактора.

2. Excel-таблиці та звітність у вигляді електронних форм дещо вдосконалений спосіб фіксації енергоспоживання, однак позбавлений можливості інтеграції з обладнанням.

3. Окремі програмні продукти для обліку ресурсів (локальні системи) дозволяють збирати дані, але не передбачають централізованого управління й часто не інтегруються з технологічними процесами.

4. Системи енергоменеджменту (EMS) забезпечують кращий контроль і аналітику, проте без прямого зв'язку з виробничими системами та автоматикою.

5. SCADA-системи (Supervisory Control and Data Acquisition) найбільш ефективний підхід, який дозволяє здійснювати не лише моніторинг, але й безпосереднє керування енергетичними потоками на підприємстві в реальному часі, інтегруючи контроль, аналіз та управлінські рішення в єдину платформу.

Промисловість є одним з найбільших споживачів енергії, що зумовлює актуальність ефективного управління її використанням.

Розглядаючи ефективність витрат промисловості можна побачити Основні проблеми які включають:

1. Застаріле обладнання
2. Високі втрати енергії при транспортуванні та перетворенні
3. Недостатній моніторинг та облік енергії: Відсутність систем збору й аналізу енергетичних даних унеможлиблює оптимізацію споживання.
4. Низька обізнаність персоналу: Брак знань та кваліфікації щодо енергоменеджменту серед співробітників.
5. Відсутність стимулів до енергозбереження: Обмежене фінансування інноваційних проєктів і відсутність державної підтримки.

Підвищення енергоефективності прямо впливає на зменшення виробничих витрат, що є ключовим чинником для підвищення конкурентоспроможності підприємства. Енергія є однією з основних складових собівартості продукції, особливо у галузях з енергоємними процесами, таких як металургія, хімічна промисловість та харчова галузь.

Існують такі енергоефективні переваги, як

1. Зниження операційних витрат: Менше споживання енергії означає менші рахунки за електроенергію, газ, тепло тощо.
2. Підвищення продуктивності: Оптимізоване енергоспоживання дозволяє працювати обладнанню стабільніше та ефективніше.
3. Менше простоїв і аварій: Системи моніторингу запобігають надмірному навантаженню, перегріву або втраті енергії.
4. Зменшення впливу на довкілля: Менше споживання — менше викидів парникових газів, що також може мати економічні переваги через податкові пільги або квоти.
5. Покращення інвестиційної привабливості: Компанії, що впроваджують сучасні енергетичні рішення, більш цікаві для партнерів та інвесторів.



Рис 1.1 Діаграма

1.2. Законодавчі вимоги щодо енергоощадження в Україні та ЄС

Енергоефективність є не лише технічним чи економічним викликом, а й предметом активного законодавчого регулювання. Як в Україні, так і в країнах Європейського Союзу існує велика кількість нормативно-правових актів, спрямованих на підвищення ефективності використання енергоресурсів. Ці акти відіграють ключову роль у формуванні стратегії розвитку підприємств, визначають вимоги до звітності, стандарти впровадження енергетичних систем і навіть впливають на фінансову політику.

В Україні основу енергетичної політики складають такі нормативні документи:

- закон України "Про енергозбереження" — базовий документ, який встановлює загальні принципи державної політики в сфері енергозбереження;
- закон України "Про енергетичну ефективність" (2021) — запроваджує обов'язкові вимоги до підприємств щодо енергоаудиту та впровадження систем енергоменеджменту;

- закон "Про фонд енергоефективності" — передбачає державну підтримку заходів із модернізації інфраструктури;
- національний план дій з енергоефективності до 2030 року — стратегічний документ, що передбачає гармонізацію українського законодавства з нормами ЄС.

У Європейському Союзі основоположними є такі документи:

- директива 2012/27/ЄС про енергоефективність — вимагає від держав-членів впроваджувати політику обов'язкових енергозберіжних заходів;
- директива 2010/31/ЄС про енергоефективність будівель — містить вимоги до проектування, будівництва та експлуатації енергоефективних споруд;
- Європейська зелена угода (Green Deal) — визначає цілі досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року з акцентом на зменшення споживання енергії.

Законодавча база в обох системах надзвичайно насичена й динамічна. Постійно впроваджуються нові вимоги, з'являються оновлення та зміни, які мають відповідати викликам часу — зміні клімату, зростанню вартості енергоресурсів, технологічному розвитку. Враховуючи це, підприємствам вкрай важливо не лише орієнтуватися в цих нормах, а й активно впроваджувати відповідні системи обліку, контролю та оптимізації енергоспоживання.

Таким чином, дотримання законодавства в сфері енергоефективності не тільки забезпечує відповідність нормативам, але й відкриває нові можливості для залучення інвестицій, участі в міжнародних грантових програмах, отримання податкових пільг та зменшення загального фінансового навантаження на підприємство.

1.3. Огляд SCADA-систем

На сучасному етапі розвитку промислових технологій питання енергоефективності та автоматизації набули особливої актуальності. Стрімке зростання обсягів виробництва, необхідність зменшення витрат, жорсткі вимоги до якості продукції та безпеки виробництва формують нові виклики для підприємств. У відповідь на ці виклики все більше компаній звертаються до інноваційних рішень у сфері автоматизації, серед яких особливе місце займають SCADA-системи. Впровадження SCADA-систем є важливим кроком на шляху цифрової трансформації підприємства. Ці системи не лише сприяють зниженню споживання енергоресурсів, але й дозволяють більш гнучко реагувати на зміни в умовах виробництва, оперативно виявляти несправності, керувати обладнанням у реальному часі та здійснювати глибоку аналітику технологічних процесів.

Огляд SCADA-систем у цьому розділі покликаний дати загальне уявлення про принципи їх роботи, основні компоненти, а також переваги використання різних платформ, що широко представлені на ринку автоматизації. Розуміння ключових характеристик SCADA допоможе визначити доцільність їх впровадження саме у контексті підвищення енергоефективності на конкретному підприємстві.

1.3.1 Історія виникнення та етапи розвитку SCADA-систем

Поява SCADA стала закономірною відповіддю на зростаючу складність промислових об'єктів та необхідність забезпечення оперативного, точного та централізованого контролю за виробничими процесами, які раніше могли здійснюватися виключно вручну. У другій половині XX століття промисловість вступила у фазу активного технологічного розвитку: виробничі майданчики збільшувалися, кількість обладнання зростала, а технологічні лінії ставали значно більш розгалуженими та взаємопов'язаними. Це означало, що навіть незначне відхилення на одному етапі могло спричинити серйозні наслідки в рамках усього виробничого циклу.

Зі збільшенням масштабів підприємств зросла кількість параметрів, які необхідно контролювати: температура, тиск, рівень, витрата, напруга, навантаження, швидкість руху механізмів, стан агрегатів і багато інших.

Ручний або напівручний контроль перестав бути ефективним, оскільки вимагав значної кількості персоналу, не забезпечував достатньої точності та не дозволяв швидко реагувати на зміни. У таких умовах збільшувався ризик аварій, перевитрат енергоресурсів, виникнення простоїв та зниження продуктивності.

Крім того, розвиток інженерних інфраструктур таких як електричні мережі, газопроводи, нафтопроводи, системи водопостачання вони створив додаткові труднощі: об'єкти часто були розташовані на значних відстанях один від одного, що унеможливлювало оперативне втручання людини в разі виникнення позаштатної ситуації. Отже, виникла потреба у створенні систем, які могли б не лише дистанційно передавати сигнали про стан обладнання, але й забезпечувати повноцінний збір даних, аналіз параметрів та здійснення керувальних впливів у режимі реального часу.

У цей період дедалі очевиднішою ставала необхідність у комплексних рішеннях, здатних поєднати функції моніторингу, архівування, обробки інформації та автоматичного реагування. Саме таким рішенням і стали SCADA-системи, що поклали початок новому етапу в розвитку промислової автоматизації. Їх поява дала змогу підприємствам значно підвищити рівень безпеки, зменшити вплив людського фактора, оптимізувати виробничі процеси та встановити контроль над енергетичними потоками, що раніше було практично неможливо реалізувати традиційними методами.

1.3.2 Перший етап — телемеханічні системи (1950–1970 рр.)

Перший етап розвитку автоматизованих систем контролю пов'язаний із становленням телемеханіки - технології, яка дозволяла передавати сигнали стану обладнання на великі відстані, ще до появи сучасних комп'ютеризованих систем. Цей період став фундаментом для появи SCADA, оскільки саме тоді сформувався запит на централізоване керування і дистанційний моніторинг складних промислових об'єктів.

Датчики та вимірювальні прилади початкового етапу:

У 1950–1960-х роках промисловість використовувала переважно аналогові датчики, які формували електричний сигнал, що відповідав зміні певного параметра. Найбільш поширеними були:

- манометричні датчики тиску, які видавали аналоговий сигнал 0–10 В або 4–20 мА;
- терморари та термометри опору (RTD), що вимірювали температуру;
- поплавкові або ємнісні датчики рівня;
- індукційні та електромагнітні реле, що сигналізували про крайні положення механізмів;
- механічні лічильники витрати, які потребували ручного зчитування.



Рис 1.2 Аналоговий прилад 1961 року США

Однак ключовою проблемою було те, що ці датчики не могли передавати дані безпосередньо у цифровому вигляді, а підсилювачі та перетворювачі сигналів були дуже дорогими. Тому дані передавалися в сильно спрощеному вигляді - часто тільки у форматі «норма/аварія».

Це дозволяло передати тільки дискретні сигнали, а спроби передавати аналогові параметри супроводжувалися великими похибками.

Перші країни, які почали впроваджувати телемеханіку

Піонерами стали:

- *США - електромережі та нафто-газова галузь;*
- *Велика Британія — технологія контролю водоканалів і насосних станцій;*
- *Німеччина — промислове обладнання та енергетичні мережі;*
- *Японія — рання автоматизація промислових підприємств.*

Особливо активно телемеханіка розвивалася в США, оскільки швидко зростала довжина газо- та нафтопроводів, які потребували постійного контролю тиску і стану засувок.

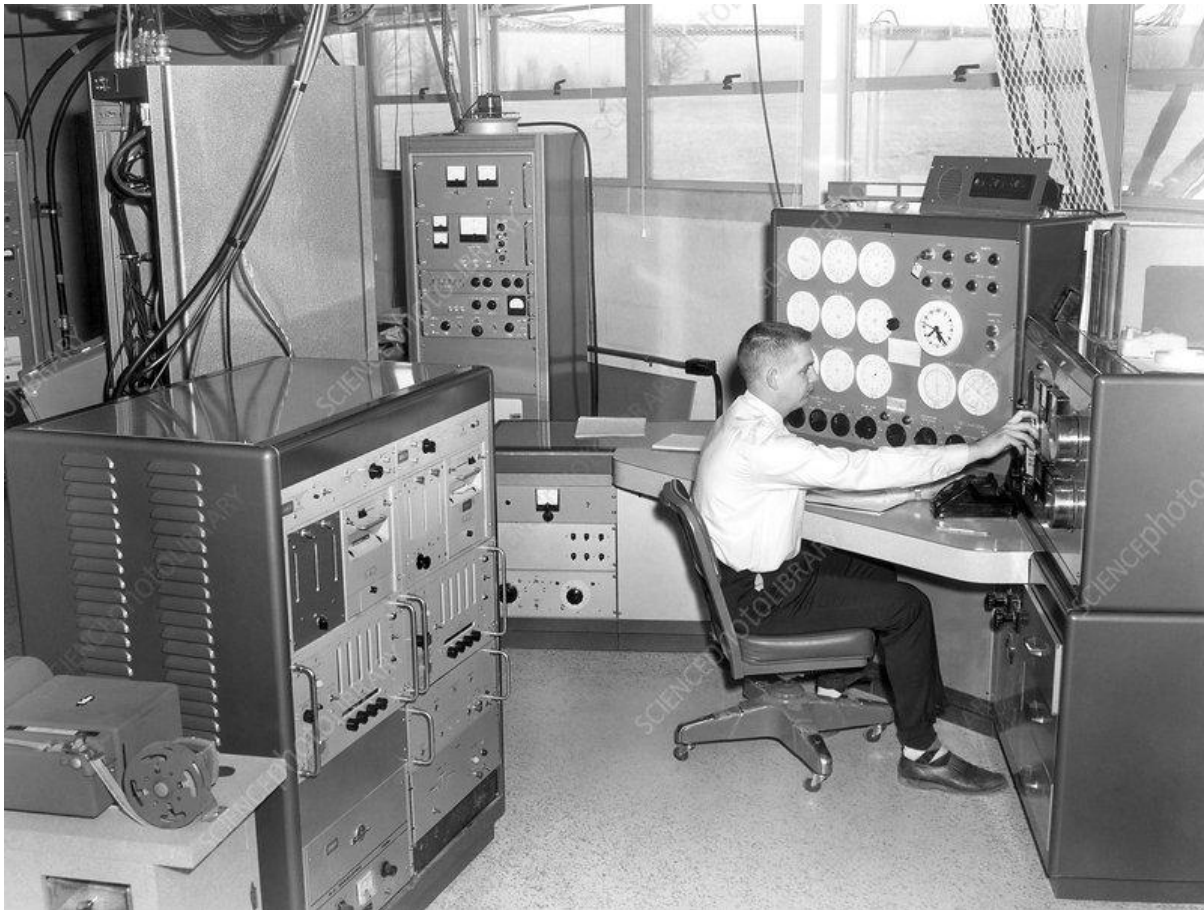


Рис 1.3 Приклад телемеханічної системи керування з використанням релейних схем та аналогових приладів (1950–1960 рр.)

Почали формуватися компанії, які потім стали гігантами SCADA-індустрії:

- *Westinghouse Electric — системи телемеханіки для енергетики;*

- *General Electric (GE)* — контролери та засоби диспетчеризації;
- *Siemens* — перші промислові релейні системи та телемеханічні рішення;
- *Honeywell* — автоматизація хімічної та нафтової промисловості.

Ці компанії працювали над створенням технологій, які могли зменшити залежність від людини, підвищити безпеку великих мереж, скоротити час реагування на аварії, зібрати хоча б мінімальний набір параметрів у контрольний центр.

У період 1950–1970-х років підприємства все частіше стикалися з такими труднощами, Ці проблеми сформували потребу у створенні систем, що могли б передавати значно більше інформації, ніж просто «ввімкнено/вимкнено», працювати без участі оператора, забезпечувати дистанційну діагностику, архівувати дані для подальшого аналізу.

До початку 1970-х років стало ясно, що телемеханіка перевантажена обмеженнями і не здатна задовольнити потреби сучасних промислових об'єктів.

Підприємства вимагали не тільки точних цифрових даних але й можливості працювати з багатьма параметрами одночасно, отримувати чітке прогнозування та аналітику, створювати централізованих диспетчерських пунктів як результатом стало зниження енерговтрат та аварійності.

Саме ці вимоги привели інженерів до ідеї створення повноцінної комп'ютеризованої системи керування, яка згодом отримала назву SCADA.

1.3.3 Другий етап - поява PLC та перших SCADA-подібних систем (1970–1980 рр.)

Другий етап розвитку автоматизованих систем управління відзначився появою програмованих логічних контролерів (PLC) та поступовим переходом від суто телемеханічних підходів до комп'ютеризованих систем

керування. Саме цей період став переломним у формуванні сучасних SCADA-рішень, оскільки підприємства отримали можливість уперше поєднувати автоматичну обробку сигналів, гнучке програмування та централізований моніторинг.

Поштовхом до переходу на новий рівень автоматизації стала криза релейно-контактової техніки, яка на той час домінувала у виробництві. Релейні шафи були громіздкими, вимагали значних витрат на обслуговування, а їх реконфігурація — принаймні часткового демонтажу обладнання. У 1968 році американська компанія General Motors офіційно висунула вимогу створити електронний контролер, здатний замінити релейні системи та забезпечити більшу гнучкість керування виробничими процесами. Відповіддю на цей запит стала поява перших PLC - компактних, надійних і програмованих пристроїв, які швидко довели свою ефективність у промислових умовах.

У розвиток цієї технології зробили внесок такі компанії, як Modicon (нині Schneider Electric), Allen-Bradley, Siemens, Mitsubishi Electric. Ранні моделі PLC, зокрема Modicon 084, стали інженерною революцією: вони дозволяли реалізовувати логічні алгоритми, змінювати їх без механічного втручання й забезпечували різко вищу стабільність і точність роботи обладнання. Завдяки цьому PLC швидко стали стандартом автоматизації у машинобудуванні, металургії, харчовій промисловості, енергетиці та нафтогазовій галузі.

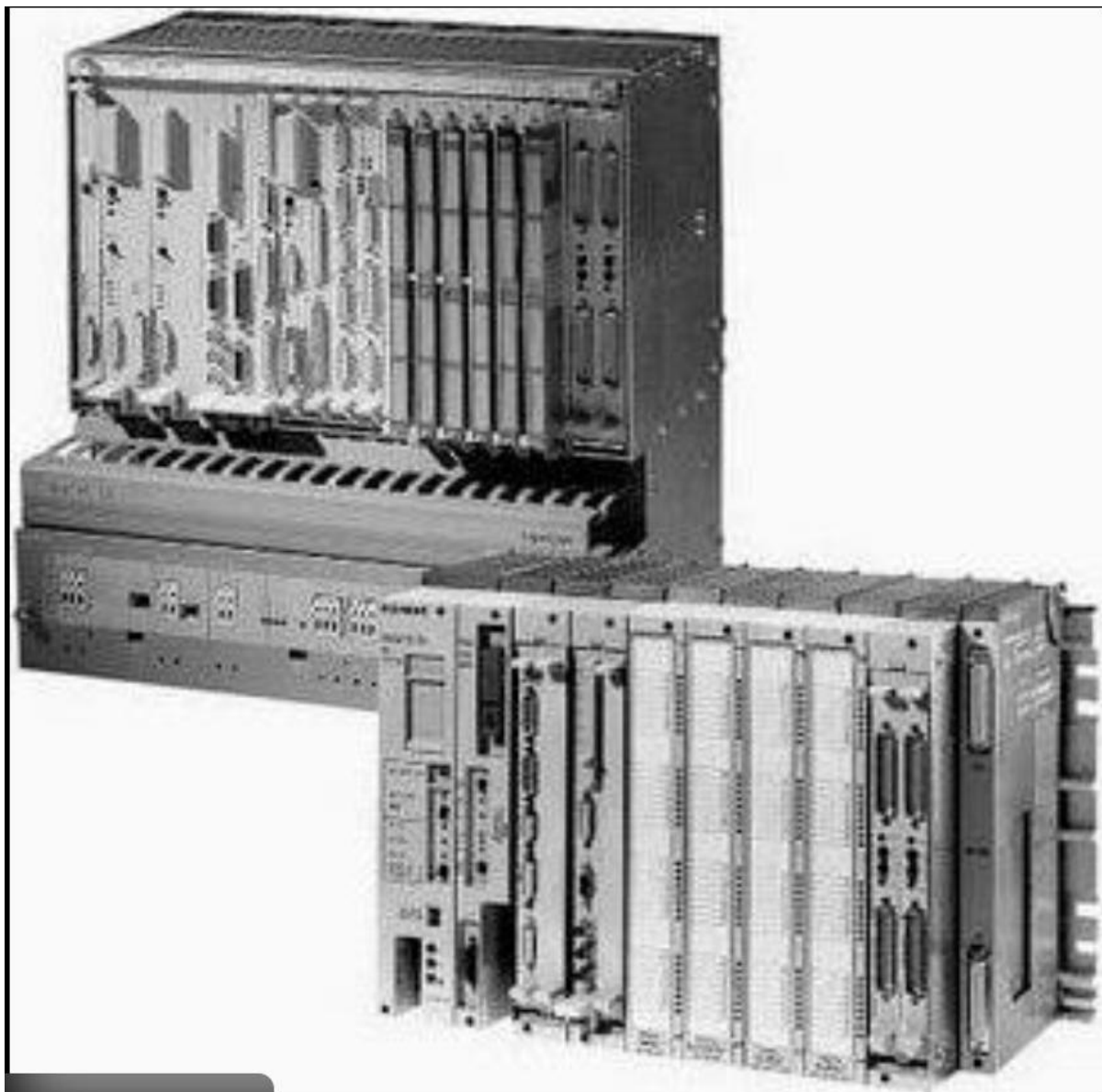


Рис 1.4 Modicon 084 перший у світі комерційним програмованим логічним контролером (PLC)



Artisan Technology Group

Рис 1.5 Allen-Bradley PLC-2 (1977 р., США) перший контролер який отримав широке промислове застосування

Разом із появою PLC суттєвого розвитку зазнали й вимірювальні технології. Якщо на попередньому етапі використовувалися переважно прості аналогові датчики та механічні прилади, то у 1970-х роках почали впроваджуватися перші високоточні електронні пристрої. Зокрема, поширилися термопари типів К та J, а також платинові термометри опору Pt100, здатні забезпечувати точність, необхідну для автоматичного регулювання температури. Для контролю тиску почали використовувати електронні перетворювачі з уніфікованим виходом 4–20 мА, що дало змогу передавати цифрово-сумісну інформацію на великі відстані без значної втрати точності. У системах контролю рівня активно впроваджувалися ультразвукові та ємнісні датчики, а на підприємствах водопостачання та енергетики - перші витратоміри з електронним блоком. З'явилися й електролічильники з імпульсним виходом, завдяки чому стало можливим створення первинних систем обліку енергоресурсів.

Характерною рисою цього етапу стала поява можливості організувати інформаційний обмін між PLC і комп'ютером. Саме тоді формуються перші комунікаційні протоколи, що дозволяли опитувати контролери та отримувати значення параметрів у режимі реального часу. Внаслідок цього з'явилися перші SCADA-подібні системи, які вже мали прості мнемосхеми, підтримку архівації, можливість журналювання аварій і відображення історії зміни параметрів. Хоча їхні функції були ще обмежені, ці системи стали основою для формування концепції диспетчерського управління з єдиного центру.

Протягом 1970–1980-х років США, Німеччина, Велика Британія та Японія стали країнами-лідерами у впровадженні автоматизованих систем контролю. У США ці технології насамперед застосовувалися у нафтогазовій галузі, де контроль тиску та стану трубопроводів був критично важливим для запобігання аваріям. У Німеччині акцент робився на металургії та енергетиці, де Siemens активно впроваджував ранні моделі SIMATIC. Японські компанії Mitsubishi та Omron робили ставку на автоматизацію роботизованих ліній у електронній і автомобільній промисловості.

Зростання складності виробництва, різкий ріст обсягів технологічних даних, необхідність мінімізувати енергетичні витрати та людський фактор все це створило передумови для виникнення більш інтелектуальних систем. Підприємствам уже було недостатньо просто «автоматизувати окрему операцію»; виникла потреба у системі, здатній об'єднувати дані з багатьох контролерів, здійснювати аналітику та керувати процесами комплексно.

Другий етап розвитку автоматизації завершився формуванням технологічної бази, яка зробила можливим появу SCADA у сучасному розумінні цього терміна. PLC стали центральним елементом автоматизованих систем, а розвиток датчиків, комунікаційних засобів та операційних станцій забезпечив необхідні інструменти

1.3.4 Третій етап стандартизація промислових мереж і поява повноцінних SCADA-систем (1980–2000 рр.)

Третій етап розвитку SCADA-систем став одним із найважливіших у формуванні сучасної індустріальної автоматизації. Якщо попередній період заклав технічний фундамент у вигляді PLC та електронних датчиків, то саме в 1980–1990-х роках відбувається перехід до інтегрованих, стандартизованих та масштабованих систем керування, які вперше отримують риси, характерні для SCADA в її сучасному розумінні.

У цей час підприємства зіткнулися з новими викликами, які значно відрізнялися від проблем попередніх десятиліть. Об'єкти автоматизації ставали дедалі складнішими, кількість контролерів і датчиків зростала, а від виробництва вимагалось не тільки підтримувати стабільність, але й забезпечувати високу гнучкість, мінімізувати втрати та підвищувати енергоефективність. У таких умовах стало очевидним, що окрема автоматизована ділянка більше не могла працювати ізольовано, необхідне було об'єднання технологічних комплексів у єдину систему.

До 1980-х років підприємства використовували власні, несумісні між собою методи обміну даними. Це створювало численні проблеми: кожен виробник обладнання мав свої стандарти, контролери різних фірм не могли працювати в одному середовищі, а інтеграція систем вимагала значних ресурсів. Потреба у зниженні витрат на впровадження автоматизації та бажання забезпечити сумісність між обладнанням різних виробників привели до появи уніфікованих промислових протоколів. На цьому етапі формуються такі технології, як:

- *Modbus* — один із перших відкритих протоколів, який дозволив стандартизувати обмін між PLC та датчиками різних виробників;
- *Profibus*, створений у Німеччині, забезпечив високошвидкісний обмін даними між контролерами та периферією;
- *CAN*, який згодом широко застосовувався як в автомобілебудуванні, так і на промислових лініях;
- *DNP3* — спеціалізований протокол для енергетики.

Саме поява цих стандартів дала змогу створити системи, де різні пристрої працювали узгоджено, а інтеграція стала можливою навіть у складних технологічних умовах.

І саме тут закладаються основи SCADA як комплексного середовища для збору, аналізу та управління даними.

Паралельно зі стандартизацією мереж активно розвивалася персональна комп'ютерна техніка. Поява промислових ПК, графічних інтерфейсів і операційної системи Windows створила умови для запуску перших повноцінних SCADA-програм.

У цей час з'являються такі продукти, як:

- *Siemens WinCC,*
- *Wonderware InTouch,*
- *iFIX,*
- *CitectSCADA.*



Рис 1.6 SIMATIC OP5 класичні ранні панелі

У 1990-х операторські станції (HMI) з графічними мнемосхемами найчастіше виглядали приблизно так:

1. Монітори CRT (кінескопи) 14–21, часто 4:3, роздільна здатність типу 640×480 / 800×600.

2. ОС/середовище: Windows 3.1/95/NT4, інколи OS/2 або UNIX на важких робочих станціях.

3. Стил ь мнемосхем: плоска 2D-графіка, товсті лінії трубопроводів, прості значки насосів/клапанів, яскраві “сигнальні” кольори миготіння для аварій.

4. UI: великі кнопки/панелі, таблички зі значеннями, часто багато дрібного тексту та індикаторів на одному екрані.

Вони забезпечували можливість створювати графічні мнемосхеми, відображати показники в реальному часі, архівувати дані у внутрішні бази, вести журнали подій, працювати з тривогами та аварійними ситуаціями, та й керувати обладнанням з диспетчерського пункту.

Такі можливості відкрили шлях до централізації управління, якої промисловість чекала ще з часів телемеханіки.

У 1980–1990-х роках продовжує активно розвиватися сенсорна техніка. З’являються: більш точні перетворювачі тиску з температурною компенсацією, ультразвукові, радарні та магнетоіндукційні витратоміри, фотоелектричні та оптичні датчики контролю положення, потужні електрорічильники, здатні передавати не лише імпульси, а й миттєві значення потужності та енергії.

Саме завдяки цим приладам SCADA отримала можливість збирати високоточні дані, що стало обов’язковою умовою для енергоефективного управління.

У 1980–1990-х роках провідними країнами в автоматизації стають:

- США, де SCADA активно впроваджується в енергетиці, транспорті, нафтовій та хімічній промисловості;
- Німеччина, яка завдяки Siemens формує високий стандарт автоматизації виробництв;
- Японія, де SCADA інтегрується з роботизованими системами;
- Велика Британія та Франція, які роблять акцент на автоматизації водних та комунальних інфраструктур.

У цей період відбувається масове розгортання диспетчерських центрів, що дозволяє контролювати підприємства на великі відстані, інтегрувати різні майданчики в єдине інформаційне середовище та знизити експлуатаційні витрати.



Рис 1.7 Диспетчерський центр 1989 рік

Саме третій етап перетворив SCADA з локальних програмних рішень на повноцінну промислову систему верхнього рівня, здатну інтегрувати сотні та тисячі пристроїв, забезпечувати єдину логіку управління, створювати централізовані архіви даних, працювати у складі складних корпоративних мереж. Ключовим приладним елементом цього етапу стали операторські станції (HMI) з графічними мнемосхемами, які дозволили оператору не

лише спостерігати за процесами, а й активно керувати ними. Також важливу роль відіграли перші історичні бази даних, що забезпечили накопичення та аналіз технологічної інформації.

Таким чином, саме SCADA-програмне забезпечення та HMI-станції стали проривними рішеннями, які перетворили автоматизацію з локальної на системну. Це був період, коли автоматизація перестала бути локальною і стала системною, а SCADA перетворилася на невід'ємний елемент виробничого управління.

1.3.5 Четвертий етап - цифровізація, інтеграція та інтелектуалізація SCADA-систем (2000-ті роки - теперішній час)

Четвертий етап розвитку SCADA-систем характеризується якісним переходом від класичних диспетчерських рішень до комплексних цифрових платформ управління підприємством. На цьому етапі SCADA перестає виконувати виключно функцію візуалізації та контролю технологічних параметрів і трансформується у багатофункціональну інформаційно-аналітичну систему, що забезпечує підтримку управлінських рішень на різних рівнях ієрархії.

Однією з ключових особливостей цього етапу є інтеграція SCADA з корпоративними інформаційними системами. Завдяки використанню відкритих стандартів обміну даними, зокрема OPC UA, промислового Ethernet та TCP/IP, SCADA-системи отримали можливість взаємодіяти з MES- та ERP-рівнями. Це дозволило сформувати єдиний інформаційний простір підприємства, у межах якого дані з технологічного рівня безпосередньо впливають на планування виробництва, управління ресурсами та економічний аналіз.

Важливою тенденцією четвертого етапу стало масове впровадження історичних баз даних (Historian). Накопичення великих обсягів технологічної інформації дало змогу здійснювати глибокий аналіз процесів, виявляти довгострокові тенденції, оцінювати ефективність роботи обладнання та визначати причини відхилень. Таким чином, SCADA-система перетворилася з інструменту оперативного контролю на основу для стратегічного аналізу діяльності підприємства.

Особливе значення на цьому етапі набула орієнтація SCADA на енергоефективність. Зростання вартості енергоресурсів та посилення екологічних вимог змусили підприємства переходити від приблизного обліку до детального моніторингу споживання електроенергії, тепла, води та газу. SCADA-системи почали використовуватися для формування енергетичних балансів, аналізу пікових навантажень, оптимізації режимів роботи обладнання та зниження енергетичних втрат. Саме на цьому етапі SCADA стає ключовим інструментом впровадження систем енергоменеджменту відповідно до міжнародних стандартів.

Подальший розвиток четвертого етапу пов'язаний із впровадженням концепцій Industrial Internet of Things (IIoT) та хмарних технологій. SCADA-системи отримують можливість працювати з розподіленими джерелами даних, забезпечувати віддалений доступ до інформації та масштабуватися без суттєвих апаратних обмежень. Застосування методів машинного навчання та елементів штучного інтелекту дозволяє переходити від реактивного управління до прогностного, коли система не лише фіксує відхилення, а й передбачає їх виникнення.

Таким чином, четвертий етап розвитку SCADA-систем є етапом інтелектуалізації, інтеграції та орієнтації на дані, що визначає сучасний вигляд промислової автоматизації та створює основу для подальшого розвитку цифрових підприємств.

На основі проведеного аналізу можна зробити такі висновки: По-перше, четвертий етап розвитку SCADA-систем характеризується переходом від локального диспетчерського контролю до комплексного управління виробничими та енергетичними процесами на рівні підприємства в цілому.

По-друге, інтеграція SCADA з MES, ERP та системами енергоменеджменту перетворює її на ключовий елемент цифрової інфраструктури підприємства, що забезпечує прозорість процесів і підтримку управлінських рішень.

По-третє, впровадження історичних баз даних і аналітичних модулів дозволяє використовувати SCADA не лише для оперативного контролю, але й для стратегічного аналізу, прогнозування та оптимізації роботи обладнання.

По-четверте, орієнтація SCADA-систем на енергоефективність робить їх одним із основних інструментів зниження експлуатаційних витрат, підвищення екологічної відповідальності та конкурентоспроможності промислових підприємств.

По-п'яте, розвиток IoT та штучного інтелекту визначає перспективи подальшої еволюції SCADA-систем у напрямку самонавчальних, адаптивних і проактивних систем управління

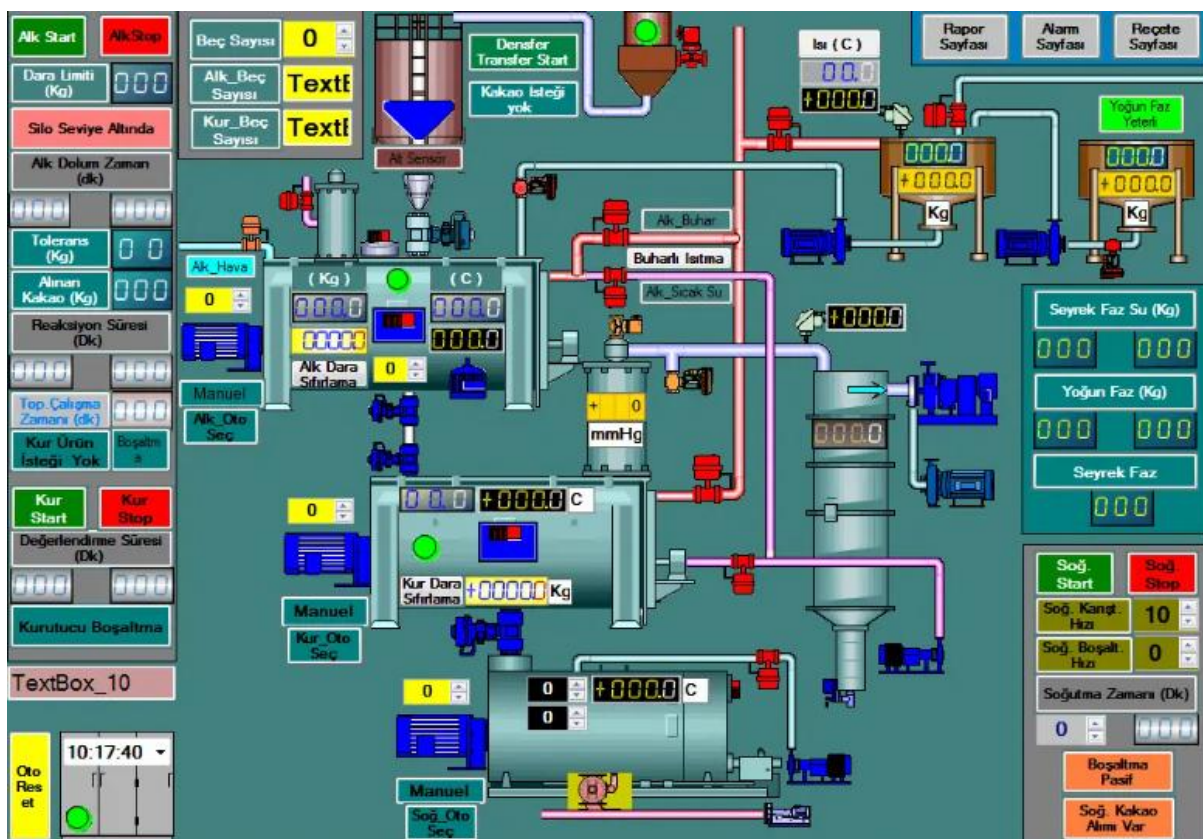


Рис. 1.8 Приклад SCADA, як інтерфейс.

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) — це система, яка забезпечує централізоване управління та нагляд за технологічними процесами. Її головною функцією є збирання даних з обладнання, їх аналіз, візуалізація та передача команд на основі отриманої інформації. Такі

системи дозволяють оператору в режимі реального часу бачити поточний стан об'єкта, відстежувати зміну параметрів та оперативно реагувати на відхилення чи аварійні ситуації.

Принцип роботи SCADA базується на безперервному циклі збору інформації з датчиків і контролерів, передачі її до центрального сервера, обробці та поданні у зручному для оператора вигляді. Це забезпечує Гнучкість, надійність і масштабованість системи для будь-якого типу підприємств.

1.4 Основні компоненти SCADA

Структура SCADA-системи є комплексною, але водночас логічно впорядкованою. Вона складається з кількох ключових елементів, кожен з яких виконує свою важливу роль:

1. HMI (Human-Machine Interface) — *інтерфейс взаємодії оператора з машинами. Через HMI оператор отримує візуальну інформацію про стан системи, графіки, сигнали тривоги та може здійснювати ручне управління.*

2. RTU (Remote Terminal Unit) — *пристрої збору даних, які встановлюються на віддалених об'єктах. RTU забезпечують збір даних з датчиків і передають їх на центральний сервер.*

3. PLC (Programmable Logic Controller) — *програмовані логічні контролери, що виконують безпосереднє керування технологічними процесами. Вони отримують сигнали від датчиків, обробляють їх і надсилають відповідні команди виконавчим механізмам.*

4. Комунікаційна інфраструктура — *включає канали зв'язку, протоколи передачі даних (Modbus, Profibus, OPC тощо), мережеві пристрої, що забезпечують обмін інформацією між компонентами системи.*

Ці компоненти в комплексі забезпечують стабільну та надійну роботу SCADA, що дозволяє зменшити витрати, мінімізувати людський фактор і підвищити ефективність управління.

1.5 Порівняння популярних SCADA-платформ

У межах даної дипломної роботи для детального порівняльного аналізу було обрано SCADA-платформи двох провідних світових виробників у галузі промислової автоматизації - Schneider Electric та ABB. Обидві компанії займають провідні позиції на глобальному ринку, мають багаторічний досвід реалізації комплексних проєктів автоматизації та широко представлені на українському ринку. Їхні SCADA-рішення застосовуються на підприємствах різних галузей, що робить доцільним саме їх використання як об'єктів порівняння.

Метою даного аналізу є визначення функціональних можливостей, сфер застосування, переваг і обмежень кожної SCADA-платформи, а також формування практичних рекомендацій щодо їх використання залежно від типу промислового об'єкта та завдань з управління енергоефективністю.

1.5.1 Особливості SCADA-платформи Schneider Electric

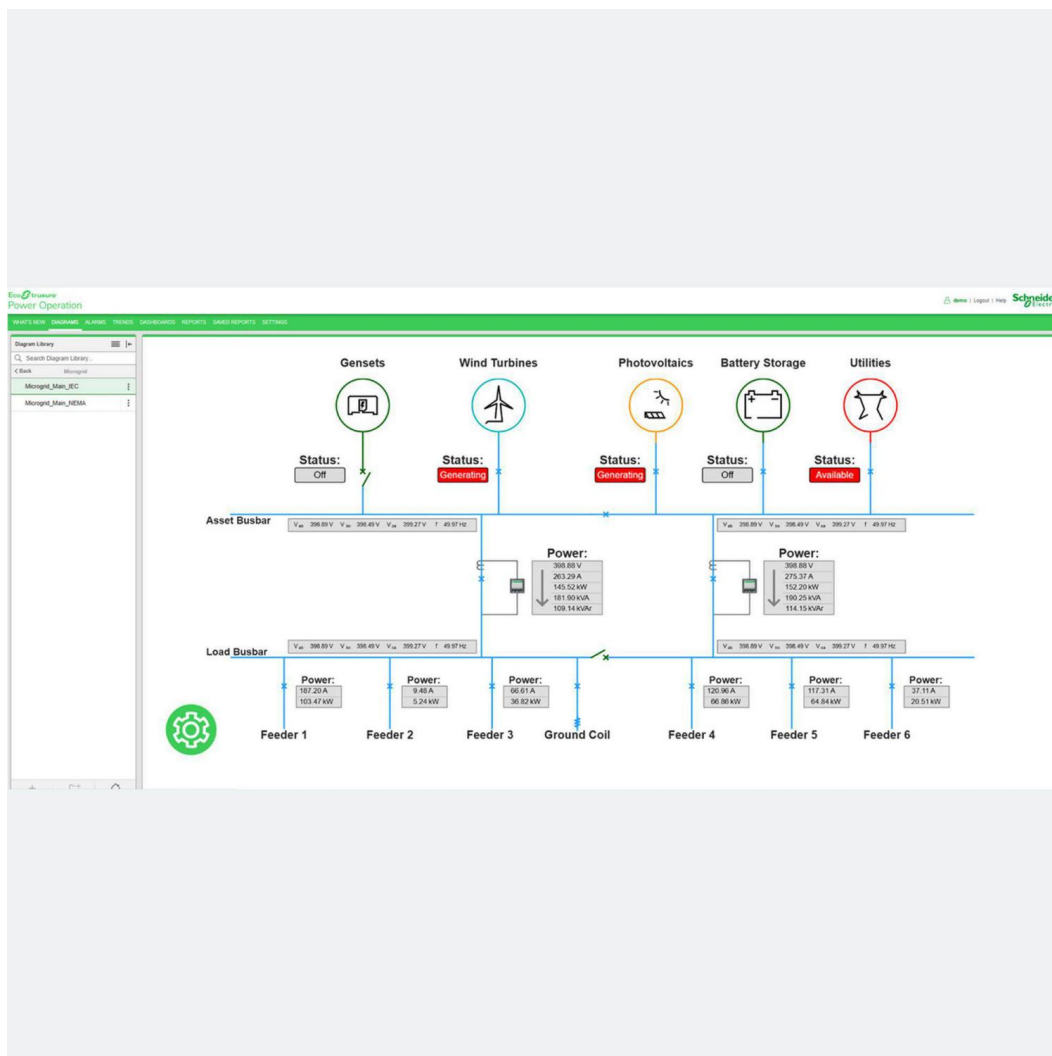
SCADA-рішення компанії Schneider Electric реалізуються в межах концепції EcoStruxure, яка передбачає інтеграцію програмних і апаратних засобів у єдину цифрову екосистему. До найбільш поширених SCADA-продуктів належать AVEVA Plant SCADA, AVEVA System Platform та EcoStruxure Geo SCADA Expert. Дані платформи орієнтовані на побудову гнучких, масштабованих систем диспетчерського керування з відкритою архітектурою.

SCADA-рішення Schneider Electric широко застосовуються на промислових підприємствах середнього та великого масштабу, у харчовій, хімічній, фармацевтичній промисловості, а також у системах водопостачання, тепlopостачання та розподілених енергетичних об'єктах. Відкрита архітектура платформ дозволяє інтегрувати обладнання різних виробників, що є суттєвою перевагою для підприємств зі змішаним парком автоматизованих засобів.

Особливу роль SCADA-рішення Schneider Electric відіграють у задачах моніторингу та підвищення енергоефективності. Платформи підтримують збір детальних даних про споживання електроенергії, тепла, води та інших

ресурсів, формування енергетичних балансів, аналіз пікових навантажень і виявлення неефективних режимів роботи обладнання. Це робить їх доцільними для підприємств, які перебувають на етапі цифрової трансформації та впровадження систем енергоменеджменту.

Разом із тим, гнучкість і масштабованість рішень Schneider Electric можуть ускладнювати проектування великих систем без залучення досвідчених інтеграторів, що слід враховувати при впровадженні на складних об'єктах.



Малюнок 1.8.1 інтерфейс SCADA-платформи Schneider Electric

1.5.2 Особливості SCADA-платформа ABB

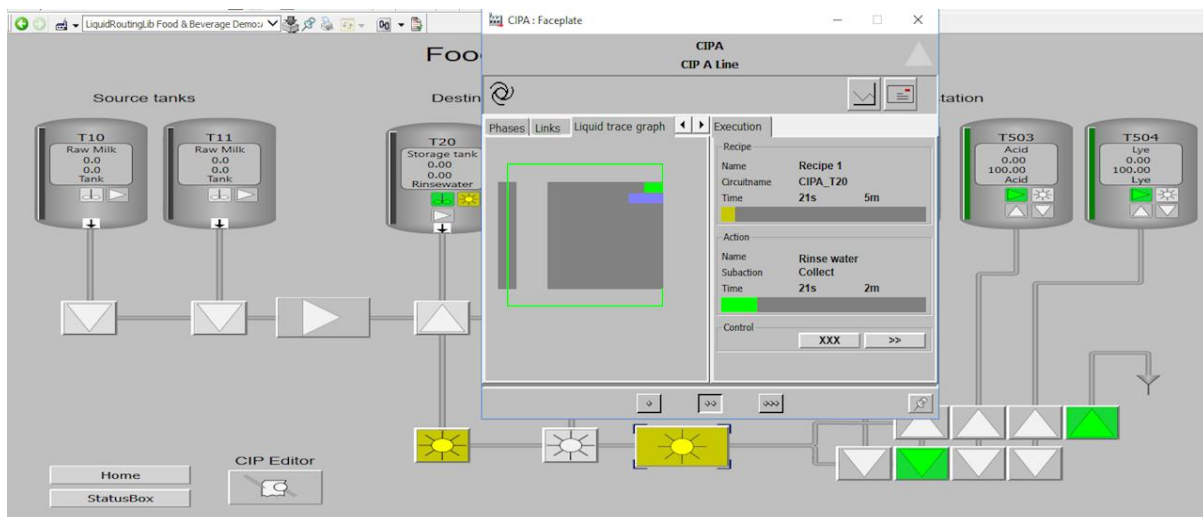
SCADA-рішення компанії ABB представлені в межах цифрової платформи ABB Ability, зокрема такими системами, як ABB Ability System 800xA та ABB Ability zenon (мал 1.8.2). Дані рішення орієнтовані на створення

високонадійних інтегрованих систем керування, призначених для великих промислових і енергетичних об'єктів.

SCADA-платформи ABB широко використовуються в енергетиці, металургії, нафтогазовій промисловості, на об'єктах критичної інфраструктури, а також у великих промислових комплексах із безперервним циклом виробництва. Ключовою особливістю рішень ABB є глибока інтеграція з електротехнічним обладнанням, приводами та системами електропостачання власного виробництва, що забезпечує високу узгодженість роботи всіх компонентів системи.

SCADA-платформи ABB орієнтовані на забезпечення максимальної надійності, відмовостійкості та безпеки, що є критично важливим для енергетичних і стратегічно важливих об'єктів. Вони дозволяють реалізувати централізований контроль складних технологічних процесів, забезпечують розширені механізми резервування та підтримують інтеграцію з корпоративними системами управління.

Водночас такі рішення зазвичай потребують більших початкових інвестицій та більш складного етапу проектування, що обмежує їх використання на малих і середніх підприємствах.



Малюнок 1.8.2 Інтерфейс SCADA-платформа ABB

Порівнюючи SCADA-платформи Schneider Electric та ABB, можна зробити висновок, що вони орієнтовані на різні сценарії використання. Рішення Schneider Electric є більш універсальними та гнучкими, що дозволяє ефективно застосовувати їх на підприємствах із різномірною структурою

обладнання та поступовим нарощуванням функціоналу системи. У свою чергу, SCADA-рішення ABB доцільні у випадках, коли необхідно забезпечити централізоване керування великими промисловими або енергетичними об'єктами з підвищеними вимогами до надійності та безперервності роботи.

З позиції управління енергоефективністю, SCADA-платформи Schneider Electric більш зручні для детального аналізу споживання енергоресурсів на рівні окремих технологічних ділянок і обладнання, тоді як рішення ABB дозволяють ефективно керувати енергетичними потоками на рівні всього підприємства або енергетичної системи в цілому. На таблиці 1.1 було приведено порівняння основних критеріїв де можна побачити що:

Критерій порівняння	Schneider Electric (EcoStruxure / AVEVA)	ABB (ABB Ability)
Основне призначення	Гнучкий моніторинг і оптимізація технологічних та енергетичних процесів	Централізоване керування великими промисловими та енергетичними системами
Тип підприємств	Малі та середні підприємства, розподілені об'єкти	Великі промислові комплекси, об'єкти критичної інфраструктури
Роль SCADA на підприємстві	Інструмент збору, аналізу та оптимізації енергоспоживання	Частина інтегрованої системи управління підприємством
Підхід до енергоефективності	Детальний облік і аналіз споживання на рівні обладнання та ділянок	Управління енергетичними потоками на рівні всього підприємства
Архітектура системи	Відкрита, масштабована, підтримка різних виробників	Інтегрована, орієнтована на обладнання ABB
Інтеграція з обладнанням	Обладнання різних виробників	Максимальна інтеграція з рішеннями ABB
Масштабування	Гнучке, поетапне розширення	Орієнтоване на великі комплексні проекти
Надійність і відмовостійкість	Висока, достатня для більшості виробничих об'єктів	Дуже висока, для безперервних і критичних процесів
Складність впровадження	Середня	Висока
Початкові інвестиції	Помірні	Високі

Типові завдання	Енергомоніторинг, оптимізація режимів, аналітика	Стратегічне управління, стабільність, безперервність
Коли доцільно обирати	Поступова цифровізація, підвищення енергоефективності	Критично важливі виробництва та енергетика

Таблиця. 1.1 порівняння SCADA-платформи Schneider Electric та ABB

Таким чином, проведений порівняльний аналіз SCADA-платформ Schneider Electric та ABB дозволяє зробити обґрунтований висновок, що вибір системи диспетчерського керування не може здійснюватися за принципом універсальності або виключно за критерієм популярності виробника. Оптимальне SCADA-рішення повинно визначатися з урахуванням специфіки підприємства, масштабу виробничих процесів, структури енергоспоживання та стратегічних завдань управління енергоефективністю.

SCADA-рішення компанії Schneider Electric доцільно розглядати як ефективний інструмент для підприємств, які орієнтовані на гнучке управління технологічними та енергетичними процесами, поетапну цифрову трансформацію та інтеграцію обладнання різних виробників. Такі платформи добре підходять для промислових об'єктів середнього масштабу, де важливо забезпечити детальний моніторинг споживання енергоресурсів на рівні окремих ділянок, технологічних ліній або одиниць обладнання. У цьому випадку SCADA виконує роль центрального інструмента збору, візуалізації та аналітики енергетичних даних, що дозволяє інженерному та енергетичному персоналу оперативно виявляти неефективні режими роботи та приймати обґрунтовані рішення щодо їх оптимізації.

Крім того, SCADA-рішення Schneider Electric є особливо доцільними для підприємств зі змішаною інфраструктурою, де використовуються контролери, датчики та виконавчі механізми різних виробників. Відкрита архітектура та підтримка стандартних протоколів обміну даними дозволяють інтегрувати такі системи без необхідності повної заміни наявного обладнання, що суттєво знижує капітальні витрати на впровадження.

У свою чергу, SCADA-платформи ABB доцільно застосовувати на великих промислових, енергетичних та інфраструктурних об'єктах, де першочерговими вимогами є надійність, безперервність технологічних процесів та високий рівень відмовостійкості. У таких системах SCADA виконує не лише функцію диспетчерського контролю, а фактично стає частиною інтегрованої системи управління підприємством, тісно пов'язаної з електротехнічним обладнанням, системами електропостачання та захисту.

Перевагою рішень ABB є їх здатність забезпечувати централізоване управління складними енергетичними потоками на рівні всього підприємства або навіть групи об'єктів. Це особливо важливо для підприємств з безперервним циклом виробництва, де будь-які відмови або нестабільність роботи можуть призвести до значних фінансових втрат. У таких умовах SCADA-система виступає інструментом стратегічного управління, який забезпечує стабільність, прогнозованість і контроль енергетичних процесів.

Отже, перевага SCADA-рішень Schneider Electric полягає у їх гнучкості, масштабованості та орієнтації на детальний енергомоніторинг, що робить їх оптимальними для підприємств, які прагнуть поступового підвищення енергоефективності без радикальної перебудови всієї системи автоматизації. Натомість SCADA-платформи ABB мають перевагу в умовах великих і критично важливих об'єктів, де ключовими є стабільність, інтеграція та централізоване управління енергетичними та технологічними процесами.

Таким чином, з точки зору практичного застосування для промислового підприємства, Schneider Electric доцільно обирати у випадках, коли необхідна гнучка та економічно ефективна система моніторингу енергоефективності, тоді як SCADA-рішення ABB є більш доцільними для реалізації комплексних проєктів управління великими виробничими та енергетичними системами, де пріоритетом є надійність і довгострокова стабільність роботи.

1.6 Роль SCADA в управлінні енергоефективністю

SCADA-системи відіграють ключову роль у забезпеченні високого рівня енергоефективності на промислових підприємствах. Завдяки

постійному моніторингу, збору та аналізу даних вони дозволяють точно оцінювати ситуацію в реальному часі та приймати обґрунтовані управлінські рішення. В епоху, коли кожен кіловат енергії має економічне та екологічне значення, автоматизовані системи управління стають не просто зручністю, а необхідністю. SCADA забезпечує оперативний контроль за енергетичними потоками, дозволяє виявляти та усувати неефективні процеси, проводити глибоку діагностику стану обладнання. У поєднанні з системами енергоменеджменту (EMS) вона перетворюється на інструмент стратегічного рівня, здатний суттєво знизити витрати підприємства та підвищити його стійкість до коливань цін на енергоресурси.

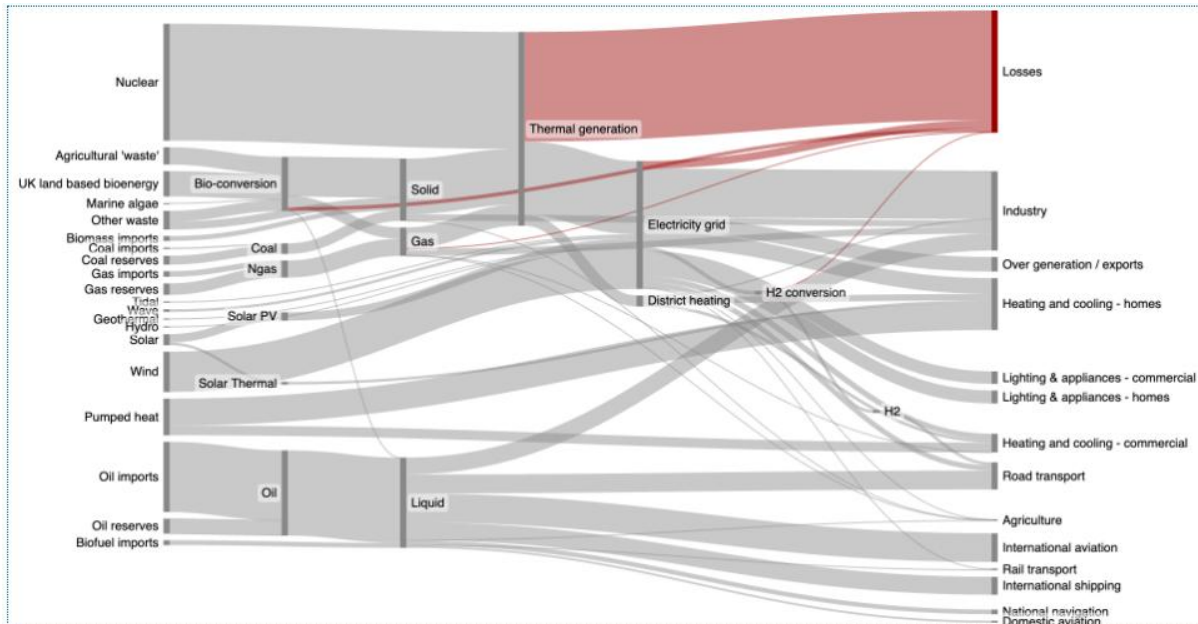
Однією з головних функцій SCADA-систем є моніторинг енергоспоживання в режимі реального часу. Це дозволяє оперативно отримувати актуальну інформацію про споживання електроенергії, газу, води, тепла тощо на кожній ділянці виробництва. Дані, які фіксуються з високою частотою оновлення, виводяться на екрани операторів у вигляді графіків, таблиць або схем. Завдяки цьому персонал може миттєво реагувати на відхилення від заданих параметрів, попереджати аварійні ситуації, здійснювати перевірку коректності роботи обладнання. У довгостроковій перспективі це сприяє формуванню культури раціонального енергоспоживання та скороченню витрат.

SCADA-системи не лише фіксують показники енергоспоживання, але й зберігають ці дані для подальшого аналізу. Завдяки вбудованим засобам аналітики користувачі можуть оцінити ефективність роботи окремих установок, агрегатів чи навіть змін у роботі персоналу. Такий підхід дозволяє виявляти вузькі місця у виробничому процесі, де енергія витрачається нераціонально, або обладнання працює з перевантаженням. Аналітичні модулі SCADA можуть автоматично формувати звіти, розраховувати показники енергоефективності (наприклад, kWh/одиницю продукції), визначати тренди й прогнозувати витрати енергії в майбутньому. Для досягнення максимальної ефективності SCADA-системи часто інтегрують з корпоративними платформами енергоменеджменту — EMS. Така інтеграція дозволяє об'єднати оперативні дані з довгостроковими планами енергоспоживання, розширити можливості для оптимізації.

EMS забезпечує стратегічний підхід до енергоефективності, надаючи інструменти для бюджетування, порівняльного аналізу, КРІ-моніторингу та оцінки результативності енергетичних заходів. У поєднанні з SCADA це дозволяє не лише «бачити», а й «керувати» — як на локальному, так і на корпоративному рівні. В результаті, підприємство отримує цілісну, прозору і керовану систему енергоспоживання, що відповідає сучасним вимогам сталого розвитку.

У сучасних енергетичних системах просте збирання даних є недостатнім. Щоб отримати повну картину та знайти потенціал для підвищення ефективності, важливо представити інформацію в зручному й наочному вигляді. Саме для цього застосовуються різні методи візуалізації, які допомагають краще розуміти структуру споживання, розподіл енергії та виявляти зони втрат.

Sankey-діаграми дозволяють у графічному вигляді подати, як енергія надходить, розподіляється і втрачається на підприємстві. Завдяки товщині стрілок, пропорційній обсягу енергії, одразу помітно, де виникають основні втрати та які процеси є найбільш енергоємними.



Малюнок. 1.9. Приклад Sankey-діаграми

Я бачу, як енергія надходить із різних джерел: ядерна, біомаса, газ, нафта, вугілля, сонце, вітер, вода. Ці ресурси проходять через процеси

перетворення — наприклад, теплову генерацію або електромережу — і частина енергії вже тут втрачається.

Далі енергія розподіляється на різні сфери:
 - для дому (освітлення, прилади, опалення),
 - для промисловості,
 - для транспорту,
 - для сільського господарства тощо.

Найбільші втрати видно саме під час виробництва електроенергії — це червона частина діаграми. Тобто діаграма показує, як проходить шлях енергії від джерела до кінцевого використання і скільки втрачається по дорозі.

Схеми P&ID широко використовуються для опису обладнання, трубопроводів та приладів на технологічному об'єкті. Вони допомагають візуалізувати, де розміщені засоби контролю, як пов'язані між собою системи, і на яких ділянках доцільно встановлювати датчики для енергомоніторингу.

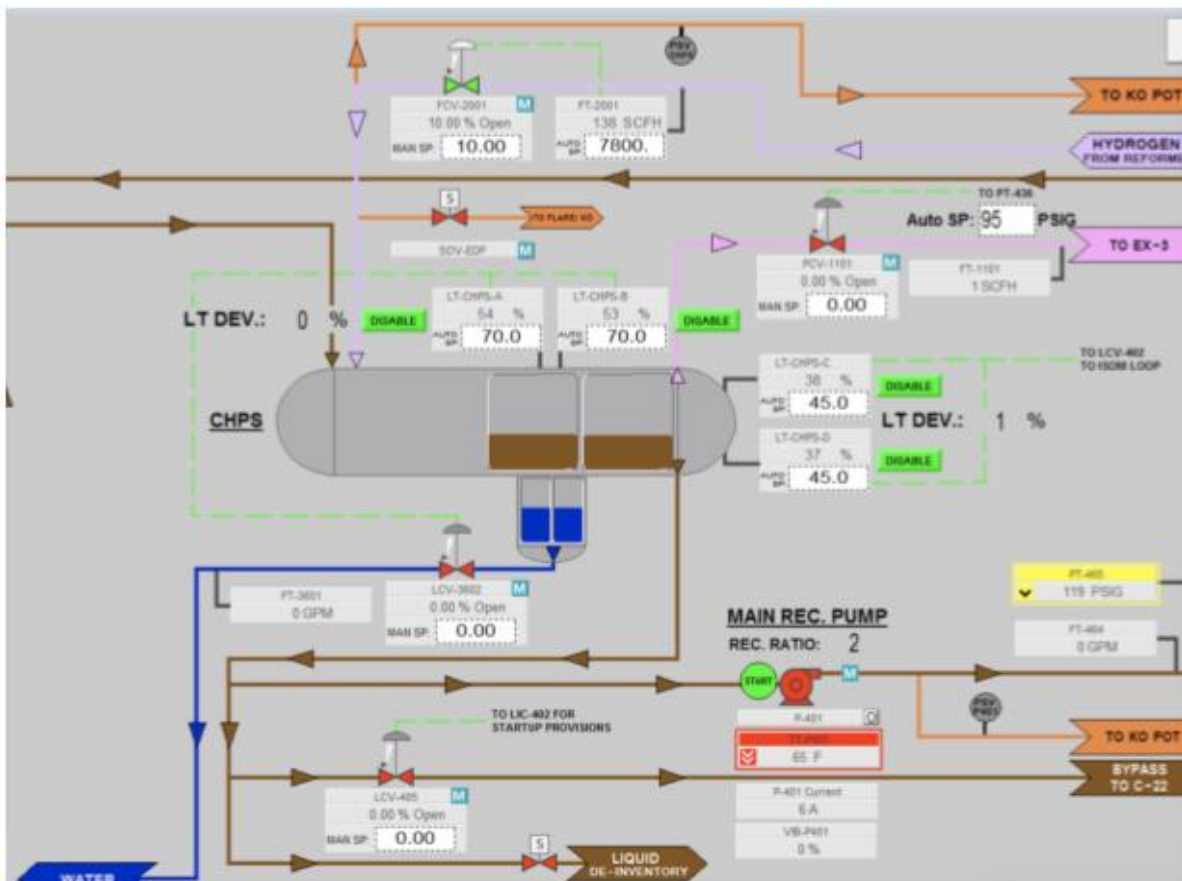


Рис. 1.9.1 Приклад Схеми R&ID

Я бачу, як енергія надходить з різних джерел це атомна енергія, біомаса, вугілля, газ, нафта, сонце, вітер, вода тощо. Всі ці ресурси збираються з різних місць: з надр, імпорту, природних джерел.

Потім частина цієї енергії перетворюється: наприклад, в електроенергію, тепло, водень. Це робиться через процеси, як-от теплова генерація, біоперетворення, центральне опалення.

Багато енергії втрачається особливо під час теплової генерації. Це велика частина діаграми, яка показує неефективність у системі.

І нарешті, енергія йде до споживачів:

- у будинки (*освітлення, прилади, опалення*),
- у транспорт (*дороги, літаки, поїзди*),
- у промисловість і сільське господарство.

Додатково до спеціалізованих діаграм активно використовуються загальні візуальні інструменти:

- *графіки* - для динаміки змін у споживанні;
- *гістограми* - для порівняння між об'єктами чи періодами;
- *теплові карти* - для просторової оцінки навантажень або втрат.
- *Завдяки таким засобам можна швидко оцінити стан енергетичної системи й ухвалити ефективні рішення щодо її оптимізації.*

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ЛІНІЇ РОЗЛИВУ «CARLSBERG УКРАЇНА»

У цьому розділі показано аналітичному дослідженню технологічного процесу лінії розливу підприємства «Carlsberg Україна» та оцінці існуючого рівня автоматизації з точки зору енергоефективності. У межах даного розділу розглянуто особливості виробничого процесу, структуру транспортно-підйомної підсистеми, а також засоби автоматизації та збору даних, що застосовуються на окремих етапах лінії розливу.

Особливу увагу приділено аналізу роботи енергоємних вузлів, зокрема транспортних систем, елеваторів та допоміжного обладнання, які суттєво впливають на загальний рівень енергоспоживання підприємства. Проведено аналіз функціонування системи автоматизації до впровадження SCADA-рішень, визначено її обмеження та проблемні зони, пов'язані з відсутністю централізованого моніторингу та аналітики енергоспоживання. Результати даного розділу слугують обґрунтуванням доцільності впровадження інтегрованої SCADA-системи для підвищення енергоефективності та надійності роботи лінії розливу, а також формують вихідні дані для подальшого проектування системи автоматизації, яке виконується в розділі 3.

2.1. Загальна характеристика підприємства та вибір об'єкта дослідження

Підприємство «Carlsberg Україна», що входить до складу міжнародної групи Carlsberg Group, є одним із провідних виробників пивоварної продукції на території України. Виробничі потужності підприємства характеризуються високим рівнем автоматизації, значною кількістю технологічного обладнання та складною інфраструктурою енергоспоживання, що зумовлює актуальність впровадження сучасних систем моніторингу та управління.

Основними особливостями діяльності підприємства є безперервність технологічних процесів, високі вимоги до якості продукції, стабільності виробництва та ефективного використання енергетичних ресурсів. У структурі загального енергоспоживання значну частку займають електроприводи, транспортні системи, компресорне обладнання, системи

оохолодження та допоміжні механізми, робота яких безпосередньо впливає на собівартість продукції.

З огляду на зазначені особливості, у межах даної роботи як об'єкт дослідження обрано лінію розливу пивоварної продукції, що є однією з найбільш енергоємних та технологічно насичених ділянок виробництва. Лінія розливу включає в себе комплекс взаємопов'язаних механізмів і установок, зокрема системи транспортування тари, вертикальні та похилі конвеєри (елеватори, або «ліфти»), мийні машини, вузли наповнення, закупорювання та пакування.

Особливу роль у технологічному процесі відіграють транспортні та підйомні механізми, які забезпечують переміщення пляшок і банок між окремими технологічними зонами. Робота цих механізмів супроводжується значним споживанням електроенергії, а також потребує точного узгодження швидкостей і режимів роботи для уникнення заторів, перевантажень і простоїв обладнання.

До впровадження централізованої SCADA-системи управління контроль роботи лінії розливу здійснювався переважно на локальному рівні, що обмежувало можливості комплексного аналізу енергоспоживання, ускладнювало виявлення неефективних режимів роботи та не дозволяло оперативно оцінювати вплив окремих ділянок на загальні енергетичні показники підприємства. Відсутність єдиного інформаційного простору призводила до фрагментарності даних і залежності ефективності управління від досвіду обслуговуючого персоналу.

У зв'язку з цим лінія розливу була обрана як пріоритетний об'єкт для впровадження та дослідження SCADA-системи моніторингу і керування енергоспоживанням, оскільки саме на цій ділянці можливо досягти відчутного ефекту від оптимізації режимів роботи, зменшення простоїв і підвищення загальної енергоефективності виробництва.

Таким чином, вибір лінії розливу підприємства «Carlsberg Україна» як об'єкта дослідження є обґрунтованим з точки зору як енергетичної значущості процесу, так і можливості практичної реалізації сучасних SCADA-рішень для підвищення ефективності управління виробничими процесами.

2.2. Опис технологічного процесу лінії розливу та її енергоспоживання

Лінія розливу пивоварної продукції на підприємстві «Carlsberg Україна» являє собою безперервний багатостадійний технологічний процес, у межах якого здійснюється послідовна обробка тари - від подачі порожніх пляшок або банок до пакування готової продукції. Високий рівень механізації, значна кількість електроприводів і допоміжних систем обумовлюють суттєве енергоспоживання та потребу в ефективній системі автоматизації й моніторингу. У подальшому опис технологічного процесу подано у вигляді поетапної «екскурсії» по лінії розливу із зазначенням основних засобів автоматизації, які детально розглядаються в наступних підпунктах розділу.

Технологічний процес починається з подачі порожньої тари на вхідну ділянку лінії (малюнок 2.1). Тара надходить на горизонтальні конвеєри, де здійснюється контроль її наявності та рівномірності подачі. На цьому етапі використовуються фотоелектричні датчики наявності тари показаний на малюнку 2.2, а також електроприводи конвеєрів із частотним регулюванням швидкості (детально розглянуто в пункті **2.3.1, 2.3.2**, Малюнок 2.2.6).

Сигнали від датчиків обробляються програмованим логічним контролером (малюнок 2.2.7), який забезпечує стабільний рух тари та передає технологічну й діагностичну інформацію до системи моніторингу через промислову мережу зв'язку з використанням стандартних протоколів обміну даними. Далі тара переміщується між технологічними зонами за допомогою системи горизонтальних стрічкових і роликів конвеєрів. Для контролю руху застосовуються оптичні датчики проходження тари, а навантаження електроприводів відстежується за допомогою датчиків струму, інтегрованих у частотні перетворювачі (п. **2.3.1, 2.3.2**) (Малюнок 2.2.6).

PLC (Малюнок 2.2.7) регулює швидкість руху транспортних систем, а інформація про режими роботи та енергоспоживання передається до SCADA-системи (Малюнок 2.2.8).

На етапі вертикального переміщення тара надходить до елеваторів, які компенсують різницю у висотах між окремими вузлами лінії. Елеватори є одними з найбільш енергоємних елементів транспортної системи. Для контролю їх роботи використовуються датчики положення та руху тари,

інкрементальні енкодери для контролю швидкості обертання, а також датчики струму електродвигунів (п. 2.3.1, 2.3.2, 2.3.6). PLC здійснює керування елеваторами через частотні перетворювачі, а SCADA забезпечує моніторинг навантажень і фіксацію простоїв.

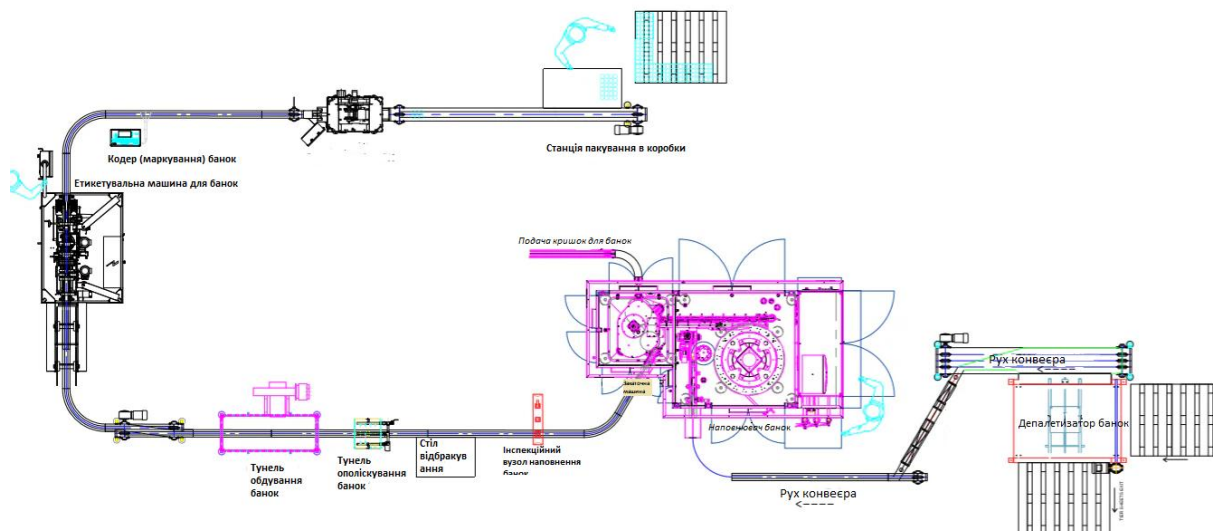
Після транспортування тара надходить до мийної установки, де здійснюється її очищення та підготовка до наповнення. На цьому етапі значну частку енергоспоживання формують насоси циркуляції мийних розчинів і нагрівальні елементи. Контроль роботи обладнання здійснюється за допомогою локальних датчиків та PLC, а ключові параметри енергоспоживання і стану агрегатів передаються до SCADA-системи для аналізу (п. 2.3.1, 2.3.5).

Наповнювальний блок є центральним вузлом лінії розливу і вимагає високої точності синхронізації транспортних механізмів. На цьому етапі застосовуються датчики рівня та положення, а також пневматичні системи, параметри яких контролюються через PLC (п. 2.3.3, 2.3.4). SCADA-система відображає стан наповнювального блоку в режимі реального часу та фіксує аварійні ситуації. Після наповнення тара проходить етап закупорювання, де використовуються пневматичні приводи та системи контролю тиску і витрати стисненого повітря (п. 2.3.3). Далі здійснюється контроль якості продукції та її пакування. На завершальному етапі електроприводи пакувальної ділянки керуються PLC, а SCADA забезпечує моніторинг продуктивності та облік енергоспоживання (п. 2.3.5, 2.3.6). Таким чином, технологічний процес лінії розливу являє собою послідовний ланцюг операцій, у межах якого кожен етап тісно пов'язаний із відповідними засобами автоматизації та моніторингу. Подальший детальний розгляд датчиків, програмованих логічних контролерів і SCADA-системи здійснюється в підпунктах 2.3, де ці елементи аналізуються з точки зору їх впливу на енергоефективність та надійність роботи лінії.

2.2.1 Загальна структура лінії розливу

Для того, щоб уявити фінальну структуру, провів цифрами кожний етап та продемонстровано на мал 2.1

1. подача та орієнтація порожньої тари;
2. система транспортування та вертикального переміщення тари (конвеєри та елеватори);
3. мийна установка;
4. наповнювальний блок;
5. вузол закупорювання;
6. контроль якості;
7. пакувальна ділянка.



Малюнок 2.1 – Схема розташування основних вузлів лінії розливу

Усі зазначені елементи функціонують як єдиний технологічний ланцюг, порушення роботи якого на будь-якій ділянці призводить до зниження продуктивності всієї лінії.

2.2.2 Система транспортування та “ліфти” (елеватори)

Особливу роль у роботі лінії розливу відіграє система транспортування тари, яка забезпечує безперервне переміщення пляшок або банок між окремими технологічними зонами. До її складу входять:

- *горизонтальні стрічкові та роликові конвеєри;*

- *вертикальні та похилі елеватори (“ліфти”) для підйому тари між рівнями обладнання;*
- *накопичувальні зони.*

Елеватори використовуються для компенсації різниці у висотах між мийними, наповнювальними та пакувальними машинами. Кожен елеватор, як правило, оснащений асинхронним електродвигуном потужністю 2,2–7,5 кВт, що працює у безперервному режимі протягом зміни.

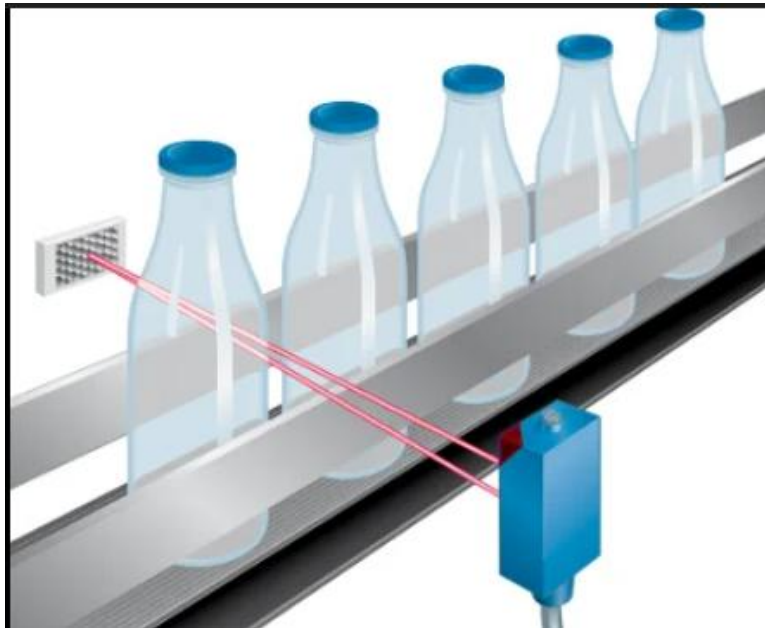


Рисунок 2.1.1 - Система транспортування тари з використанням конвеєрів та елеваторів

2.2.3 Датчики положення та руху тари

Для контролю переміщення пляшок або банок на елеваторах і конвеєрах використовуються індуктивні та оптичні датчики положення, які дозволяють фіксувати наявність або відсутність тари, а також напрямок її руху. У промислових системах автоматизації подібних ліній типовими є:

- індуктивні датчики серій *Schneider Electric XS*, *IFM IFS*, *Pepperl+Fuchs NBB* - застосовуються для виявлення металевих елементів транспортувальних механізмів;
- фотоелектричні датчики (оптичні бар'єри та відбивні датчики) серій *SICK WTB/WTF*, *OMRON E3Z*, *Keyence PZ* - використовуються для контролю проходження тари та виявлення її скупчення.



- Малюнок 2.2 - Приклад роботи фотоелектричного датчика Sick



Малюнок 2.2.1 - Фотоелектричний датчик Sick

Такі датчики забезпечують високу швидкодію та надійність у запилених і вологих умовах, характерних для пивоварного виробництва.

Для запобігання заторам і перевантаженням елеваторів у накопичувальних зонах застосовуються ультразвукові датчики рівня, які дозволяють визначати ступінь заповнення тари. У якості типових рішень можуть використовуватися ультразвуковий датчик рівня, *Banner Engineering T30* - для безконтактного контролю рівня тари;

2.2.4 Датчики перевантаження електродвигунів

Контроль стану електроприводів елеваторів і конвеєрів здійснюється за допомогою датчиків струму та теплових захистів, які дозволяють виявляти перевантаження і запобігати аварійним зупинкам. У промислових умовах типовими є:

- струмові трансформатори та датчики струму *Schneider Electric TeSys, LEM, Siemens 3RB*;
- теплові реле захисту двигунів, інтегровані в пускачі або частотні перетворювачі.

Ці засоби забезпечують своєчасне виявлення перевищення допустимих навантажень та формування аварійних сигналів у системі керування.

Частотні перетворювачі для регулювання швидкості



Малюнок 2.2.2

Регулювання швидкості роботи елеваторів і конвеєрів здійснюється за допомогою частотних перетворювачів, що дозволяє адаптувати режими роботи до поточного стану лінії та зменшити енергоспоживання. Типовими рішеннями для таких задач є Schneider Electric Altivar ATV630 (малюнок 2.2.3)



Малюнок 2.2.3 Schneider Electric Altivar ATV630

Частотні перетворювачі забезпечують плавний пуск і зупинку електродвигунів, зменшують механічні навантаження та дозволяють оптимізувати споживання електроенергії при змінних режимах роботи.

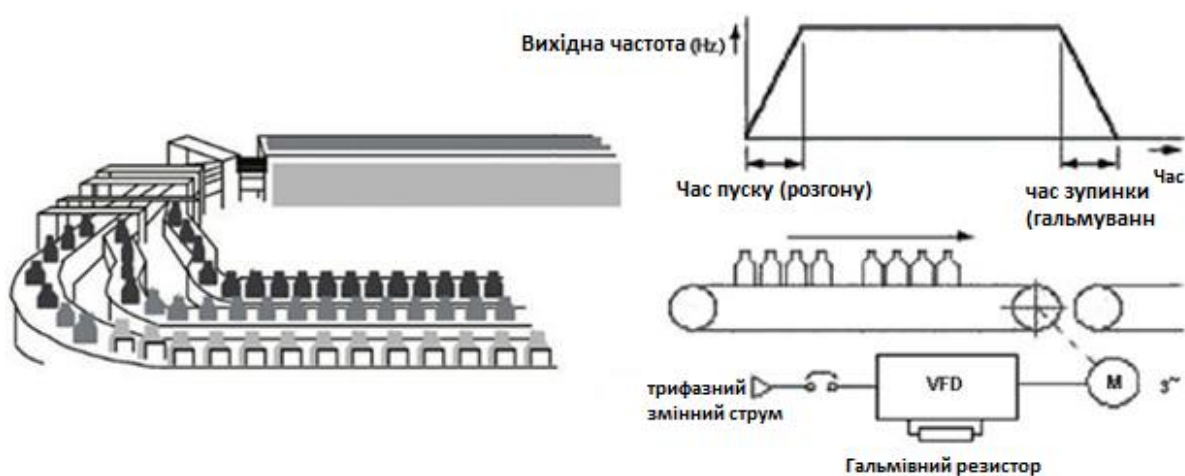
Отримані сигнали використовуються для автоматичного регулювання швидкості конвеєрів або тимчасової зупинки подачі тари з попередніх ділянок.

Саме елеватори є одними з найбільш енергоємних елементів транспортної системи, оскільки працюють у режимі підвищеного навантаження та часто не зупиняються навіть у випадку короточасних простоїв суміжного обладнання.

Електроживлення від трифазної мережі змінного струму подається на вхідні клеми частотного перетворювача (мал 2.2.3) **R/L1, S/L2, T/L3** через автоматичний вимикач, який забезпечує захист від коротких замикань та перевантажень. Вихідні клеми перетворювача (мал 2.2.3) **U/T1, V/T2, W/T3** з'єднуються безпосередньо з клемми трифазного електродвигуна. Корпус частотного перетворювача та електродвигуна обов'язково підключаються до захисного заземлення.

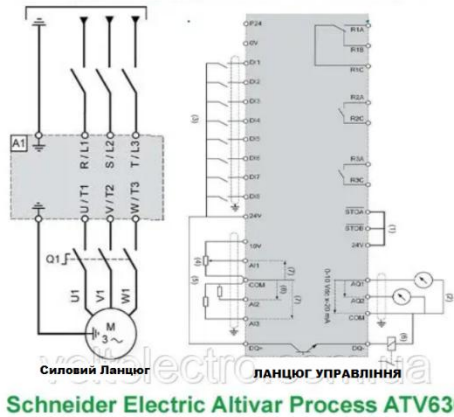
Керування роботою електродвигуна здійснюється через ланцюги керування частотного перетворювача. Для формування команд пуску та зупинки використовуються дискретні входи DI, на які подається керувальна напруга від вбудованого джерела 24 В. Регулювання швидкості обертання двигуна реалізується за допомогою аналогового сигналу 0–10 В або 4–20 мА, що подається на аналогові входи AI. Опорна напруга **10 В**, вбудована в частотний перетворювач, може використовуватися для підключення потенціометра малюнок 2.2.3

Для забезпечення функціональної безпеки застосовується система Safe Torque Off (STO), підключена до відповідних входів перетворювача, яка забезпечує швидке та безпечне відключення крутного моменту електродвигуна без повного знеструмлення пристрою. Таким чином, використання частотного перетворювача дозволяє реалізувати плавний пуск і зупинку електродвигуна, точне регулювання швидкості, зниження енергоспоживання та підвищення надійності роботи електропривода.



Малюнок 2.2.4. Електроприводи конвеєрів із частотним регулюванням швидкості

СХЕМА ПІДКЛЮЧЕННЯ ЧАСТОТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА



Малюнок 2.2.5 Схема підключення частотного перетворювача

Після транспортування тара надходить до мийної установки, де здійснюється очищення та підготовка до наповнення. Мийні машини оснащені:

- насосами циркуляції мийних розчинів (потужність 5–15 кВт);
- нагрівальними елементами;
- системами фільтрації.

Наповнювальний блок є ключовим вузлом лінії розливу і характеризується високими вимогами до синхронізації швидкостей. Він оснащений електроприводами, пневматичними системами та системами контролю рівня наповнення. Будь-яке відхилення у роботі цієї ділянки призводить до негайної зупинки всієї лінії. Таким чином, наведений опис технологічного процесу лінії розливу дозволяє чітко ідентифікувати основні етапи виробництва та пов'язані з ними зони підвищеного енергоспоживання, що створює підґрунтя для подальшого детального аналізу системи автоматизації та збору даних, розглянутого в розділі 2.3

2.3 Система автоматизації та збору даних лінії розливу

Для керування технологічним процесом лінії розливу на підприємстві «Carlsberg Україна» застосовується багаторівнева система автоматизації, що поєднує польовий рівень вимірювальних приладів, рівень локального керування та рівень диспетчерського контролю. Така архітектура дозволяє

забезпечити надійний збір технологічних і енергетичних даних, а також створює основу для подальшої інтеграції з SCADA-системою.

2.3.1 Контроль енергоспоживання електроприводів

Для контролю енергоспоживання електроприводів транспортних систем, елеваторів та допоміжного обладнання використовуються датчики струму та напруги, які дозволяють визначати фактичне навантаження електродвигунів у реальному часі. У промислових системах автоматизації харчової галузі типовими є:

- струмові трансформатори та датчики струму Schneider Electric TeSys,
- модулі вимірювання електричних параметрів, інтегровані у частотні перетворювачі Altivar або ABB ACS.

Отримані дані використовуються для формування сигналів перевантаження, аналізу режимів роботи обладнання та оцінки енергоефективності окремих ділянок лінії. Далі йде контроль самої швидкості двигуна

2.3.2 Контроль швидкості обертання двигунів

Швидкість обертання двигунів конвеєрів і елеваторів контролюється з метою синхронізації транспортних потоків і запобігання механічним перевантаженням. Для цього застосовуються:

- інкрементальні енкодери Pepperl+Fuchs ENI(малюнок 2.2.6)
- датчики обертів, інтегровані в частотні перетворювачі.



Малюнок 2.2.6 енкодер Pepperl+Fuchs ENI MNI40N

Контроль швидкості дозволяє адаптувати роботу транспортних механізмів до фактичного стану лінії та зменшувати енергоспоживання при зниженому навантаженні. Далі потрібно порівняти тиск та витрати в пневматичних і гідравлічних системах

2.3.3 Датчики тиску та витрати в пневматичних і гідравлічних системах

Для забезпечення стабільної роботи пневматичних і гідравлічних систем, що використовуються у вузлах закупорювання, транспортування та допоміжних механізмах, застосовуються **датчики тиску та витрати**. Типовими рішеннями є:

- *датчики тиску (IFM PN-series, Schneider Electric HM);*
- *датчики витрати стисненого повітря (IFM SD-series,);*
- *манометри з електричним виходом для передачі сигналів у ПЛК.*

Контроль цих параметрів дозволяє виявляти витіки, нестабільні режими роботи та додаткові втрати енергії в пневматичних системах.

2.3.4 Програмовані логічні контролери та локальне керування

Збір сигналів від датчиків і керування окремими ділянками лінії розливу здійснюється за допомогою програмованих логічних контролерів (PLC), встановлених безпосередньо у шафах керування. Контролери виконують такі функції:

- *обробка дискретних і аналогових сигналів;*
- *реалізація алгоритмів керування електроприводами;*
- *формування аварійних та попереджувальних сигналів;*
- *передача даних на верхній рівень керування.*

PLC забезпечують автономну роботу окремих ділянок лінії та слугують проміжною ланкою між польовими пристроями і SCADA-системою.



Малюнок 2.2.7 програмно логічний контролер

2.3.5 Система моніторингу

Централізований збір, візуалізація та аналіз технологічних і енергетичних даних здійснюється за допомогою SCADA-системи, яка забезпечує:

- *відображення стану обладнання в реальному часі;*
- *архівацію даних;*
- *формування звітів і трендів;*
- *підтримку аварійної сигналізації.*

Передача даних між PLC та SCADA реалізується з використанням промислових протоколів зв'язку, зокрема Modbus TCP та Ethernet/IP, що забезпечують надійний і швидкий обмін інформацією в режимі реального часу та можливість масштабування системи.



Малюнок 2.2.8 Монітор контролю температури в Scada

2.3.6 Енергоспоживання та проблемні зони лінії розливу

Проведений аналіз енергоспоживання лінії розливу показує, що найбільшу частку електроенергії споживають транспортні системи та елеватори, мийні установки, компресорне обладнання та допоміжні механізми. Саме ці елементи формують основне навантаження на електричну мережу підприємства та визначають загальний рівень енерговитрат.

До впровадження SCADA-системи основними проблемами були відсутність централізованого контролю енергоспоживання, робота елеваторів у холостому режимі, несинхронізовані швидкості конвеєрів, а також неможливість оперативного виявлення перевантажень і простоїв обладнання. У сукупності це призводило до перевитрат електроенергії, зростання експлуатаційних витрат та зниження загальної ефективності виробничого процесу.

2.4. Система автоматизації лінії розливу після впровадження SCADA

Після впровадження SCADA-системи автоматизація лінії розливу на підприємстві «Carlsberg Україна» перейшла на якісно новий рівень, що характеризується централізованим збором даних, інтегрованим управлінням технологічними процесами та можливістю комплексного аналізу енергоспоживання. SCADA-система стала верхнім рівнем ієрархії

автоматизації, об'єднавши локальні контролери, датчики та виконавчі механізми в єдиний інформаційний простір.

2.4.1 Архітектура SCADA-системи

Побудова системи автоматизації лінії розливу після впровадження SCADA здійснюється за класичною трирівневою архітектурою, яка є загальноприйнятою для промислових підприємств харчової галузі та забезпечує чіткий розподіл функцій між рівнями керування. Такий підхід дозволяє реалізувати надійну, масштабовану та гнучку систему моніторингу і керування без порушення базових технологічних процесів.

2.4.2 Польовий рівень (рівень датчиків і виконавчих механізмів)

Польовий рівень є нижнім рівнем архітектури SCADA-системи та безпосередньо взаємодіє з технологічним обладнанням лінії розливу. На цьому рівні здійснюється первинний збір інформації про стан процесу та реалізація керуючих дій.

До складу польового рівня входять датчики положення та наявності тари (фотоелектричні та індуктивні датчики), встановлені на входах і виходах елеваторів, конвеєрів та накопичувальних зон, датчики швидкості обертання (інкрементальні енкодери), змонтовані на валах електродвигунів конвеєрів і підйомних механізмів датчики струму та напруги, що контролюють навантаження електроприводів елеваторів і транспортних систем, датчики тиску та витрати у пневматичних системах, які використовуються у вузлах закупорювання та допоміжних механізмах виконавчі механізми, зокрема електродвигуни, електромагнітні клапани, пневмоциліндри та частотні перетворювачі.

Сигнали від датчиків передаються до програмованих логічних контролерів у вигляді дискретних або аналогових сигналів (4–20 мА, 0–10 В, імпульсні сигнали), що забезпечує їх уніфіковану обробку на наступному рівні автоматизації.

Сам рівень локального керування реалізується за допомогою програмованих логічних контролерів (PLC), які встановлюються у шафах керування окремих ділянок лінії розливу. У межах даної архітектури як

базовий варіант використовується PLC середнього класу (наприклад, Schneider Electric Modicon серії M241/M262), що є типовим рішенням для подібних виробничих процесів.

PLC виконують такі основні функції:

- *прийом і обробка сигналів від датчиків польового рівня;*
- *реалізація алгоритмів керування електроприводами, елеваторами та конвеєрами;*
- *керування частотними перетворювачами для регулювання швидкості;*
- *формування аварійних та попереджувальних сигналів;*
- *передача технологічних і енергетичних даних на верхній рівень керування.*

Обмін даними між PLC та частотними перетворювачами здійснюється за промисловими протоколами (Modbus RTU або Modbus TCP), що дозволяє не лише керувати приводами, а й отримувати розширені діагностичні та енергетичні параметри без додаткових датчиків. А вже верхній рівень архітектури представлений SCADA-системою, яка виконує функції централізованого моніторингу, диспетчерського керування та аналітики. SCADA-сервер розміщується на промисловому комп'ютері або сервері підприємства та взаємодіє з PLC через промислову Ethernet-мережу.

Передача даних між PLC та SCADA здійснюється з використанням протоколів Modbus TCP або Ethernet/IP, що забезпечує високу швидкість обміну даними і надійність передачі також можливість масштабування системи робити інтеграцію додаткових вузлів без зміни базової архітектури.

На рівні SCADA реалізуються такі функції:

- *візуалізація технологічного процесу у вигляді мнемосхем;*
- *відображення стану обладнання та параметрів у реальному часі;*
- *архівація історичних даних;*
- *аналіз енергоспоживання;*
- *формування звітів і трендів;*
- *аварійна сигналізація та журнал подій.*

Далі переходячи до центрального збору даних та її візуалізації SCADA-система забезпечує безперервний збір технологічних і енергетичних параметрів з усіх ділянок лінії розливу. Дані від датчиків струму, напруги, швидкості, тиску та витрати надходять до PLC, де проходять первинну обробку, після чого передаються на SCADA-сервер.

На рівні SCADA реалізовано:

- *візуалізацію стану обладнання в реальному часі;*
- *відображення швидкостей роботи конвеєрів та елеваторів;*
- *контроль навантаження електроприводів;*
- *відображення аварійних і попереджувальних сигналів.*

Оператор отримує повну картину роботи лінії розливу з одного робочого місця, що значно скорочує час реагування на відхилення в роботі обладнання. Після чого ми бачимо інтеграцію енергомоніторів, які надають функцію моніторингу енергоспоживання. Що забезпечує централізований облік електроенергії, що споживається окремими механізмами та ділянками лінії розливу, зокрема елеваторами, транспортними системами та мийними установками.

Завдяки архівації даних та побудові трендів з'являється можливість аналізувати енергоспоживання у різні часові періоди, що в свою чергу дає можливість виявляти пікові навантаження, як результатом оцінювати вплив режимів роботи обладнання на загальні енерговитрати. Це створює основу для прийняття обґрунтованих управлінських рішень щодо оптимізації роботи лінії.

Після впровадження SCADA-системи управління роботою транспортних механізмів і елеваторів здійснюється з урахуванням фактичного стану лінії розливу. На основі сигналів від датчиків заповнення накопичувальних зон та швидкості руху тари SCADA передає керуючі команди до PLC, які регулюють швидкість електроприводів за допомогою частотних перетворювачів.

Такий підхід дозволяє уникати роботи елеваторів у холостому режимі;

- *синхронізувати швидкості конвеєрів;*
- *зменшувати механічні та енергетичні втрати;*

- *підвищувати стабільність роботи всієї лінії.*

2.4.3 Аварійна сигналізація та аналітика подій

SCADA-система забезпечує розширені функції аварійної сигналізації, включаючи класифікацію подій за рівнем важливості, ведення журналів аварій та фіксацію часу простоїв обладнання. Наявність історичних даних дозволяє проводити аналіз причин відмов і визначати найбільш проблемні ділянки лінії розливу.

Завдяки цьому експлуатаційний персонал отримує можливість переходу від реактивного обслуговування до **превентивного підходу**, що сприяє зменшенню кількості аварійних зупинок і підвищенню загальної ефективності виробництва.

2.4.4 Порівняльна оцінка змін після впровадження SCADA

У порівнянні з системою автоматизації до впровадження SCADA, нова архітектура забезпечила:

- *централізований контроль технологічних і енергетичних параметрів;*
- *підвищення прозорості енергоспоживання;*
- *зменшення простоїв обладнання;*
- *покращення координації роботи окремих ділянок лінії.*

У результаті SCADA-система стала не лише інструментом диспетчерського контролю, а й ключовим елементом управління енергоефективністю лінії розливу.

Таким чином, впровадження SCADA-системи на лінії розливу підприємства «Carlsberg Україна» забезпечило перехід від локального, фрагментарного керування до інтегрованої системи автоматизації з централізованим моніторингом і аналітикою. Це створило передумови для зниження енергоспоживання, підвищення надійності роботи обладнання та загальної ефективності виробничого процесу.

2.5. Узагальнення результатів впровадження SCADA-системи та оцінка ефективності

Проведений аналіз технологічного процесу лінії розливу та системи автоматизації на підприємстві «Carlsberg Україна» свідчить, що впровадження SCADA-системи суттєво підвищує рівень керованості виробничого процесу та створює передумови для зростання енергоефективності. На відміну від попередньої моделі керування, яка базувалася на локальних контролерах і фрагментарному моніторингу, SCADA забезпечує інтеграцію всіх технологічних ділянок у єдиний інформаційний простір.

Одним із ключових результатів впровадження SCADA є забезпечення прозорості енергоспоживання. Централізований збір і архівація даних дозволяють отримувати об'єктивну інформацію щодо навантаження електроприводів, режимів роботи елеваторів, транспортних систем, мийних установок та допоміжного обладнання. Це, у свою чергу, створює можливість виявлення зон підвищених енерговитрат і прийняття обґрунтованих рішень щодо оптимізації режимів роботи обладнання.

Важливим ефектом є підвищення стабільності роботи лінії розливу. Завдяки використанню SCADA-системи забезпечується оперативне виявлення аварійних і передаварійних ситуацій, контроль простоїв та аналіз причин відмов обладнання. Перехід від реактивного реагування до превентивного підходу в обслуговуванні дозволяє зменшити кількість незапланованих зупинок та підвищити загальну надійність виробничого процесу.

З точки зору енергоефективності впровадження SCADA створює умови для зниження непродуктивних витрат електроенергії, зокрема за рахунок усунення роботи транспортних механізмів і елеваторів у холостому режимі, синхронізації швидкостей конвеєрів та оптимізації навантаження електроприводів. За результатами типових промислових впроваджень у харчовій та пивоварній галузях подібні заходи дозволяють досягати зменшення енергоспоживання допоміжних механізмів у межах 5–15 %, що має суттєве економічне значення в масштабах підприємства.

Крім того, SCADA-система виступає основою для подальшого розвитку системи енергоменеджменту підприємства. Накопичення історичних даних, формування звітів і трендів, а також можливість інтеграції з іншими інформаційними системами (EMS, ERP) відкривають перспективи впровадження більш складних методів аналізу, прогнозування та оптимізації енергоспоживання.

Таким чином, впровадження SCADA-системи на лінії розливу підприємства «Carlsberg Україна» є доцільним та ефективним рішенням, яке забезпечує підвищення енергоефективності, надійності та керованості виробничого процесу. Отримані результати підтверджують, що використання SCADA є важливим елементом сучасної стратегії цифрової трансформації промислових підприємств і може бути рекомендоване для подальшого масштабування на інші виробничі ділянки.

РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ІНТЕГРОВАНОЇ SCADA-СИСТЕМИ ДЛЯ ЛІНІЇ РОЗЛИВУ

У межах даної магістерської роботи проєктування інтегрованої SCADA-системи здійснюється на основі аналізу реального технологічного процесу лінії розливу пивоварної продукції підприємства «Carlsberg Україна». Зважаючи на складність виробничого комплексу та значну кількість взаємопов'язаних технологічних ділянок, доцільним є зосередження уваги на одному ключовому підпроцесі, який має найбільший вплив на енергоспоживання та стабільність роботи лінії. Для подальшого проєктування було обрано підпроцес транспортування тари, що включає горизонтальні конвеєри, вертикальні елеватори, а також систему стисненого повітря, яка використовується для керування пневматичними механізмами на суміжних ділянках. Саме цей підпроцес характеризується значною кількістю електроприводів, безперервним режимом роботи та високою питомою часткою споживання електроенергії у загальному енергетичному балансі лінії розливу.

Вибір даного підпроцесу обґрунтований тим, що робота транспортних механізмів і елеваторів безпосередньо впливає на продуктивність усієї лінії, а також створює потенціал для оптимізації енергоспоживання шляхом регулювання швидкості електроприводів, усунення холостих режимів та синхронізації роботи суміжних ділянок. Додатково система стисненого повітря є одним із прихованих джерел енергетичних втрат, що робить її доцільним об'єктом для інтеграції в систему енергомоніторингу.

Проєктована SCADA-система розглядається як верхній рівень ієрархії автоматизації, що об'єднує датчики польового рівня, програмовані логічні контролери та виконавчі механізми в єдиний інформаційний простір. Основним завданням SCADA є не лише візуалізація технологічних параметрів, а й забезпечення умов для аналізу енергоспоживання, формування аварійних і попереджувальних повідомлень, а також підтримка прийняття рішень щодо оптимізації режимів роботи обладнання. Таким чином, у межах розділу 3 розробляється функціональна схема автоматизації підпроцесу транспортування тари з урахуванням інтеграції SCADA-системи, що дозволяє продемонструвати практичне застосування сучасних засобів автоматизації для підвищення енергоефективності харчового виробництва.

3.1 Вибір об'єкта автоматизації та постановка задач

У межах розроблення та впровадження інтегрованої SCADA-системи для підвищення енергоефективності підприємства «Carlsberg Україна» ключовим етапом є обґрунтований вибір об'єкта автоматизації та формування комплексу задач, які повинна вирішувати система автоматизованого керування.

Аналіз технологічного процесу лінії розливу, виконаний у попередньому розділі, показав, що найбільш енергоємними та критичними з точки зору стабільності роботи є допоміжні транспортні та інженерні системи, а саме елеватори, транспортні конвеєри та система стисненого повітря. Саме ці підсистеми характеризуються безперервним режимом роботи, значною кількістю електроприводів і пневматичних виконавчих механізмів, а також високою часткою енергоспоживання у загальному балансі лінії розливу.

Далі переходимо до вибору елеваторів як об'єкта автоматизації. Елеватори забезпечують вертикальне переміщення тари між окремими технологічними зонами лінії розливу та працюють у режимі змінного навантаження залежно від продуктивності суміжного обладнання. У традиційних системах керування елеватори часто функціонують у холостому режимі або з надмірною швидкістю, що призводить до перевитрат електроенергії, підвищеного зношування механічних вузлів та збільшення кількості аварійних зупинок. Вибір елеваторів як об'єкта автоматизації зумовлений можливістю реалізації ефективного керування їх роботою на основі даних про фактичний стан транспортного потоку, що безпосередньо впливає на зниження енергоспоживання та підвищення надійності системи.

Транспортні системи лінії розливу, до складу яких входять стрічкові та роликові конвеєри, формують безперервний потік тари між технологічними вузлами. Вони оснащені великою кількістю електроприводів, що працюють у синхронізованому режимі. Несинхронізована робота окремих ділянок призводить до утворення заторів, простоїв і нераціонального використання електроенергії. Автоматизація транспортних систем із використанням SCADA дозволяє забезпечити адаптивне регулювання швидкостей конвеєрів, синхронізацію роботи з елеваторами та іншими ділянками лінії,

а також централізований моніторинг енергоспоживання кожного електроприводу.

Переходимо до Системи стисненого повітря яка - відіграє важливу роль у роботі лінії розливу, оскільки забезпечує функціонування пневматичних приводів у вузлах наповнення, закупорювання та допоміжних механізмах. Компресорне обладнання належить до найбільш енергоємних споживачів електроенергії на підприємстві, а витрати стисненого повітря та нераціональні режими роботи часто залишаються непоміченими без системи централізованого моніторингу. Інтеграція системи стисненого повітря в SCADA-середовище дозволяє здійснювати контроль тиску, витрати та стану компресорного обладнання в режимі реального часу, своєчасно виявляти втрати та оптимізувати режими роботи, що безпосередньо впливає на зниження енерговитрат.

З урахуванням обраних об'єктів автоматизації основними задачами розроблюваної SCADA-системи є:

1. Забезпечення централізованого збору технологічних і енергетичних даних з елеваторів, транспортних систем та системи стисненого повітря;
2. Моніторинг енергоспоживання електроприводів і компресорного обладнання в режимі реального часу;
3. Реалізація адаптивного керування швидкістю електроприводів елеваторів і конвеєрів з метою уникнення холостих режимів роботи;
4. Синхронізація роботи транспортних механізмів відповідно до фактичного стану лінії розливу;
5. Контроль параметрів стисненого повітря та виявлення неефективних режимів і витоків;
6. Формування аварійної та попереджувальної сигналізації;
7. Архівація даних і формування аналітичних звітів для оцінки енергоефективності.

У межах дипломної роботи автоматизації підлягає не вся лінія розливу в цілому, а окремий технологічний підпроцес, який має істотний вплив на енергоефективність та стабільність роботи виробничої лінії.

Як об'єкт автоматизації обрано транспортно-підйомну підсистему лінії розливу, що включає: 1 Елеватори для вертикального переміщення тари; 2 Транспортні конвеєрні системи; 3 Систему стисненого повітря, яка забезпечує роботу виконавчих механізмів.

Обраний підпроцес характеризується:

- значною кількістю електроприводів;
- змінними режимами навантаження;
- високою питомою часткою в загальному енергоспоживанні лінії.

Впровадження SCADA-системи для даного підпроцесу дозволяє реалізувати централізований моніторинг, енергетичний аналіз та оптимізацію режимів роботи обладнання, що є ключовою метою даної роботи.

Таким чином, вибір елеваторів, транспортних систем і системи стисненого повітря як об'єктів автоматизації є обґрунтованим з точки зору їх впливу на загальне енергоспоживання та ефективність роботи лінії розливу. Реалізація SCADA-системи для зазначених підсистем створює основу для комплексного управління енергоефективністю підприємства «Carlsberg Україна».

3.2.1 Нормативна база та обґрунтування вибору стандартів для побудови функціональної схеми автоматизації

При проектуванні функціональної схеми автоматизації транспортно-підйомної підсистеми лінії розливу підприємства «Carlsberg Україна» було використано нормативні документи системи “ЄСКД” та стандартів автоматизації, які регламентують правила побудови, оформлення та читабельності схем автоматизації на промислових об'єктах. Застосування стандартів є необхідним для забезпечення однозначного трактування елементів схеми, уніфікації умовних позначень, а також можливості подальшого використання схеми під час монтажу, експлуатації та модернізації системи автоматизації.

- ГОСТ 21.404-85 «Автоматизація технологічних процесів. Умовні графічні позначення приладів і засобів автоматизації»

При побудові функціональної схеми автоматизації в першу чергу використовується ГОСТ 21.404-85, оскільки він регламентує умовні графічні позначення датчиків, приладів вимірювання, регулюючих та керуючих пристроїв, зв'язків між елементами автоматизації. У даному проєкті цей стандарт застосовується для відображення на схемі датчиків наявності та руху тари, датчиків струму електродвигунів, датчиків тиску та витрати стисненого повітря, виконавчих механізмів (електроприводів, пневмоклапанів). Таким чином, ГОСТ 21.404 забезпечує коректне відображення польового рівня автоматизації, який безпосередньо взаємодіє з технологічним процесом.

- ГОСТ 21.408-2013 «Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів»

Наступним базовим нормативним документом є ГОСТ 21.408-2013, який визначає правила виконання функціональних схем автоматизації та порядок розміщення елементів на схемі. Зазначений стандарт регламентує структуру функціональної схеми, порядок з'єднання приладів і контролерів, відображення каналів передачі сигналів, логіку взаємодії між рівнями автоматизації. У межах даного проєкту ГОСТ 21.408 застосовується для формування ієрархії «датчик - PLC - SCADA», відображення каналів зв'язку між обладнанням, логічного поділу схеми на функціональні блоки. Використання цього стандарту дозволяє забезпечити послідовність та логічність побудови схеми, що є критично важливим для складних транспортно-підйомних систем.

- ДСТУ ГОСТ 2.701:2006 «Схеми. Види та типи. Загальні вимоги»

ДСТУ ГОСТ 2.701 визначає загальні вимоги до виконання схем, їх типи та призначення. У даному проєкті цей стандарт використовується для визначення типу схеми як функціональної схеми автоматизації, вибору рівня деталізації, правильного оформлення назви та позначення схеми. Застосування цього стандарту дозволяє коректно класифікувати розроблювану схему в складі проєктної документації.

- ДСТУ ГОСТ 2.702:2006 «Схеми. Правила виконання»

ДСТУ ГОСТ 2.702 встановлює правила побудови та виконання схем незалежно від їх типу. У процесі проектування даної функціональної схеми цей стандарт використовується для визначення правил зображення зв'язків між елементами і позначення напрямків передачі сигналів, уніфікації графічного представлення. Завдяки цьому забезпечується зручність читання схеми та зменшується ризик помилкового трактування її елементів.

3.2.2 Структура функціональної схеми автоматизації

Функціональна схема автоматизації транспортно-підйомної підсистеми лінії розливу розроблена з урахуванням особливостей технологічного процесу та вимог до енергоефективності обладнання. При її побудові застосовано ієрархічний принцип організації, відповідно до якого схема умовно поділяється на три горизонтальні зони, що відповідають основним рівням автоматизації: технологічному рівню, рівню локального керування та рівню диспетчерського керування.

Поділ функціональної схеми на зазначені зони дозволяє чітко відобразити послідовність формування, обробки та використання інформації в системі автоматизації, а також забезпечує наочність взаємодії між технологічним обладнанням, засобами вимірювання, програмованим логічним контролером та SCADA-системою. Такий підхід відповідає загальноприйнятим принципам проектування систем автоматизації та вимогам нормативних документів.

- Верхня зона - технологічний рівень (об'єкти керування та вимірювання)

У верхній частині функціональної схеми автоматизації розміщено технологічні об'єкти транспортно-підйомної підсистеми лінії розливу, які безпосередньо беруть участь у переміщенні тари між окремими ділянками виробництва. До них належать горизонтальні транспортні конвеєри, вертикальні елеватори (підйомники тари), а також пневматична система, що забезпечує роботу виконавчих механізмів.

З огляду на безперервний характер роботи лінії розливу та високі вимоги до стабільності процесу, на технологічному рівні передбачено

встановлення первинних перетворювачів, призначених для контролю ключових параметрів процесу. Так, для фіксації наявності та руху тари на конвеєрах застосовано фотоелектричні датчики наявності тари типу SICK WTB, які відзначаються високою швидкістю, стійкістю до забруднень та надійною роботою у вологих умовах, характерних для харчового виробництва.

Контроль швидкості обертання валів елеваторів реалізовано за допомогою інкрементальних енкдерів, що дозволяє отримувати точну інформацію про режим роботи підйомних механізмів і забезпечувати синхронізацію транспортних потоків. Для оцінки енергоспоживання та виявлення перевантажень електроприводів використовуються датчики струму з аналоговим вихідним сигналом 4–20 мА, які формують безперервний вимірювальний сигнал, зручний для подальшої обробки в системі керування.

Стан пневматичної системи контролюється за допомогою датчиків тиску та витрати стисненого повітря серій IFM PN та IFM SD, що дозволяє своєчасно виявляти витіки, нестабільні режими роботи та додаткові енергетичні втрати. Таким чином, на технологічному рівні формується повний набір первинних даних, які відображають як поточний стан процесу, так і рівень споживання енергоресурсів.

- **Середня зона - рівень локального керування (шафа керування)**

Середня частина функціональної схеми відповідає рівню локального керування та представлена програмованим логічним контролером Schneider Electric Modicon M262, який встановлюється у шафі керування транспортно-підйомної підсистеми. Вибір даного контролера зумовлений його достатньою обчислювальною потужністю, підтримкою сучасних промислових протоколів зв'язку та можливістю інтеграції з системами енергомоніторингу.

До складу контролера входять модулі дискретних входів (DI), які використовуються для прийому сигналів від фотоелектричних датчиків наявності тари та кінцевих вимикачів, а також модулі аналогових входів (AI), призначені для обробки сигналів 4–20 мА від датчиків струму, тиску

та витрати. Модулі дискретних виходів (DO) забезпечують формування керуючих сигналів для виконавчих механізмів.

Керування електроприводами конвеєрів і елеваторів здійснюється через частотні перетворювачі Schneider Electric Altivar, які підключені до PLC за протоколами Modbus RTU або Modbus TCP. Таке рішення дозволяє реалізувати плавне регулювання швидкості електродвигунів, зменшити пускові струми та оптимізувати енергоспоживання. Крім того, використання цифрового зв'язку з частотними перетворювачами забезпечує передачу розширених діагностичних даних, зокрема інформації про навантаження, аварійні стани та поточні режими роботи.

- **Нижня зона - рівень диспетчерського керування (SCADA)**

Нижня частина функціональної схеми відповідає верхньому рівню автоматизації та представлена SCADA-системою, встановленою на промисловому комп'ютері робочого місця оператора. Обмін даними між PLC Modicon M262 та SCADA-системою реалізується через промислову Ethernet-мережу з використанням протоколів Modbus TCP або OPC UA, що забезпечує високу швидкість передачі даних, надійність з'єднання та можливість подальшого розширення системи.

SCADA-система виконує функції централізованого збору, візуалізації та архівації даних. На екранах оператора відображаються поточні стани транспортних механізмів, швидкості електроприводів, навантаження двигунів, параметри пневматичної системи, а також аварійні й попереджувальні повідомлення. Наявність архівів і трендів дозволяє аналізувати динаміку енергоспоживання та оцінювати ефективність роботи транспортно-підйомної підсистеми в різні періоди часу.

3.3 Програмно-апаратна реалізація системи керування

У даному підпункті розглядається програмно-апаратна реалізація системи автоматизованого керування транспортно-підйомною підсистемою лінії розливу підприємства «Carlsberg Україна», побудованої з використанням сучасних засобів промислової автоматизації та інтегрованої у SCADA-систему моніторингу й аналізу енергоспоживання.

3.3.1 Вибір програмованого логічного контролера

Ключовим елементом системи локального керування є програмований логічний контролер **Schneider Electric Modicon M262**, який обрано з урахуванням вимог до продуктивності, надійності, масштабованості та підтримки сучасних протоколів обміну даними.

Застосування контролера Modicon M262 є доцільним для транспортно-підйомних систем середнього рівня складності, оскільки він забезпечує:

- *обробку дискретних та аналогових сигналів у реальному часі;*
- *підтримку високошвидкісних лічильних входів для роботи з енкодерами;*
- *інтегровану підтримку протоколів Modbus TCP, Modbus RTU та OPC UA;*
- *можливість прямої інтеграції з SCADA-системами без використання додаткових шлюзів.*

Таким чином, вибір даного контролера дозволяє реалізувати як локальне керування обладнанням, так і централізований моніторинг параметрів процесу та енергоспоживання.

3.3.2 Конфігурація модулів вводу-виводу

Для забезпечення взаємодії між технологічним обладнанням та контролером використовується стандартна конфігурація модулів вводу-виводу, що відповідає структурі функціональної схеми автоматизації (див. п. 3.2).

У системі застосовуються:

- *дискретні входи (DI) - для прийому сигналів від фотоелектричних та індуктивних датчиків наявності тари, кінцевих вимикачів та сигналів стану обладнання;*
- *аналогові входи (AI) - для обробки сигналів стандарту 4–20 мА від датчиків струму, тиску та витрати стисненого повітря;*
- *дискретні виходи (DO) - для керування пуском/зупинкою виконавчих механізмів і передачі команд на частотні перетворювачі;*

- комунікаційні порти Ethernet та RS-485 - для організації обміну даними з частотними перетворювачами та SCADA-системою.

Така структура модулів забезпечує універсальність рішення та дозволяє легко розширювати систему у разі підключення додаткових технологічних вузлів.

3.3.3 Реалізація керування електроприводами

Керування електроприводами конвеєрів і елеваторів здійснюється за допомогою частотних перетворювачів Schneider Electric Altivar, які забезпечують плавний пуск, регулювання швидкості та зниження пускових струмів.

Зв'язок між PLC Modicon M262 та частотними перетворювачами реалізовано через протокол Modbus RTU або Modbus TCP, що дозволяє:

- задавати швидкість обертання електродвигунів;*
- контролювати струм навантаження та споживану потужність;*
- отримувати інформацію про аварійні стани та діагностичні параметри.*

Використання частотного регулювання є одним із ключових факторів підвищення енергоефективності транспортно-підйомної підсистеми, оскільки дає змогу адаптувати режими роботи обладнання до фактичного навантаження.

3.3.4 Логіка обробки сигналів у PLC

У програмованому логічному контролері реалізується логіка обробки сигналів від польових пристроїв відповідно до алгоритмів керування транспортно-підйомною підсистемою.

Основні функції PLC включають:

- збір та первинну фільтрацію сигналів від датчиків;*

- *контроль граничних значень технологічних і енергетичних параметрів;*
- *формування команд керування для частотних перетворювачів;*
- *генерацію аварійних і попереджувальних сигналів;*
- *передачу узагальнених даних на верхній рівень керування.*

Алгоритми роботи побудовані таким чином, щоб забезпечити автономну роботу системи навіть у разі тимчасової відсутності зв'язку зі SCADA-рівнем.

3.3.5 Інтеграція з верхнім рівнем керування

Передача даних між контролером Modicon M262 та SCADA-системою здійснюється через промислову Ethernet-мережу з використанням протоколів Modbus TCP або OPC UA.

Такий підхід забезпечує:

- *високу швидкість обміну даними в режимі реального часу;*
- *надійність і захищеність передавання інформації;*
- *можливість масштабування системи та підключення додаткових вузлів.*

На основі отриманих від PLC даних SCADA-система формує візуалізацію процесу, архіви параметрів та аналітичні звіти, що безпосередньо використовуються для оцінки енергоефективності роботи транспортно-підйомної підсистеми. Таким чином, програмно-апаратна реалізація системи керування на базі контролера Schneider Electric Modicon M262 та частотних перетворювачів Altivar забезпечує надійну, гнучку та енергоефективну роботу транспортно-підйомної підсистеми лінії розливу. Обрана архітектура створює технічну основу для подальшої інтеграції з SCADA-системою та реалізації функцій моніторингу, аналізу й оптимізації енергоспоживання.

3.4 Реалізація SCADA-системи моніторингу та керування

У даному підпункті розглядається реалізація SCADA-системи, призначеної для централізованого моніторингу, диспетчерського керування та аналізу енергоспоживання транспортно-підйомної підсистеми лінії розливу

підприємства «Carlsberg Україна». SCADA-система виступає верхнім рівнем ієрархії автоматизації та забезпечує інтеграцію технологічних процесів, локальних контролерів і оператора в єдиний інформаційний простір.

3.4.1 Призначення та функції SCADA-системи

Основним призначенням SCADA-системи є забезпечення оперативного контролю за станом обладнання та технологічних параметрів у режимі реального часу, а також створення умов для аналізу та оптимізації енергоспоживання.

SCADA-система виконує такі функції:

- *централізований збір даних з PLC;*
- *візуалізацію технологічного процесу;*
- *архівацию технологічних і енергетичних параметрів;*
- *формування аварійних і попереджувальних повідомлень;*
- *побудову трендів та звітів;*
- *підтримку диспетчерського керування обладнанням.*

Таким чином, SCADA-система є ключовим інструментом підвищення прозорості роботи транспортно-підйомної підсистеми та основою для впровадження енергоменеджменту.

3.4.2 Архітектура та інтеграція SCADA-системи

SCADA-система реалізована на промисловому персональному комп'ютері, підключеному до локальної промислової мережі підприємства. Зв'язок між SCADA-сервером та програмованим логічним контролером Schneider Electric Modicon M262 здійснюється через Ethernet-мережу з використанням протоколів Modbus TCP або OPC UA.

Такий вибір протоколів обміну даними зумовлений:

- *високою швидкістю передачі даних;*
- *підтримкою стандартних механізмів кібербезпеки;*
- *можливістю масштабування системи;*
- *сумісністю з обладнанням різних виробників.*

PLC виступає сервером технологічних даних, а SCADA-система клієнтом, який здійснює опитування змінних та їх подальшу обробку.

3.4.3 Формування бази тегів SCADA-системи

Для забезпечення повноцінної роботи SCADA-системи формується база тегів, яка відображає всі ключові параметри транспортно-підйомної підсистеми.

До складу тегів входять:

- *дискретні теги стану конвеєрів і елеваторів (пуск, зупинка, аварія);*
- *аналогові теги швидкості електроприводів;*
- *значення струмів та навантаження електродвигунів;*
- *параметри тиску та витрати стисненого повітря;*
- *службові та діагностичні теги PLC і частотних перетворювачів.*

Кожен тег має визначені атрибути (тип даних, діапазон, одиниці вимірювання, порогові значення), що дозволяє коректно відображати параметри та формувати аварійні повідомлення.

3.4.4 Візуалізація технологічного процесу

Візуалізація в SCADA-системі реалізується у вигляді мнемосхем транспортно-підйомної підсистеми, які відображають:

- *конвеєрні лінії;*
- *елеватори;*
- *основні виконавчі механізми;*
- *стан пневматичної системи.*

На мнемосхемах у реальному часі відображаються:

- *режими роботи обладнання;*
- *швидкості електроприводів;*
- *навантаження двигунів;*
- *аварійні та попереджувальні сигнали.*

Графічний інтерфейс побудовано таким чином, щоб оператор міг швидко оцінити загальний стан системи та локалізувати проблемну ділянку без необхідності аналізу великої кількості числових даних.

3.4.5 Архівація даних та аналітика енергоспоживання

SCADA-система здійснює архівацію технологічних і енергетичних параметрів з фіксованим часовим інтервалом. Архівні дані використовуються для:

- *побудови трендів енергоспоживання;*
- *аналізу навантаження електроприводів;*
- *виявлення пікових значень споживання;*
- *оцінки ефективності режимів роботи обладнання.*

Наявність історичних даних дозволяє порівнювати показники до та після оптимізації режимів роботи, що є важливим інструментом для впровадження заходів з підвищення енергоефективності.

3.4.6 Аварійна сигналізація та журнал подій

У SCADA-системі реалізовано механізм аварійної сигналізації, який включає:

- *контроль граничних значень параметрів;*
- *класифікацію аварій за рівнем пріоритету;*
- *фіксацію часу виникнення та усунення аварій.*

Журнал подій дозволяє аналізувати причини зупинок і перевантажень обладнання, а також оцінювати вплив аварійних ситуацій на загальну ефективність роботи лінії розливу.

3.4.7 Роль SCADA-системи у підвищенні енергоефективності

Завдяки впровадженню SCADA-системи підприємство отримує можливість переходу від реактивного управління до аналітичного та превентивного підходу. Централізований контроль і аналіз даних дозволяють зменшувати час роботи обладнання у холостому режимі, оптимізувати швидкості

транспортних механізмів, знижувати пікові навантаження на електромережу;

підвищувати загальну енергоефективність виробничого процесу.

3.5 Оцінка ефективності впровадження SCADA-системи

Впровадження SCADA-системи в транспортно-підйомну підсистему лінії розливу підприємства «Carlsberg Україна» дозволило перейти від фрагментарного локального керування до інтегрованої системи моніторингу та аналізу технологічних і енергетичних параметрів.

Оцінка ефективності здійснюється шляхом порівняння стану системи автоматизації до та після впровадження SCADA з точки зору керованості процесів, прозорості енергоспоживання та надійності роботи обладнання.

Таблиця 3.1 – Порівняльна оцінка системи автоматизації до та після впровадження SCADA

Критерій оцінки	До впровадження SCADA	Після впровадження SCADA
Моніторинг обладнання	Локальний, розрізнений	Централізований, у реальному часі
Контроль енергоспоживання	Відсутній або періодичний	Безперервний, з архівацією даних
Робота елеваторів	Часто у холостому режимі	Адаптивна робота залежно від навантаження
Синхронізація конвеєрів	Налаштовується вручну	Автоматична, через PLC та ПЧ
Виявлення аварій	Реактивне, після зупинки	Оперативне, з аварійною сигналізацією
Час реагування оператора	Збільшений	Значно скорочений
Аналіз простоїв	Відсутній або ручний	Автоматичний журнал подій
Аналітика енергоспоживання	Неможлива	Тренди, звіти, пікові навантаження

Енергоефективність	Низька, неконтрольована	Підвищена за рахунок оптимізації режимів
Масштабованість системи	Обмежена	Висока, без зміни базової архітектури

Аналіз результатів впровадження SCADA-системи показує, що основний ефект досягається за рахунок підвищення прозорості технологічного процесу та енергоспоживання. Централізований моніторинг дозволив усунути роботу транспортних механізмів у неефективних режимах, зменшити кількість аварійних зупинок і скоротити час реагування обслуговуючого персоналу.

SCADA-система перетворила транспортно-підйомну підсистему з «чорного ящика» на керований та аналітично прозорий елемент виробничого процесу, що безпосередньо сприяє підвищенню енергоефективності та надійності лінії розливу.

3.6 Висновки до третього розділу

У третьому розділі дипломної роботи було розроблено та обґрунтовано інтегровану систему автоматизації і диспетчерського керування на основі SCADA для транспортно-підйомної підсистеми лінії розливу підприємства «Carlsberg Україна». Основну увагу зосереджено на підвищенні енергоефективності шляхом впровадження централізованого моніторингу та оптимізації режимів роботи технологічного обладнання.

У ході роботи було визначено об'єкт автоматизації, сформульовано задачі керування та обґрунтовано доцільність вибору транспортних систем, елеваторів і пневматичного обладнання як найбільш енергоємних елементів виробничого процесу. Це дозволило сконцентрувати технічні рішення на ділянках, що мають найбільший потенціал для зниження енергетичних витрат.

Розроблена функціональна схема автоматизації побудована відповідно до вимог чинних стандартів та реалізує класичну трирівневу архітектуру, яка включає технологічний рівень з первинними перетворювачами, рівень локального керування на базі програмованого логічного контролера Schneider Electric Modicon M262 та верхній рівень диспетчерського

керування з використанням SCADA-системи. Така структура забезпечує чіткий розподіл функцій між рівнями, надійність роботи та можливість подальшого масштабування системи.

У межах розділу було обґрунтовано вибір конкретних датчиків, виконавчих механізмів, частотних перетворювачів та засобів зв'язку, а також описано логіку передачі сигналів від польового рівня до робочого місця оператора. Застосування промислових протоколів зв'язку Modbus TCP та OPC UA забезпечує надійний обмін даними в режимі реального часу та інтеграцію SCADA-системи з іншими інформаційними підсистемами підприємства.

Запропонована система автоматизації дозволяє реалізувати централізований контроль параметрів технологічного процесу, оперативне виявлення аварійних ситуацій, аналіз енергоспоживання та формування звітності. Це створює передумови для зменшення роботи обладнання у холостому режимі, синхронізації транспортних потоків та підвищення загальної енергоефективності лінії розливу.

Таким чином, результати третього розділу підтверджують, що впровадження SCADA-системи є технічно обґрунтованим та доцільним рішенням для підвищення енергоефективності підприємств харчової промисловості. Розроблені технічні рішення можуть бути використані як основа для практичної реалізації систем автоматизації на аналогічних виробничих об'єктах.

Розділ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У процесі впровадження та експлуатації автоматизованих систем керування, зокрема SCADA-систем, на промислових підприємствах особливого значення набувають питання охорони праці та забезпечення безпеки персоналу. Застосування програмованих логічних контролерів, частотних перетворювачів, електроприводів і промислових комп'ютерів пов'язане з потенційними ризиками електричного, механічного та пожежного характеру, що потребує чіткого дотримання нормативних вимог з безпеки праці.

Розділ охорони праці спрямований на аналіз умов безпечної експлуатації автоматизованої транспортно-підйомної підсистеми лінії розливу підприємства «Carlsberg Україна», а також на визначення організаційних і технічних заходів, які забезпечують захист персоналу під час роботи з обладнанням, системами автоматизації та SCADA-інтерфейсами.

У даному розділі розглядаються питання проведення інструктажів з охорони праці, вимоги до безпечної експлуатації технологічного обладнання, електроустановок та систем керування, а також заходи пожежної безпеки при роботі з електричними системами. Окрема увага приділяється ролі SCADA-системи у підвищенні рівня безпеки за рахунок централізованого моніторингу, аварійної сигналізації та зменшення кількості ручних втручань у роботу обладнання.

Розглянуті заходи дозволяють знизити ризик виникнення аварійних ситуацій, мінімізувати вплив небезпечних факторів на персонал та забезпечити відповідність автоматизованої системи керування чинним вимогам охорони праці та промислової безпеки.

4.1 Проведення інструктажів з охорони праці

Забезпечення охорони праці є обов'язковою складовою безпечної експлуатації автоматизованих виробничих систем, зокрема брагоректифікаційних установок, що характеризуються наявністю електроприводів, вакуумного обладнання, підвищених температур і тисків. Працівники, які обслуговують автоматизовані технологічні процеси,

повинні бути проінструктовані щодо безпечних методів роботи та можливих виробничих ризиків.

Інструктажі з охорони праці проводяться з метою попередження нещасних випадків у роботі з агрегаторами, зниження виробничого травматизму, забезпечення безпечних умов праці, формування у працівників навичок безпечної роботи з автоматизованими системами та обладнанням.

На підприємстві обов'язковими є такі види інструктажів з охорони праці:

1. Вступний інструкта - проводиться з усіма працівниками, які приймаються на роботу, незалежно від кваліфікації та стажу. Під час вступного інструктажу працівників ознайомлюють з загальними правилами охорони праці на підприємстві та структурою підприємства потім основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами і вимогами пожежної та електробезпеки.

Первинний інструктаж на робочому місці проводиться безпосередньо перед початком виконання виробничих обов'язків. Працівник повинен бути проінструктований щодо будови та принципу роботи обладнання, правил безпечної експлуатації автоматизованих систем, дій у разі виникнення аварійних ситуацій, порядку роботи з електрообладнанням та засобами автоматизації.

Повторний інструктаж

Проводиться з метою підтримання належного рівня знань з охорони праці та повинен проводитись не рідше одного разу на шість місяців. Повторний інструктаж дозволяє актуалізувати знання працівників, нагадати основні вимоги безпеки, ознайомити з оновленими нормативними документами.

Позаплановий інструктаж проводиться у випадках: зміни технологічного процесу, впровадження нового обладнання, порушення працівниками вимог охорони праці, після аварій або нещасних випадків.

Цільовий інструктаж проводиться перед виконанням разових або особливо небезпечних робіт, а також при ліквідації аварійних ситуацій. Метою цільового інструктажу є мінімізація ризиків під час виконання нетипових робіт.

4.2 Заходи з техніки безпеки при експлуатації автоматизованих систем керування та SCADA-систем

Експлуатація автоматизованих систем керування технологічними процесами, зокрема SCADA-систем, є невід'ємною складовою сучасних харчових підприємств. Використання програмованих логічних контролерів, промислових мереж зв'язку, датчиків та виконавчих механізмів дозволяє підвищити ефективність виробництва та знизити енерговитрати. Водночас робота з автоматизованими системами пов'язана з підвищеними вимогами до техніки безпеки та охорони праці. Основними небезпечними та шкідливими факторами при експлуатації автоматизованих систем керування є електричний струм, рухомі частини механізмів, підвищена напруга в шафах керування, можливі відмови електронних компонентів, а також вплив несправностей програмного забезпечення на роботу технологічного обладнання.

До основних заходів з техніки безпеки при експлуатації автоматизованих систем та SCADA-систем належать:

1. Підготовка та навчання персоналу.
Обслуговування автоматизованих систем повинно здійснюватися виключно кваліфікованим персоналом, який пройшов відповідне навчання та інструктаж з охорони праці. Працівники повинні володіти знаннями щодо принципів роботи PLC, SCADA-систем, промислових мереж зв'язку та правил безпечної експлуатації електрообладнання.
2. Безпечна експлуатація електрообладнання.
Усі шафи керування, контролери, частотні перетворювачі та інше електрообладнання повинні бути заземлені відповідно до чинних нормативних документів. Забороняється виконання робіт у шафах керування під напругою без використання засобів індивідуального захисту та без відповідного дозволу.
3. Контроль технічного стану обладнання.
Необхідно регулярно перевіряти стан кабельних з'єднань, клем, модулів введення-виведення PLC, датчиків та виконавчих механізмів. Виявлення пошкоджених ізоляцій, перегріву обладнання або

нестабільної роботи системи є підставою для негайного зупинення експлуатації та проведення технічного обслуговування.

4. **Захист від несанкціонованого доступу.**
SCADA-системи повинні мати розмежування прав доступу користувачів. Налаштування програмного забезпечення та параметрів керування дозволяється лише уповноваженим особам. Це знижує ризик помилкових або небезпечних дій персоналу.
5. **Безпека при роботі з програмним забезпеченням.**
Усі зміни в логіці керування PLC або конфігурації SCADA-системи повинні виконуватися відповідно до встановлених регламентів із попереднім тестуванням. Некоректні зміни програмного коду можуть призвести до аварійних ситуацій та зупинки виробництва.

Дотримання зазначених заходів дозволяє забезпечити безпечну експлуатацію автоматизованих систем керування, знизити ризик аварій та створити належні умови праці для персоналу підприємства.

4.3 Вимоги пожежної безпеки при експлуатації електроустановок та систем автоматизації

Пожежна безпека є одним з ключових аспектів охорони праці на підприємствах харчової промисловості, особливо за умов використання автоматизованих систем керування та SCADA-систем. Наявність великої кількості електрообладнання, силових кабелів та електронних компонентів створює потенційну пожежну небезпеку.

Основними вимогами пожежної безпеки при експлуатації електроустановок та систем автоматизації є:

1. **Використання справного та сертифікованого обладнання.**
Усі елементи системи автоматизації повинні відповідати вимогам пожежної безпеки та мати відповідні сертифікати. Забороняється експлуатація обладнання з пошкодженими корпусами, кабелями або ознаками перегріву.
2. **Захист електроустановок від коротких замикань і перевантажень.**
Для цього застосовуються автоматичні вимикачі, запобіжники та

пристрої захисного відключення. Вони забезпечують своєчасне відключення живлення у разі аварійних режимів.

3. Організація пожежогасіння.

У приміщеннях, де розміщені шафи керування, PLC та сервери SCADA-систем, повинні бути встановлені відповідні засоби пожежогасіння, зокрема вуглекислотні або порошкові вогнегасники, які дозволяється використовувати для гасіння електроустановок під напругою.

4. Дотримання правил експлуатації.

Забороняється захаращення проходів до електроцитів, використання несправних подовжувачів та перевантаження електричних мереж. Усі роботи з обслуговування електрообладнання повинні виконуватися відповідно до затверджених інструкцій.

5. Планові перевірки та обслуговування.

Регулярний контроль стану електроустановок, очищення обладнання від пилу та своєчасна заміна зношених елементів значно знижують ймовірність виникнення пожеж.

Виконання зазначених вимог пожежної безпеки забезпечує надійну та безпечну експлуатацію автоматизованих систем керування і зменшує ризик виникнення надзвичайних ситуацій на підприємстві.

4.4 Висновок до четвертого розділу

У четвертому розділі магістерської роботи було розглянуто основні аспекти охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях у контексті впровадження автоматизованої системи керування та SCADA-системи на підприємстві харчової промисловості.

Проаналізовано заходи з техніки безпеки при експлуатації автоматизованих систем керування, які спрямовані на зниження ризиків, пов'язаних з електричним струмом, відмовами обладнання та помилками персоналу. Окрему увагу приділено вимогам пожежної безпеки при експлуатації електроустановок та систем автоматизації, дотримання яких є необхідною умовою безпечної та стабільної роботи виробництва.

Таким чином, інтеграція вимог охорони праці, техніки безпеки та пожежної безпеки у процес впровадження SCADA-системи дозволяє не лише

підвищити енергоефективність підприємства, але й забезпечити безпечні умови праці, мінімізувати аварійні ситуації та підвищити загальну надійність автоматизованих виробничих процесів.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання магістерської роботи було проведено комплексний аналіз сучасних підходів до автоматизації промислових технологічних процесів із застосуванням SCADA-систем, а також досліджено питання підвищення енергоефективності на підприємствах харчової промисловості. На основі аналізу науково-технічних джерел обґрунтовано доцільність впровадження SCADA-систем як ефективного інструменту централізованого моніторингу, керування та аналізу енергоспоживання. У роботі було розглянуто принципи побудови SCADA-систем, їх основні компоненти та функціональні можливості, а також виконано порівняльний аналіз найбільш поширених SCADA-платформ, що застосовуються у промисловості. Встановлено, що вибір SCADA-рішення повинен здійснюватися з урахуванням специфіки виробництва, масштабу об'єкта автоматизації та вимог до енергоефективності.

У рамках аналітичної частини досліджено технологічний процес та існуючу систему керування, що дозволило виявити основні проблемні зони, пов'язані з відсутністю централізованого моніторингу, недостатнім контролем енергоспоживання та обмеженими можливостями аналізу виробничих даних. Обґрунтовано необхідність модернізації системи керування з метою підвищення стабільності процесів, зниження втрат енергоресурсів та підвищення загальної ефективності виробництва.

У процесі проектування інтегрованої системи автоматизації було розроблено структурний підхід до побудови SCADA-системи з урахуванням вибору апаратних засобів, програмного забезпечення, логіки обміну даними та ключових параметрів моніторингу. Обґрунтовано вибір програмованого логічного контролера Schneider Electric Modicon M262 як оптимального рішення з огляду на його технічні характеристики, підтримку сучасних промислових протоколів та можливість інтеграції з SCADA-системами.

Особливу увагу приділено використанню промислових протоколів передачі даних, зокрема OPC UA, що забезпечує надійний, безпечний та масштабований обмін інформацією між рівнями автоматизації. Реалізація SCADA-системи дозволяє здійснювати збір, архівацію та аналіз даних у

режимі реального часу, оперативно виявляти відхилення в роботі обладнання та приймати обґрунтовані управлінські рішення.

Практичне впровадження SCADA-системи забезпечує зменшення непродуктивних витрат енергії, оптимізацію режимів роботи обладнання, підвищення надійності та гнучкості виробничих процесів. Важливим результатом є економічний ефект, що досягається за рахунок зниження експлуатаційних витрат, мінімізації втрат та підвищення енергоефективності. Проведені оцінки дозволяють визначити термін окупності впровадження системи та обґрунтувати інвестиційну доцільність проєкту.

Отримані результати підтверджують, що SCADA-системи мають значний потенціал подальшого розвитку, зокрема шляхом масштабування на інші ділянки підприємства та інтеграції з системами вищого рівня (MES, ERP). Використання сучасних інформаційних технологій створює передумови для формування ефективної та стійкої системи управління енергоспоживанням підприємства, що відповідає сучасним вимогам промислової автоматизації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондаренко В. М. Автоматизація виробничих процесів : навчальний посібник. — Київ : НТУУ «КПІ», 2019. — 312 с.
 2. Бойко О. О. Промислові системи автоматизації та SCADA. — Харків : ХНУРЕ, 2020. — 286 с.
 3. Гаврилюк В. І. Системи керування технологічними процесами. — Львів : НУ «Львівська політехніка», 2018. — 244 с.
 4. Кравець О. П. Енергоефективність промислових підприємств. — Київ : Техніка, 2017. — 198 с.
 5. Лапшин В. Р. Проектування систем автоматизації технологічних процесів. — Київ : Вища школа, 2016. — 320 с.
 6. IEC 61131-3:2013. Programmable Controllers – Programming Languages.
https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:85:0::::FSP_LANG_ID:25
 7. IEC 60870-5. Telecontrol equipment and systems.
<https://webstore.iec.ch/publication/6028>
 8. ISO 50001:2018. Energy management systems — Requirements with guidance for use.
<https://www.iso.org/standard/69426.html>
 9. ДСТУ ISO 50001:2020. Системи енергетичного менеджменту.
https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=90773
 10. ГОСТ 21.408-93. Правила виконання схем автоматизації.
<https://docs.cntd.ru/document/1200001667>
 11. ГОСТ 21.404-85. Умовні позначення приладів і засобів автоматизації.
<https://docs.cntd.ru/document/1200001748>
 12. ГОСТ 2.701-2008. Схеми. Види і типи.
<https://docs.cntd.ru/document/1200061068>
- PLC, SCADA та промислова автоматизація

13. *Schneider Electric. Modicon M262 Logic Controller — Technical Documentation.*

<https://www.se.com/ww/en/product-range/62081-modicon-m262/>

14. *Schneider Electric. EcoStruxure Automation Expert — System Architecture Guide.*

<https://www.se.com/ww/en/work/products/industrial-automation-control/>

15. *Schneider Electric. Altivar Process ATV600 — Technical Guide.*

<https://www.se.com/ww/en/product-range/62059-altivar-process-atv600>

16. *Siemens AG. SIMATIC S7-1200 Programmable Controller — System Manual.*

<https://www.siemens.com/s7-1200>

17. *ABB Group. Industrial Automation & SCADA Systems.*

<https://new.abb.com/process-automation>

OPC UA, мережі та протоколи

18. *OPC Foundation. OPC Unified Architecture Specification.*

<https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/>

19. *Modbus Organization. Modbus Application Protocol Specification.*

<https://modbus.org/specs.php>

20. *Ethernet/IP Industrial Protocol — ODVA.*

<https://www.odva.org/technology-standards/key-technologies/ethernet-ip/>

Датчики та промислова вимірювальна техніка

21. *IFM Electronic. Sensors for Industrial Automation.*

<https://www.ifm.com>

22. *SICK AG. Photoelectric Sensors — Product Overview.*

<https://www.sick.com>

23. *Endress+Hauser. Industrial Measurement Technology.*

<https://www.endress.com>

24. *SCADA Systems Explained — Inductive Automation.*

<https://inductiveautomation.com/resources/article/scada-system>

25. *Energy Management in Industry — International Energy Agency.*

<https://www.iea.org/topics/industry>

26. *Automation and Energy Efficiency in Manufacturing — IEEE.*

<https://ieeexplore.ieee.org>

27. *Industrial Automation — Rockwell Automation.*

<https://www.rockwellautomation.com>

28. *Digital Transformation in Manufacturing — McKinsey.*

<https://www.mckinsey.com/industries/operations/our-insights>

ЗГОДА здобувача(чки) освіти Державного університету економіки і технологій
про перевірку кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії ДУЕТ

Я, *Горафонов Філіп Романович*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна магістерська (бакалаврська) робота (назва роботи повністю) виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомлений(а). Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований(на), що відповідно до пункту 5.8 «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» згадана робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ) та ознайомлений(на) з умовами такого розміщення.

01.06. 2025