

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
(повна назва)

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

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)  
Розроблення SCADA-системи для виробничого підприємства типу Lean  
production  
(тема)

Виконав:  
здобувач 4 року навчання,  
групи АКТСІ-21-1  
Владислав Коваленко  
(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 151 Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна  
Освітня програма Системна інженерія  
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Ірина СЕЗОНОВА  
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

Ігор Невлюдов  
(власне ім'я, прізвище)

2025 р.

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

" 5 " червня 2025 р.



Владислав КОВАЛЕНКО

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(код і повна назва)

Тип програми освітньо - професійна

Освітня програма Системна інженерія  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

« 19 » травня \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Коваленко Владиславу Ярославовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення SCADA-системи для виробничого підприємства типу Lean production

затверджена наказом університету від 19.05.2025 р. № 391 Ст \_\_\_\_\_

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 10.06.2025р.

3. Вихідні дані до роботи Модель SCADA-системи з вбудованим інтелектуальним модулем для Lean production. Програмна реалізація інтелектуального модуля.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі \_\_\_\_\_

4.1 Вступ \_\_\_\_\_

4.2 Аналіз предметної області \_\_\_\_\_

4.3 Розроблення для системи SCADA для Lean production вбудованого інтелектуального модуля реагування на нештатні ситуації \_\_\_\_\_

4.4 Вибір та обґрунтування програмних засобів для розробки програмного продукту \_\_\_\_\_

4.5 Програмна реалізація підсистеми введення даних. Керівництво користувача. \_\_\_\_\_

4.6 Висновки \_\_\_\_\_

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) Графічний матеріал у вигляді презентації (12 с.)

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 ) \_\_\_\_\_

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

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Строк / терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	28.04 – 04.05.2025	виконано
2	Опрацювання літератури за темою	05.05 – 10.05.2025	виконано
3	Розроблення моделі інтелектуального модуля реагування на тривоги в SCADA	11.05 – 17.05.2025	виконано
4	Вибір та обґрунтування програмного забезпечення	18.05 – 20.05.2025	виконано
5	Розроблення програмного продукту	21.05 – 25.05.2025	виконано
6	Тестування та опис програмного продукту	26.05 – 31.05.2025	виконано
7	Висновки та перелік джерел посилань	01.06 – 05.06.2025	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки	06.06 – 10.06.2025	виконано
9			
10			
11			
12			

Дата видачі завдання 28.04.2025 р.

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Владислав КОВАЛЕНКО  
(власне ім'я, прізвище)  
професор Ірина Сезонова  
(посада, власне ім'я, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 73 с., 5 табл., 15 рис., 3 дод., 24 джерела.

SCADA-СИСТЕМА, LEAN PRODUCTION, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ МОДУЛЬ, ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЯ, ВИРОБНИЧЕ ПІДПРИЄМСТВО, АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ.

Lean Production (ощадливе виробництво) – це ефективна система управління, яка дозволяє мінімізувати витрати та зосередитись на оптимізації виробничих процесів. Одним із ризиків впровадження принципів Lean Production в сучасне роботизоване виробництво є спрощення процесів управління відповідно до шаблону, що в умовах швидких змін може привести до суттєвих витрат. Одним із шляхів зменшення ризиків є використання штучного інтелекту, зокрема в системах типу SCADA.

Мета роботи – розробка інтелектуального модуля для SCADA-системи з метою зменшення витрат Lean Production.

Об'єкт розробки – процес моніторингу та реагування на надзвичайні ситуації у виробничих системах.

Предмет розробки – підсистема сповіщень SCADA-системи для виявлення, обробки та інформування про надзвичайні ситуації у виробничих системах.

В роботі розроблена модель інтелектуальної SCADA-системи, здійснено вибір програмного забезпечення для створення програмного продукту та розроблена комп'ютерна програма з елементами штучного інтелекту для заощадливого виробництва.

## ABSTRACT

Explanatory note: 73 p., 5 tabl., 15 fig., 3 adj., 24 sources.

SCADA SYSTEM, LEAN PRODUCTION, INTELLECTUAL MODULE, DISPATCHING, MANUFACTURING ENTERPRISE, AUTOMATED CONTROL, ARTIFICIAL INTELLIGENCE.

Lean Production is an effective management system that has been demonstrated to minimize losses and optimize production processes. A notable risk associated with the implementation of Lean Production principles in contemporary robotic manufacturing is the simplification of management processes according to a template, which can result in substantial losses when confronted with rapid change. A potential risk mitigation strategy involves the incorporation of artificial intelligence, particularly within the context of SCADA systems.

The objective of the project is to engineer an intelligent module for SCADA systems with the aim of mitigating losses incurred during the lean production process.

The objective of the present development is to devise a system for the monitoring and control of the production process for lean production.

The subject of this study is a software module for SCADA systems that incorporates elements of artificial intelligence.

In the course of the study, a model of an intelligent SCADA system was developed, software was selected to create a software product, and a computer program with elements of artificial intelligence for lean production was developed.

## ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень.....	8
Вступ.....	10
1 Аналіз технічного завдання.....	12
1.1 Концепція Lean production та його основні принципи.....	12
1.2 Інформаційно–управляюча система виробничого підприємства.....	17
1.3 SCADA-системи в управлінні виробництвом.....	20
1.4 Перетин ошадливого виробництва і автоматизації.....	23
1.5 Постановка завдання на розробку інтелектуального модуля для виробничої SCADA–системи.....	26
2 Розробка моделі інтелектуальної SCADA-системи для виробничого підприємства Lean production.....	29
2.1 Програмне забезпечення для візуалізації, диспетчерського керування, збору та аналізу даних.....	29
2.2 Контроль та прийняття управлінських рішень.....	34
2.3 Реалізація концепції Smart Factory.....	36
3 Розроблення інтелектуальної підсистеми інформаційного сповіщення.....	38
3.1 Тривога та хронологія подій.....	38
3.2 Модель підсистеми інформаційного сповіщення.....	39
3.3 Інтелектуалізація SCADA-систем для Lean production.....	45
3.4 Програмна реалізація.....	49
3.5 Охорона праці.....	59
Висновки.....	62
Перелік джерел посилання.....	63
Додаток А Апробація результатів роботи.....	66
Додаток Б Код програми.....	71
Додаток В Демонстраційний матеріал.....	90

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АСУ – автоматизована система управління;
- АСКП – автоматизована система керування підприємством;
- АСК ТП – автоматизована система керування технологічними процесами;
- БД – база даних;
- ЕОЗ – електронно–обчислювальні засоби;
- ІП – інформаційний процес;
- ІС – інформаційна система;
- ІС ІТС – інформаційна система ІТС (інформаційно-технічний супровід);
- ІТ – інформаційна технологія;
- НКЦ – навчально–консультативний центр;
- ПЗ – програмне забезпечення;
- ПЗСО – пристрій зв'язку з об'єктом;
- ПЛК – програмований логічний контролер;
- РЕЗ – радіоелектронні засоби;
- СКБ – студентське конструкторське бюро;
- СУБД – система управління базами даних;
- ТМЦ – товарно-матеріальні цінності;
- ШІ – штучний інтелект;
- CSV (Comma-Separated Values) – значення, розділені комами, текстовий формат для представлення табличних даних;
- ERP (Enterprise Resource Planning) – система планування (управління) ресурсами підприємства;
- HMI (Human-machine interface) – людино-машинний інтерфейс;
- HRM (Human resources management) – управління персоналом;
- IL (Instruction List) – список інструкцій, мова програмування стандарту ІЕС 61131-3. Призначена для програмування промислових контролерів;

FBD (Function Block Diagram) – графічна мова програмування, яка призначена для програмування програмованих логічних контролерів;

MES (Manufacturing Execution System) □ система управління виробничими процесами;

ODBC (Open DataBase Connectivity) – відкритий прикладний програмний інтерфейс доступу до баз даних;

OLE DB (Object Linking and Embedding, Database) – зв'язування та вбудовування об'єктів, база даних;

PLC (Programmable Logic Controller) – програмований логічний контролер;

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – диспетчерське управління та збір даних.

## ВСТУП

Ощадливе виробництво (Lean Production) – це ефективна система управління, яка дозволяє мінімізувати витрати та зосередитись на оптимізації виробничих процесів. Тим не менш, Lean Production не завжди є найкращим вибором для сучасних роботизованих виробництв, особливо в тих секторах, де необхідно працювати з точними даними та негайно адаптуватися до змін.

Одним із ризиків впровадження Lean Production є спрощення процесів управління відповідно до шаблону, що в умовах швидких змін іноді призводить до суттєвих витрат.

Одним із шляхів удосконалення управління та підвищення ефективності роботизованих виробництв є використання штучного інтелекту, зокрема в системах типу SCADA.

Мета роботи – розробка інтелектуального модуля для SCADA-системи з метою зменшення витрат Lean Production.

Об'єкт розробки – процес моніторингу та реагування на надзвичайні ситуації у виробничих системах.

Предмет розробки – підсистема сповіщень SCADA-системи для виявлення, обробки та інформування про надзвичайні ситуації у виробничих системах.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз структури та складових існуючих SCADA-систем виробничого призначення;
- провести аналіз управління виробничим підприємством типу Lean production, ролі та місця SCADA-систем в його роботі;
- розробити модель інтелектуальної SCADA-системи;
- здійснити вибір програмного забезпечення для створення програмного продукту;

– розробити комп'ютерну програму для розробленої інтелектуальної SCADA-системи;

– оформити пояснювальну записку згідно ДСТУ 3008:2015 [1], а також з методичними вказівками з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [2].

Результати кваліфікаційної роботи сприяють Цілям сталого розвитку, зокрема цілі 8 Гідна праця та економічне зростання, п. 8.2 Домогтися підвищення продуктивності в економіці через диверсифікацію, технічну модернізацію та інноваційну діяльність.

## 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

### 1.1 Концепція Lean production та його основні принципи

Ощадливе виробництво (Lean production) – це ефективна система управління, яка дозволяє мінімізувати витрати та зосередитись на оптимізації виробничих процесів. Тим не менш, заощадливий підхід не завжди є найкращим вибором для сучасних роботизованих виробництв, особливо в тих секторах, де необхідно працювати з точними даними та негайно адаптуватися до змін.

Одним із ризиків впровадження Lean production є спрощення процесів управління відповідно до шаблону, що в умовах швидких змін іноді призводить до суттєвих витрат.

Одним із шляхів удосконалення управління та підвищення ефективності роботизованих виробництв є використання штучного інтелекту, зокрема в системах типу SCADA.

Суть методу Lean.

Lean production – це система управління, в основі якої лежать такі принципи, як створення цінності продукту, усунення витрат і постійне вдосконалення.

Порівняємо звичайне виробництво та виробництво, яке використовує принципи Lean.

На звичайному виробництві зранку працівники заводу протягом години розподіляють завдання, встановлюють, хто з яким обладнанням працює. Щодня 30-50 хвилин вони витрачають на те, щоб знайти потрібні деталі на складі. Через це продуктивність падає, один працівник за зміну випускає 10 одиниць товару. Співробітникам доводиться надовго залишати робоче місце, щоб знайти деталі, через це вони не мають змоги стежити за обладнанням, у результаті збільшується кількість дефектів.

На виробництві, на якому використовують метод Lean, щовечора відповідальний співробітник створює завдання на наступний день, розподіляє обладнання між працівниками. Вранці вони отримують готове завдання, одразу

приступають до роботи. На заводі впровадили автоматизовану систему зберігання деталей, яка здійснює їх пошук. Тепер співробітники витрачають 5 хвилин, щоб знайти потрібну деталь. Один працівник за зміну випускає 12 одиниць товару. Швидкість випуску продукції збільшилася на 20%, рівень браку знизився на 17% [3].

Lean production часто називають методологією, хоча конкретних наборів готових дій у цього методу немає. Це скоріше філософія, принципів якої потрібно дотримуватися. Але вибудувати систему Lean доводиться самостійно кожному підприємству, оскільки для кожної компанії вона унікальна.

Оскільки метод називають ощадливим виробництвом, може здатися, що його слід використовувати, якщо компанія виробляє якийсь товар на заводі. Але це не так. Філософія використовується для створення цифрових продуктів і програмного забезпечення, її впроваджують фінансові компанії, банки, освітні та медичні установи. Концепція підходить для сфери обслуговування та фахівців технічної підтримки.

Пояснення елементів схеми, яка коротко відображає принципи побудови бережливого виробництва (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Основні принципи Lean production

Перший принцип – VALUE (Цінність). Вимагає визначення того, що дійсно важливо для клієнта. Цінність – це продукт або послуга, за які споживач готовий платити. У Lean production вся діяльність повинна бути спрямована на створення саме такої цінності.

Другий принцип – VALUE STREAM (Потік створення цінності). Вимагає визначення усіх дій (технологічних, логістичних та ін.), які необхідні для створення продукту. Мета – ідентифікувати та усунути дії, які не додають цінності (їх відносять до витрат).

Третій принцип – FLOW (Потік). Побудова безперервного процесу без зупинок, очікувань або затримок. Це досягається через оптимізацію розташування ресурсів, автоматизацію, стандартизацію процесів.

Четвертий принцип – PULL (Витягування). Виробництво ведеться згідно з реальним попитом, а не прогнозом. Продукція створюється тільки тоді, коли на неї є запит. Це знижує надлишкові запаси.

П'ятий принцип – PERFECTION (Досконалість). Вимагає постійного вдосконалення процесів. Lean не є разовим проектом – це філософія постійного прагнення до ідеалу [4].

Відповідно до принципів ощадливого виробництва потрібно домогтися збільшення цінності продукту. Якщо покупцеві важливо отримати товар якомога швидше, отже, цінність полягає в тому, щоб максимально скоротити швидкість доставки.

Основна мета Lean – це виявлення та усунення всіх видів витрат: надвиробництво, очікування, зайве транспортування, надлишкові запаси, надмірна обробка, дефекти, непотрібні рухи.

Назва цього принципу – REMOVE WASTE (Усунення витрат). Розглянемо види витрат та формалізуємо їх.

У філософії Lean є поняття витрат. Це все, що негативно впливає на цінність продукту або знижує доходи підприємства. Наприклад, компанія довго доставляє товар через нераціональну систему логістики. Це і є витрати.

Загалом існує 8 видів витрат (рис. 1.2):



Рисунок 1.2 – Види витрат Lean production

– перевиробництво. Щоб скоротити кількість продукції, яку не розкупили користувачі, необхідно враховувати попит. Наприклад, не випускати товар великими партіями. Цей вид витрат тісно переплітається з наступним;

– зайві запаси. Накопичення товарів призводить до збільшення витрат на його зберігання. Це може бути виправдано тільки в періоди підвищеного попиту. Припустимо, завод виробляє штучні ялинки, у листопаді та грудні очікується підвищений попит, тому в ці місяці випускають великі партії виробів. Але виробляти ялинки із запасом з лютого по жовтень - це не раціонально;

– очікування. Сюди включають простой, пов'язані з поломкою обладнання або недостатньою автоматизацією цеху;

– транспортування. Це проблеми на всіх етапах транспортування сировини, напівфабрикатів і готової продукції. Коли постачальник матеріалу затримує партію на тиждень, це і є проблеми з транспортуванням;

– зайві рухи. Це витрати, пов'язані з тимчасовими витратами через зайві дії співробітників. Робітник витрачає 20 хв. на день на пошук потрібних деталей, він робить зайві рухи, які не несуть цінності;

– брак. Бракована продукція призводить до збитків, оскільки її необхідно замінити або відремонтувати. Ще це шкода для репутації бізнесу. Тому компаніям важливо продумувати, як мінімізувати брак;

– непотрібна обробка. Це неефективна обробка продукції, яка може призводити до фінансових витрат. Наприклад, компанія використовує застаріле обладнання для створення металевих корпусів. Через старе обладнання на виробництві збільшуються відходи, зростає собівартість готового товару;

– невикористаний потенціал команди. Співробітники можуть пропонувати цікаві ідеї щодо поліпшення робочих процесів. Варто розглядати процеси з їхнього погляду, це допоможе поліпшити технологію виробництва.

Перші сім видів витрат виділив Тайіті Оно [3], який вважається засновником концепції ощадливого виробництва. Останній варіант після проведення досліджень додав Джеффри Лайкер [4].

Lean впроваджують, щоб випускати продукт, який подобається клієнту, при цьому скорочуючи витрати. Це головна мета цієї філософії. Витрати – це дії, які ніяк не позначаються на цінності продукту. Наприклад, до витрат відносять брак або зайві дії співробітників.

Крім основної мети, є й інші:

– виробляти стільки продукції, скільки потрібно замовникам. Не більше і не менше;

– домогтися високої якості продукції і відсутності браку;

– забезпечити швидку доставку продукції до кінцевого споживача;

– використовувати складські приміщення невеликої площі;

– ефективно використовувати всі види ресурсів;

– залучити всіх співробітників до розробки цінної продукції.

Тобто завдання методу Lean в тому, щоб усіма зусиллями створити цінний

продукт і усунути те, що заважає отримати такий продукт. Наприклад, мінімізувати брак, не зберігати великі запаси товару, не переплачувати за оренду складу.

## 1.2 Інформаційно-управляюча система виробничого підприємства

Управління виробництвом – це сукупність бізнес-процесів виробничого підприємства від розробки та створення продукту до ефективного управління, контролю та аналізу всіх його соціально-економічних систем. Щоб забезпечити безвідмовне, безперебійне протікання всього ланцюжка бізнес-процесів, необхідно мати якісний менеджмент, тобто управління. Як правило, саме автоматизація управління виробництвом відіграє вирішальну роль і дає потужний стрибок успішного зростання будь-якого підприємства.

Автоматизована система управління підприємством може бути розділена на три основні рівня (рис. 1.3).

Рівень управління підприємством ERP (англ. Enterprise Resource Planning) – система планування (управління) ресурсами підприємства.

ERP-система може бути використана в декількох напрямках:

– створення інформаційної системи для ідентифікації і планування всіх ресурсів підприємства;

– створення методології ефективного планування і управління всіма ресурсами підприємства, які є необхідними для здійснення продажів, виробництва, закупівель і обліку при виконанні замовлень клієнтів у сферах виробництва, дистрибуції або для надання послуг.

Приклад ERP-системи. ERP-система автоматизує процедури, що створюють бізнес-процеси. Наприклад, виконання замовлення: прийняття замовлення, виставлення рахунку, його розміщення, отримання оплати, відвантаження зі складу, доставка.

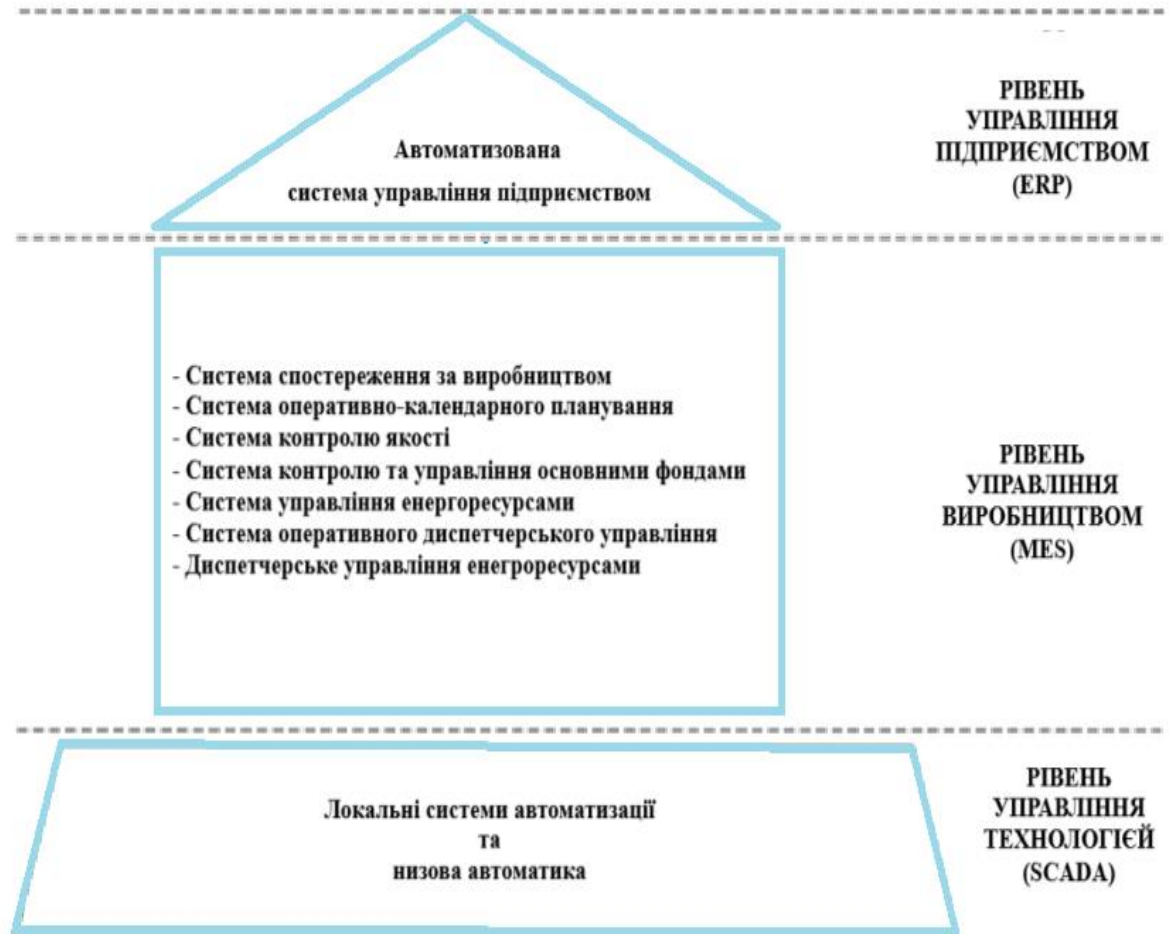


Рисунок 1.3 – Інформаційно-управляюча структура підприємства

ERP-система обробляє замовлення та слугує своєрідним посібником, за яким автоматизуються різні кроки на шляху виконання замовлення. Коли менеджер вводить замовлення клієнта в ERP-систему, у нього є доступ до всієї інформації, необхідної для того, щоб запустити замовлення на виконання. Наприклад, він відразу отримує доступ до кредитного рейтингу покупця та історії його замовлень з фінансового модуля, дізнається про наявність товару на складі і про графік відвантаження товарів з модуля логістики. В ERP документи створюються не на початку життєвого циклу, а в кінці його або після того як створені, обговорені, перевірені, узгоджені, затверджені і т. п.

Рівень управління виробництвом MES (від англ. manufacturing execution system, система управління виробничими процесами) – система, яка призначена для вирішення завдань синхронізації, координації, аналізу та оптимізації випуску

продукції в рамках якого-небудь виробництва. MES-системи належать до класу систем управління рівня цеху, але можуть використовуватися і для інтегрованого управління виробництвом на підприємстві в цілому.

Рівень управління технологією SCADA (від англ. supervisory control and data acquisition, диспетчерське управління і збір даних) – система, яка слугує для розробки або забезпечення роботи в реальному часі систем збору, обробки, відображення та архівування інформації про об'єкт моніторингу або управління.

SCADA може бути частиною технологічного процесу, системою екологічного моніторингу, наукового експерименту, автоматизації будівлі тощо.

SCADA-системи використовують у всіх галузях господарства, де потрібно забезпечувати диспетчерський контроль за виробництвом в реальному часі. Ця система представляє собою програмне забезпечення, яке встановлюється на комп'ютери і, для зв'язку з об'єктом, використовує драйвери введення/виведення або сервери підприємства. Програмний код може бути написаний на одній з мов програмування або згенерований в середовищі проектування.

Ощадливе виробництво передбачає впровадження своїх принципів та правил на всіх рівнях управління підприємством. SCADA-системи є першим або нижчим рівнем управління, з якого потрібно починати впроваджувати правила Lean. Оскільки управління оператором не є безальтернативним на сучасному етапі розвитку програмних засобів, які приймають рішення замість людини, впровадження елементів штучного інтелекту в SCADA-системи вбачається актуальною задачею сьогодення.

### 1.3 SCADA-системи в управлінні виробництвом

Система SCADA складається з декількох типових блоків або елементів.

Кожен блок виконує строго свою функцію (рис. 1.4):



Рисунок 1.4 – Загальна схема SCADA-систем

– периферія представлена окремими датчиками або їх сукупністю, або потужними комп'ютерами (датчики можуть одержувати інформацію про процеси, що йдуть на підприємстві, тільки в дискретному режимі, тоді як потужний комп'ютер працює безперервно, реалізуючи принцип on-line моніторингу);

– центральний блок представляє собою сервер, на який надходить інформація з периферії.

– сервер, який оснащений відповідним ПЗ, що забезпечує візуалізацію інформації у форматі, зрозумілому оператору;

– система зв'язку між периферією і центральним терміналом (охоплює не тільки канал передавання інформації, а й низку допоміжних пристроїв).

Функціональне навантаження на SCADA-системи дуже різноманітне. Серед основних завдань, які вони можуть виконувати:

- контроль за процесами в on-line режимі;
- складання звітів з будь-яким ступенем узагальненості;
- забезпечення обміну даними на постійній основі між АСУ і численними

додатками на кшталт бази даних, бухгалтерія тощо;

- сигналізація про аварійний режим роботи того чи іншого процесу.

Набір конкретних функцій, які виконує SCADA-система, визначається її структурою і характеристиками основних її елементів, зокрема і характеристиками інтерфейсу центрального терміналу (диспетчерської), з якою взаємодіє оператор.

У розробленні SCADA-системи величезну роль відіграє платформа, на базі якої її створюють. Від правильного її вибору залежить, наскільки функціональною буде система і наскільки зручно з нею буде працювати людині.

Схематично проста, але неймовірно складна у виконанні SCADA-система дає змогу практично будь-якій організації або підприємству отримати у своє розпорядження ефективний інструмент для контролю і моніторингу виробничих процесів. Тобто, система виконує найрізноманітніші функції в автоматичному режимі, замінюючи собою одразу кілька (навіть десятки – залежно від конфігурації та масштабу) людей.

Диспетчеризація забезпечує узгоджену роботу як повністю автономних об'єктів, так і окремих ланок керованих об'єктів з метою підвищення техніко-економічних показників, ритмічності роботи, кращого використання виробничих потужностей.

Сучасні системи диспетчеризації забезпечують:

- автоматичне і ручне керувати роботою системи (виконавчі пристрої, двигуни, вентиляція, кондиціонування, опалення, освітлення та ін.);
- автоматичний збір інформації із виведенням на екран монітора диспетчера (технологічних, фізичних, хімічних даних, параметрів мікроклімату, різноманітних станів об'єктів);
- реальну і повну картину стану всіх інженерних систем в будь-який момент часу;
- зручні функції комунікації (мобільний зв'язок, інтернет, WI-FI, промислові інтерфейси);
- реєстрацію всіх системних подій;
- швидку та точну реакцію на зміну умов виробництва, експлуатації або зовнішнього середовища;

– підрахунок часу напрацювання обладнання і попередження про необхідність проведення профілактичних та регламентних робіт, а також можливість збору статистичної інформації і прогнозування тощо.

Інколи до функцій диспетчеризації відноситься ряд заходів про невідкладне прийняття адекватних рішень у разі виникнення аварійних ситуацій. Постійна реєстрація та фіксація всіх подій в системі дає можливість встановити справжню причину аварії, безпомилково визначити осіб, винних в аварійній ситуації, а також запобігти її повторенню в майбутньому. Досить часто диспетчерські комплекси будують за принципом SCADA-систем з можливістю детальної візуалізації та анімації всіх процесів і оперативного керування з робочого місця оператора. Призначенням такого програмного пакету є збір, обробка, і зберігання інформації, стосовно промислових контролерів і виконавчих пристроїв.

До основних завдань, які покладають на SCADA-системи, відносяться наступні:

- робота в режимі реального часу;
- забезпечення обміну інформацією між пристроями для вводу-виводу і виконавчими механізмами;
- підтримка баз даних з технологічною інформацією;
- відстеження позаштатних подій, активація аварійних протоколів [9].

Технології SCADA на сьогодні вважаються найбільш перспективними в плані автоматизованого керування і диспетчеризації. У сучасних системах диспетчеризації інженерних систем широко використовуються інформаційні технології. Інформація про все приєднане до системи диспетчеризації обладнання виводиться в режимі реального часу на екрани моніторів. Комп'ютеризація систем диспетчеризації дозволяє інтегрувати системи безпеки, зв'язку та інженерні системи в єдиний комплекс, в якому моніторинг всього обладнання, об'єднаного системою диспетчеризації, відбувається в режимі реального часу [9].

Диспетчеризація інженерних систем і технологічного обладнання – це безперервний контроль параметрів роботи технологічного обладнання, що поєднує в собі широкі можливості візуалізації, ведення архівної та звітної документації, а також функції віддаленого управління технологічними процесами.

Диспетчеризація застосовується до будь-яких технологічних систем (управління виробничими процесами та процесінговими лініями), які можуть управлятися автоматично.

#### 1.4 Перетин ощадливого виробництва і автоматизації

На перетині ощадливого виробництва й автоматизації відбуваються одні з найбільш вражаючих досягнень у сфері виробництва. Хоча ощадливе виробництво й автоматизація можуть здатися двома різними стратегіями, насправді вони дуже доповнюють одна одну. Ощадливе виробництво спрямоване на мінімізацію відходів і максимізацію цінності, а автоматизація може бути інструментом для досягнення цих цілей.

Основним принципом ощадливого виробництва є усунення відходів з виробничого процесу. Автоматизація може допомогти в цьому, виконуючи завдання ефективніше, ніж люди, скорочуючи час і ресурси, що витрачаються на непотрібні дії. Автоматизовані системи також можуть працювати безперервно, без перерв, скорочуючи час простою у виробничому процесі.

Крім того, ощадливе виробництво робить наголос на плавний хід роботи, коли кожен етап виробничого процесу тісно синхронізований з іншими. Автоматизація підтримує це, забезпечуючи послідовний, точний і передбачуваний результат, спрощуючи синхронізацію різних етапів виробничого процесу.

По суті, в той час як ощадливе виробництво забезпечує філософську і стратегічну основу для скорочення відходів і створення цінності, автоматизація надає інструменти і технології для цього.

Як автоматизація покращує принципи ощадливого виробництва?

Автоматизація покращує принципи ощадливого виробництва кількома способами:

– скорочення відходів за допомогою автоматизації. Автоматизація відіграє вирішальну роль у скороченні відходів, що є одним із центральних принципів ощадливого виробництва. Автоматизовані системи, як правило, більш ефективні, ніж ручні процеси, скорочуючи витрати часу і матеріалів. Вони можуть виконувати

завдання швидко і точно, що призводить до меншої кількості помилок і меншої кількості переробок. Крім того, автоматизовані системи можуть працювати безперервно, скорочуючи час простою і час простою;

– поліпшення потоку за допомогою автоматизованих систем. Ощадливе виробництво підкреслює плавний перехід роботи від одного етапу виробничого процесу до іншого. Автоматизовані системи можуть підтримувати це, забезпечуючи узгоджений і передбачуваний результат. Це спрощує синхронізацію різних етапів виробничого процесу, скорочуючи затримки і вузькі місця;

– поліпшення витягування за рахунок автоматизації. Концепція «витягування», ще один фундаментальний принцип ощадливого виробництва, передбачає виробництво тільки того, що необхідно, коли це необхідно, виходячи з фактичного попиту. Автоматизація може допомогти в цьому, надаючи дані про виробництво і попит у режимі реального часу, даючи змогу виробникам швидко і точно регулювати рівні виробництва у відповідь на зміни попиту;

– прагнення до досконалості. Кінцевою метою ощадливого виробництва є досконалість – нуль відходів і 100% цінність. Хоча це може бути радше ідеалом, ніж практичною реальністю, автоматизація може допомогти виробникам наблизитися до цієї мети. Автоматизовані системи можуть забезпечити узгодженість, точність та ефективність, які важко порівняти з ручними процесами, зменшуючи кількість помилок та відходів.

Можливо, найвідомішим прикладом успішної автоматизації в ощадливому виробництві є Toyota, компанія, в якій зародилася сама концепція ощадливого виробництва. Toyota успішно впровадила автоматизовані системи на своїх виробничих лініях, підвищивши ефективність своїх процесів, скоротивши кількість відходів і підтримуючи високі стандарти якості. Їхня виробнича система, Toyota Production System, є зразком ощадливого виробництва, демонструючи, як автоматизація може бути узгоджена з принципами ощадливого виробництва для досягнення виняткових результатів [3].

Siemens, глобальний лідер у галузі електроніки та електротехніки, був ще одним видатним прихильником автоматизації в ощадливому виробництві. Ініціатива компанії «Цифрова фабрика» - чудовий приклад того, як цифровізація та

автоматизація можуть підвищити ефективність ощадливого виробництва. Siemens використовує передові технології автоматизації та програмне забезпечення для цифрового виробництва для оптимізації виробничих процесів, скорочення відходів і підвищення ефективності. Це не тільки підвищило їхню операційну ефективність, а й дало їм змогу швидше і гнучкіше реагувати на зміни ринкового попиту [4].

SCADA-система характеризуються широким функціоналом, який дозволяє автоматизувати та втілити принципи ощадливого виробництва, а саме:

- знизити витрати на утримання обслуговуючого персоналу;
- знизити ймовірність збоїв технологічних процесів і тривалих простоїв за рахунок своєчасного попередження оператора про небажані зміни в процесі роботи обладнання, і, як наслідок, оперативної реакції на позаштатні ситуації;
- вести архів даних і здійснювати ефективний аналіз інформації за допомогою автоматично створюваних звітів про продуктивність устаткування, споживання електроенергії і матеріалів за вказаний період часу;
- надавати інформацію персоналу і керівництву у вигляді звітів і діаграм за різні періоди часу;
- організувати роботу з системою користувачам з різними рівнями доступу (оператор, технолог, майстер зміни, технічний директор, генеральний директор та ін.);
- отримувати оперативну інформацію (графіки, звіти, попередження) практично з будь-якого пристрою (планшет, телефон, ноутбук);
- підвищувати технологічну дисципліну оперативного персоналу за рахунок протоколювання дій операторів та диспетчерів;
- забезпечити керівників високого і середнього рівнів інструментальними засобами та необхідною інформацією про ефективність роботи обладнання.

Окремо необхідно згадати про можливість «комунікації з іншими системами». Часто трапляється, коли на виробництві весь завод (цех, безперервна технологічна лінія, починаючи від надходження продукту, його обробки і до виходу готової продукції) будувалися в різний час і різними організаціями. Це призводить до використання відмінного і потенційно несумісного устаткування і програмного забезпечення. Однак, кожна з цих систем (вузлів) повинна коректно повідомляти

про свій стан і давати керуючі команди іншим системам: готовність, аварія, неготовність видати продукт, дозвіл або блокування роботи для інших ліній і інші функції.

### 1.5 Постановка завдання на розробку інтелектуального модуля для виробничої SCADA-системи

Тенденції майбутнього – це автоматизація та ощадливе виробництво в епоху цифрових технологій. Синергія між автоматизацією та ощадливим виробництвом, ймовірно, стане ще більш значущою в міру того, як ми дивимося в майбутнє. Передові технології, такі як штучний інтелект, машинне навчання та Інтернет речей (IoT), відкривають нові форми автоматизації, які можуть ще більше підвищити ефективність ощадливого виробництва.

Наприклад, штучний інтелект і SCADA-системи можуть аналізувати виробничі дані в режимі реального часу, виявляючи недоліки та пропонуючи поліпшення. Пристрої SCADA можуть відстежувати стан обладнання і прогнозувати необхідність обслуговування, скорочуючи час простою і кількість відходів. Ці технології також можуть підтримувати гнучкіший і оперативніший підхід до виробництва, даючи змогу компаніям швидко адаптуватися до змін попиту.

Автоматизація відіграє вирішальну роль у ощадливому виробництві, допомагаючи скоротити відходи, підвищити ефективність і створити більшу цінність для клієнтів. Хоча при впровадженні автоматизації можуть виникнути проблеми, при ретельному плануванні та виконанні їх можна подолати, а переваги можуть бути суттєвими.

Синергія між ощадливим виробництвом та автоматизацією, ймовірно, стане ще більш значущою, оскільки передові технології відкривають нові форми автоматизації, які можуть ще більше підвищити ефективність ощадливого виробництва. Використовуючи як принципи ощадливого виробництва, так і автоматизацію, виробники можуть досягти рівня ефективності, гнучкості та цінності для клієнтів, який дійсно відповідає світовому рівню.

Враховуючи те що, метою кваліфікаційної роботи є розробка програмного модуля SCADA-системи, який вирішує одне або декілька задач ощадливого виробництва, для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- визначити завдання, вхідні та вихідні параметри програмного модуля, який реалізується як підсистема SCADA-системи виробничого підприємства;
- розробити модель та алгоритм роботи підсистеми SCADA, яка виконує завдання Lean production;
- створити програмний продукт.

В якості предмету розробки обрано інтелектуальну систему управління якістю продукції в реальному часі.

Інтелектуальна система управління якістю продукції реалізує п'ятий принцип Lean production – PERFECTION (Досконалість). Він вимагає постійного вдосконалення процесів та кінцевого продукту.

Також інтелектуальна система управління якістю слугує виконанню принципу REMOVE WASTE (Усунення витрат), зокрема таких, як брак та зайві рухи.

Обчислювальне ядро інтелектуальної системи фактично приймає рішення замість людини-оператора. Тому однією із основних задач є вибір моделі прийняття рішень та її реалізація.

У теорії прийняття рішень виділяють кілька підходів [18] до вибору моделі і, відповідно, пропонують певну кількість моделей для кожної задачі.

Задача, яка вирішується, відноситься до багатокритеріальної. Для її вирішення обрано метод вагових коефіцієнтів важливості критеріїв, який заснований на отриманні додаткової інформації від об'єкта прийняття рішення та присвоєнні чисельних значень важливості критеріїв на основі цієї інформації. Задача зводиться до об'єднання багатьох критеріїв в один глобальний критерій, який визначається за формулою:

$$C_n = \sum_{i=1}^n w_i C_i, \quad (1.1)$$

де  $C_i$  – окремі критерії ( $i = 1, \dots, n$ );

$w_i$  – ваги (коефіцієнти важливості критеріїв, їх сума дорівнює одиниці).

У реальних ситуаціях доводиться приймати рішення на підставі множини критеріїв. Декілька критеріїв роблять задачу прийняття рішень багатокритеріальною. Задача багатокритеріального прийняття рішень визначається множиною можливих рішень  $X(x_{11}, \dots, x_{nm})$ , векторним критерієм  $K(k_1, \dots, k_n)$  і відношеннями переваг на множині  $A(a_1, \dots, a_m)$ . Для порівняння альтернатив на підставі критеріїв використовується критеріальна таблиця 1.1.

Таблиця 1.1 – Критеріальна таблиця

	$k_1$	$k_2$	...	$k_n$
$a_1$	$x_{11}$	$x_{21}$	...	$x_{n1}$
$a_2$	$x_{21}$	$x_{22}$	...	$x_{n2}$
...	...	...	...	...
$a_m$	$x_{1m}$	$x_{2m}$	...	$x_{nm}$

У рядках знаходяться альтернативи, у стовпцях – критерії, на перетині рядків і стовпців – оцінка альтернатив по відповідним критеріям.

У теорії багатокритеріального аналізу метод структуризації альтернатив називають вирішальним правилом.

## 2 РОЗРОБКА МОДЕЛІ SCADA–СИСТЕМИ ДЛЯ ВИРОБНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА ТИПУ LEAN PRODUCTION

2.1 Програмне забезпечення для візуалізації, диспетчерського керування, збору та аналізу даних

Сучасна SCADA-система з назвою Zenon є продуктом австрійської компанії SOPA-DATA GmbH. Офіційним дистриб'ютором продукції SOPA-DATA в Україні є компанія СВ АЛЬТЕРА.

Zenon була першим комплексним рішенням графічної візуалізації для Windows-систем. Завдяки постійній модернізації, удосконаленню та впровадженню новітніх технологій Zenon займає лідируючі позиції на ринку HMI та SCADA-систем в Україні.

Zenon повністю вирішує всі можливі задачі, що ставляться перед HMI та SCADA-системами. Дозволяє здійснювати зручне та наочне керування, чітку взаємодію всіх інженерних комплексів та автоматичну адаптацію. Базується на стандартних відкритих технологіях та пропонує величезний набір простих у використанні графічних функцій для побудови систем візуалізації.

Переваги Zenon:

- автоматичне проектування. Інтелектуальні майстри можуть самостійно обробляти завдання, що часто повторюються. Зменшення підготовчого періоду дозволяє сконцентруватися на дійсно важливих речах;

- можливість повторного використання проектів. Багато часу заощаджується завдяки можливості імпорту/експорту частин проектів або цілих проектів;

- міжнародне виконання. Використання юнікоду дає можливість використовувати паралельно будь-яку кількість мов;

- інтелектуальна інтеграція. Наявність відкритої центральної бази даних для змінних дозволяє уникати помилок і додаткових витрат;

– об'єктно-орієнтоване представлення. Визначені один раз централізовано об'єкти доступні у всьому проекті. Зміни набувають чинності лише одним введенням, швидко і безпомилково.

Децентралізація та прямий доступ до проектів нижчого рівня – це стандарт Zenon. Велика швидкість реакції при низькій пропускній здатності надзвичайно мінімізує витрачені зусилля.

Концептуально SCADA Zenon представляє собою програмно–технічний комплекс, який складається з середовища розробки проектів – Editor та середовища виконання – Runtime. Це дві незалежні оболонки, які виконують кожна свою функцію і можуть встановлюватися на робочу станцію окремо одна від одної. Середовище розробки містить набір модулів та інструментів, необхідних для написання повнофункціональних програм і пакет драйверів для підключення до найбільш розповсюджених апаратних засобів ПК.

Відповідно до задач, які необхідно вирішувати, SCADA Zenon має чотири редакції (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Опис редакцій SCADA-системи Zenon

Редакції системи Zenon	Опис
Zenon Operator	НМІ-система, призначена для створення нескладних проектів візуалізації для панелей оператора, вбудованих систем та локальних диспетчерських пунктів на ПК з певними функціональними обмеженнями.
Zenon Supervisor	Незалежна SCADA-система, яка містить повний набір функцій для реалізації диспетчерського керування та збору даних. Ефективно вирішує задачі побудови систем автоматизації будь-якої складності.
Zenon Energy Edition	Спеціальна редакція системи, яка містить додатковий набір функцій для енергетичної промисловості.
Zenon Pharma Edition	Спеціальна редакція системи, яка містить додатковий набір функцій для фармацевтичної промисловості.

Вибір необхідної редакції здійснюється на етапі установки системи. Для вирішення задач даної кваліфікаційної роботи будемо використовувати редакцію Zenon Supervisor.

Середовище розробки (Zenon Editor) дозволяє розробляти проекти та записувати їх в пристрої (ПК, панелі оператора) з середовищем виконання (рис. 2.1).

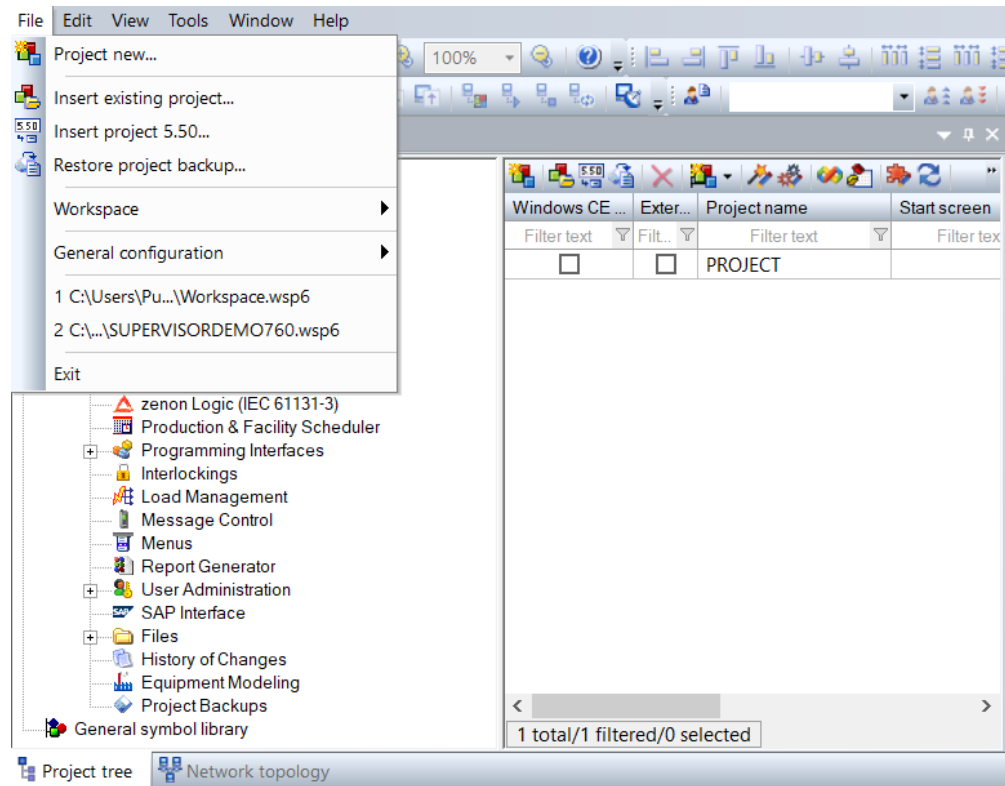


Рисунок 2.1 – Вікно Zenon Supervisor для розробки проекту

Середовище розробки Zenon працює незалежно від середовища виконання. Це дає можливість виконати зміни в проекті без переривання роботи усієї системи. Нові дані вступають в силу автоматично та безінерційно. Технологія віддаленого керування дозволяє в Редакторі використовувати інтегровані інструменти дистанційного моніторингу та обслуговування.

Zenon – відкрита та незалежна система, яка легко інтегрується в існуючу інфраструктуру підприємства. Вона здійснює обмін даними через усю мережеву ієрархічну структуру підприємства, починаючи від процесного рівня і закінчуючи аналітичними і планувальними відділами (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Вертикальна відкритість системи Zenon

Структурна схема системи зображена на рисунку 2.3 та демонструє загальний обсяг компонентів від виробництва (на схемі – Field) до рівня ERP підприємства.

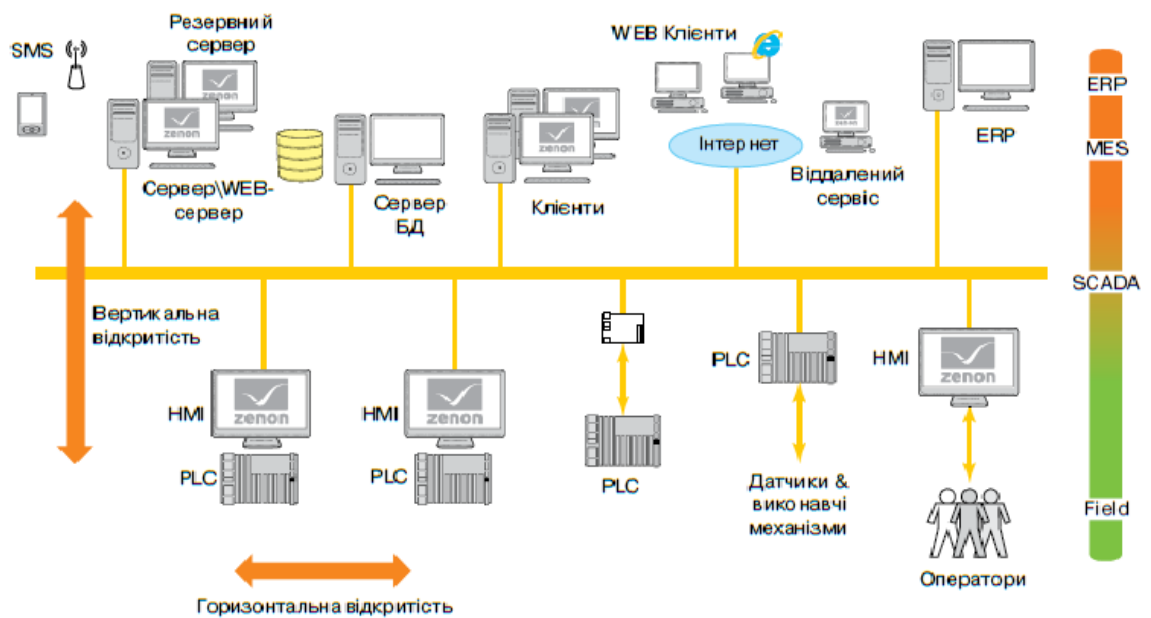


Рисунок 2.3 – Структурна схема побудови системи Zenon [14]

Zenon містить понад 300 комунікаційних протоколів. Розробник проекту має можливість вибору PLC з бази даних. Нові автомати і пристрої додаються

легко та швидко. В Zenon доступні стандартні інтерфейси (такі як OPC DA, OPC UA, SQL ODBC, SNMP, Modbus RTU, Open Modbus TCP), за допомогою яких можна безперешкодно під'єднатися до інших систем. Для тестування кожного підключення можна використовувати інтегрований інструмент симуляції без необхідності підключення до фізичних апаратних засобів.

Zenon забезпечує користувачів послідовною і безперебійною інформацією в режимі реального часу для прийняття швидких та вірних рішень. Вертикальна відкритість дає можливість реалізувати надійний зв'язок між пристроями виробничого рівня та системами MES, ERP.

В Zenon вбудована технологія мульти-проектного адміністрування, яка виходить за рамки класичної клієнт-серверної структури. На відміну від централізованої структури, вона базується на принципах децентралізації. Задача по керуванню великим промисловим комплексом може бути реалізована за допомогою створення не одного складного проекту, а як пакет багатьох невеликих проектів. Це значно спрощує обслуговування системи, збільшує її надійність та дозволяє легко її розширювати. В Zenon прив'язка сервера/клієнта йде не до робочої станції, а до відповідних проектів. Так, на одному РС одночасно можуть бути запущені декілька проектів візуалізації. При цьому робоча станція може виступати для одного проекту сервером, а для іншого – клієнтом. Аналогічно для багато-серверних та багато-клієнтських проектів. Така відкритість слугує базою для реалізації технологій “кругове резервування” та “горизонтальна відкритість”, які являються авторською розробкою COPA-DATA.

Мультипроектне адміністрування дозволяє реалізувати технологію “горизонтальної відкритості”: усі проекти одного рівня можуть бути керовані з одної робочої станції. Наприклад: для обслуговування агрегату встановлено п'ять терміналів. Кожен термінал має свій власний проект візуалізації. За допомогою “горизонтальної відкритості” існує можливість управляти як власним проектом, так і проектами сусідніх терміналів. Таким чином, з однієї станції досягається повний контроль за усією установкою.

Стандартизовані інтерфейси (ODBC/OLE DB) використовуються для простого підключення до баз даних, таких як Oracle, MSSQL Server, DB2, Informix тощо. Інтерфейс бази даних конфігурується усього кількома кліками миші. Усі необхідні підключення і навіть таблиці в БД SQL створюються автоматично.

Zenon також може підключатися до ERP систем. Гнучкі мережеві рішення Zenon дозволяють легко інтегруватися у вже існуючі системи і дають можливість швидко їх розширювати (рис. 2.3).

Середовище розробки проектів Zenon Editor є потужним та зручним інструментом, який дозволяє користувачу створювати сучасні та високотехнологічні системи керування, візуалізації та збору даних. Ключовою особливістю Zenon являється параметризація, а не програмування. Це означає, що процес розробки проходить швидко та безпомилково, і не вимагає додаткових технічних знань.

Середовище виконання Zenon Runtime робить проекти, розроблені в Editor, доступними для користувача. Runtime надає інструменти для зручного керування та візуального представлення процесу. Високий ступінь експлуатаційної зручності знижує час, необхідний для здійснення виробничих операцій, а також допомагає зменшити вплив людського фактору при керуванні.

Управління виробничим процесом здійснюється через клавіатуру і сенсорний екран. Швидка навігація здійснюється через “гарячі” кнопки, табулятори, клавіші управління курсором, користувацькі віртуальні клавіатури. При сенсорному керуванні може бути просимульоване натискання правої кнопки миші для виклику контекстного меню.

## 2.2 Контроль та прийняття управлінських рішень

Враховуючи міжнародний та вітчизняний досвід аналізу аварійних ситуацій на виробництві, енергетиці, транспорті актуальною задачею при побудові моделі автоматизованих систем управління в реальному часі є перенос

функцій диспетчера по аналізу даних, прогнозуванню ситуацій та прийняттю відповідних рішень на модулі інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

Таким чином, функції інтелектуальних SCADA-систем повинні містити ситуаційний і логічний аналіз подій або станів, прогноз впливу на технологічний процес в часі та оперативний план дій персоналу при виникненні відхилень від нормативних показників або нештатних ситуацій.

Завдання управління вимагають безперервного циклічного контролю. У будь-яких цифрових пристроях безперервність досягається за рахунок застосування дискретних алгоритмів, що повторюються через досить малі проміжки часу. Таким чином, обчислення в ПЛК завжди повторюються циклічно. Одна ітерація, що включає замірювання, обрахування і вироблення дії, називається робочим циклом ПЛК. Програма ПЛК виконується як частина процесу, що повторюється, який називається скануванням. У стандартному ПЛК сканування розпочинається з того, що процесор зчитує стан вхідних контактів. Далі виконується технологічна програма. Після закінчення виконання програми процесор виконує внутрішні діагностичні та комунікаційні завдання. Для прийняття управлінських рішень в системі Zenon використовується довідка в Runtime. До проекту може бути інтегрована технічна документація або будь-які інші допоміжні документи. Система довідки базується на стандартному HTML форматі.

Пряме підключення до апаратних засобів дає можливість за допомогою спеціальних службових інструкцій швидко виявляти комунікаційні проблеми, оптимізувати процес виробництва та значно зменшити витрати через прості обладнання.

Наступним кроком є оновлення статусу усіх виходів. Цей процес повторюється постійно, поки ПЛК знаходиться у режимі роботи. Після увімкнення живлення ПЛК виконує самотестування і налаштування апаратних ресурсів, очищення оперативної пам'яті даних (ОЗП), контроль цілісності програми користувача. Якщо програма збережена в пам'яті, ПЛК переходить до

основної роботи, яка складається з постійного повторення послідовності дій, що входять у робочий цикл (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Стандартний цикл роботи ПЛК

Монітор системи виконання містить велику кількість функцій, необхідних у процесі налаштування програми і забезпечення взаємодії з системою програмування, сервером даних і мережі.

Програма працює тільки з миттєвою копією входів. Таким чином, значення входів у процесі виконання програми не змінюються в межах одного робочого циклу. Це фундаментальний принцип побудови ПЛК скануючого типу. Такий підхід виключає неоднозначність алгоритму обробки даних у різних його гілках.

### 2.3 Реалізація концепції Smart Factory

Головним завданням розробників системи було адаптування її до нових вимог, які обумовлені наближенням наступного етапу промислової революції – переходу до побудови «Розумного виробництва» (Smart Factory).

Розумне виробництво – це повністю інтегровані, спільні, виробничі системи, які реагують у режимі реального часу для задоволення змінних вимог та умов на заводі, в мережах постачання та потребах клієнтів [15].

Ключовими критеріями тут виступають такі поняття, як Хмарні технології, Big Data, Internet of Things, HTML5, технології для мобільних пристроїв, кіберзахист.

Zenon підтримує хмарні технології на базі Microsoft Azure. Для великих компаній з територіально розподіленим виробництвом головною проблемою є швидкий доступ до інформації та взаємний обмін нею між різними цехами. З технологією Microsoft Azure стало можливим здійснювати архівування усіх параметрів процесу безпосередньо у хмару. Це дозволяє на глобальному рівні виконувати загальний моніторинг стану виробництва, точно обраховувати ключові параметри продуктивності обладнання, оперативно виявляти “слабкі місця” та оптимізувати процеси.

Також Zenon забезпечує простий, безпечний і швидкий зв'язок виробництва з ERP-системою Microsoft Dynamics.

Менеджмент підприємства в онлайн режимі має доступ до усіх даних процесу і на їх базі може швидко реагувати на поточну ситуацію на виробництві. Двосторонній зв'язок між різними рівнями виробництва дає кілька переваг. Завдяки прямому обміну даними, два раніше незалежні рівні зливаються в одну суцільну систему, в якій все знаходиться під контролем. Виробничі дані і події доступні в режимі реального часу і дозволяють швидко втручатися в хід протікання процесу. Таким чином забезпечується оптимальне використання персоналу та матеріальних ресурсів, на відміну від використання наближених післяопераційних планів.

## 3 РОЗРОБЛЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ПІДСИСТЕМИ ІНФОРМАЦІЙНОГО СПОВІЩЕННЯ

### 3.1 Тривога та хронологія подій

Одним з факторів забезпечення високої продуктивності виробництва і збереження ресурсів являється швидке інформування операторського персоналу про будь-які позаштатні ситуації або тривоги, та своєчасне реагування на них. В Zenon цю задачу виконують модулі відображення хронології тривоги і подій.

Для керування тривогами, повідомленнями та хронологічними подіями в Zenon присутні наступні інструменти:

- статусна строка тривоги: відображає поточну тривогу в строці статусу, яка з'являється поверх активних вікон;
- інформаційний список тривоги (AML): відображує оператору інформацію стосовно усіх тривоги в системі;
- хронологічний список подій (CEL): відображає в хронологічному порядку події, пов'язані з ходом виконання процесу, та системні повідомлення Zenon.

Вікна цих типів можуть бути індивідуально адаптовані до потреб конкретної задачі. Усі необхідні функції наперед створені в Zenon і не потребують написання жодних скриптів.

Прикладів недосконалої системи управління тривогами на рівні SCADA нажалі багато. Наприклад, класичним способом контролю роботи двигунів є використання в якості зворотного зв'язку додаткових контактів, які замикаються при спрацюванні пускачів. Таким чином система інформаційного сповіщення відслідковує сигнал керування та зворотний зв'язок по функції логічного AND з урахуванням затримки часу. На одному з об'єктів, при впровадженні системи АСУТП, замовник узяв на себе частину робіт щодо забезпечення керування та контролю спрацювання двигунів на насосах та інших механізмах, у тому числі роботи з прокладання кабельних проводок та підключення. У результаті

виявилось, що на момент пуско-налагоджувальних робіт замовник не виконав цієї частини роботи. Це призвело до великої кількості тривог, які пов'язані з двигунами. Враховуючи, що ці тривоги займали велику кількість повідомлень у журналі, інші тривоги були невидимими й ігнорувалися оператором. Зрештою оператор взагалі не сприймав систему оповіщень, оскільки вона постійно видавала повідомлення. У наведеному прикладі, здавалось би, винуватий замовник, але це не зовсім так. Система керування повинна передбачати механізми відключення (блокування) таких тривог.

Це тільки один з прикладів недостатньо продуманої підсистеми інформаційного сповіщення, однак таких випадків дуже багато. У дослідженнях організації “Управління з охорони праці Великобританії” (HSE) наведено багато прикладів, коли недостатньо продумана система оповіщень призводила до фатальних наслідків, які супроводжувалися забрудненням довкілля, нанесенням шкоди здоров'ю і, навіть смертю великої кількості людей. Одна з причин – відсутність на той час затверджених в стандартах кращих практик, інша – недотримання існуючих [16].

### 3.2 Модель підсистеми інформаційного сповіщення

В розділі 3.1 описано підсистему інформаційного сповіщення з точки зору користувача.

В цьому розділі розглянемо підсистему інформаційного сповіщення з точки зору розробника.

Функції інформаційного сповіщення є одними з найважливіших у системах SCADA/HMI, тому входять до комплектності усіх засобів цього типу і нерідко є виділеною підсистемою. Добре пророблені функції запобігають аварійним ситуаціям і можуть не тільки зменшити збитки, а й зберегти життя людей і довкілля. З іншого боку, якщо підсистема або окремі її функції погано реалізовані, то це може звести нанівець усю її роботу. Останнє, на жаль, часто спостерігається на вітчизняних підприємствах, де до розроблення функцій

системи інформаційного сповіщення ставляться легковажно. Наступний приклад може здатися багатьом дуже знайомим.

Згідно зі стандартом ISA-18.2 тривога (з англ. alarm) – це звукові та/або візуальні засоби індикації для оператора про несправність устаткування, відхилення від процесу, ненормальні умови, які потребують своєчасного реагування.

Згідно зі стандартом ISA-18.2, сукупність апаратного і програмного забезпечення, яке виявляє стан тривоги, повідомляє про це операторові і записує в журнал зміни стану, називається системою оповіщень (alarm system). При цьому наголошується, що оператор є частиною цієї системи. Є також інші означення у вітчизняних стандартах, зокрема у ДСТУ 3960-2000, де такі системи – це електричне устаткування, призначене для виявлення та попередження про наявність небезпеки.

Стандарт розглядає систему інформаційного сповіщення в контексті взаємодії з іншими системами. До сфери її діяльності можуть входити БСКТП/ВРС (базова система керування технологічними процесами/the basic process control system), СПАЗ/SIS (система протиаварійного захисту/the safety instrumented system) та інші автономні системи (packaged systems), кожна з яких використовує свої датчики вимірювання для стеження за умовами проходження процесу і логіку генерування тривог (рис. 3.1).

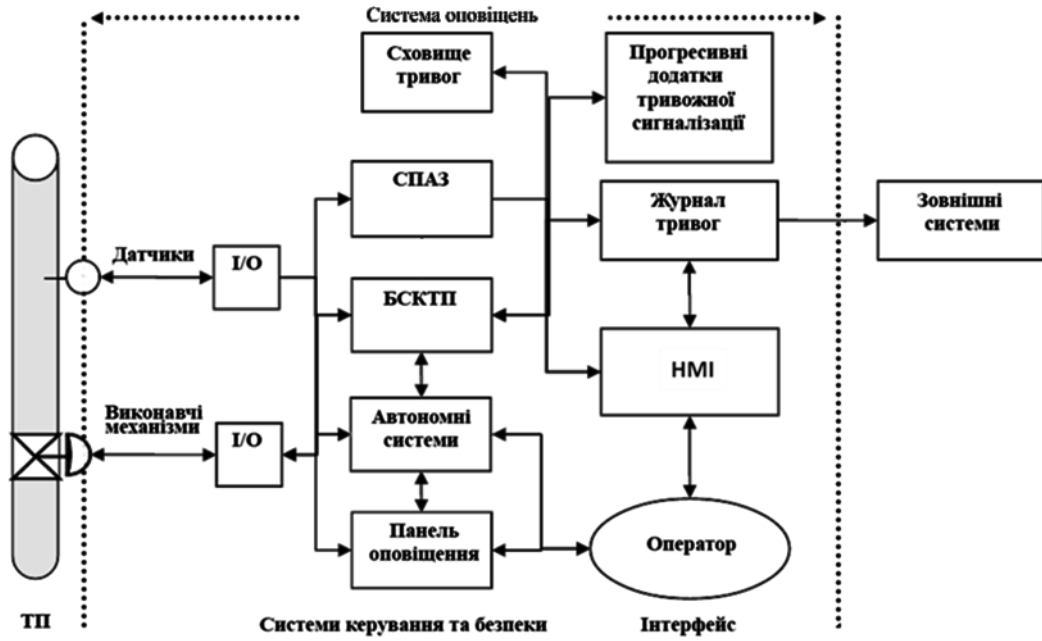


Рисунок 3.1 – Функціональна структура системи оповіщень

Система інформаційного сповіщення забезпечує передачу інформації про тривогу оператору через НМІ (Human Machine Interface), зазвичай являє собою екран комп'ютера) або на панель оповіщення (annunciator panel) (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Приклад панелі оповіщення

До додаткових функцій системи інформаційного сповіщення належать ведення журналу тривог (alarm log), сховища тривог (alarm historian) та розрахунок показників ефективності функціонування системи.

Розробники нерідко забувають, що система інформаційного сповіщення розроблена саме для оператора, який у даному контурі посідає головне місце. Саме його реакція і дії визначають досягнення цілей функціонування тривоги. Ця система лише допомагає операторові виявити тривогу та надати йому інструменти для швидкого орієнтування в ситуації. Дії щодо виправлення нештатної ситуації він повинен сформулювати і провести самостійно. Тому в стандарті ISA-18.2 велику увагу приділяють опису моделі контуру тривоги через взаємодію оператора з процесом (рис. 3.3).

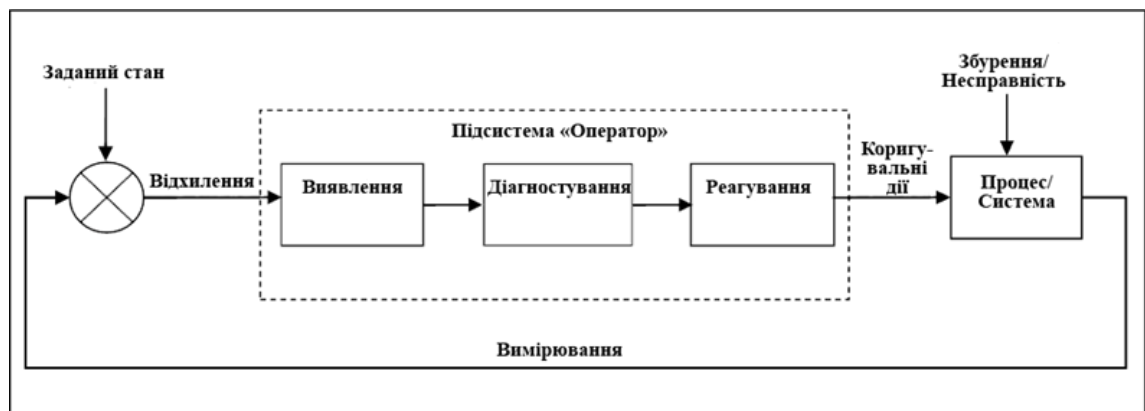


Рисунок 3.3 – Модель контуру тривоги через взаємодію оператора з процесом

Тривога потрібна для усунення оператором або іншою уповноваженою особою нештатної ситуації в тому випадку, коли алгоритми автоматичного керування не передбачають цього. Наприклад, якщо зміна в процесі істотно відхиляється від бажаного стану, а система керування не може це виправити, оператор повинен вжити певних заходів, щоб повернути процес до норми. Якщо устаткування або система керування має несправність, то обслуговуючий персонал повинен вчасно зробити дії щодо її усунення. Будь-яка з наведених

ситуацій передбачає, що оператор повинен виявити факт нештатної ситуації, діагностувати її та вжити відповідних дій:

– виявлення (detect): оператор дізнається про відхилення від бажаного стану або несправності устаткування за допомогою відповідного сигналу тривоги. Структура системи інформаційного сповіщення та інтерфейс оператора повинні сприяти виявленню відхилень;

– діагностування (diagnose): у відповідь на відхилення оператор використовує свої знання та навички для інтерпретації інформації, діагностування ситуації та визначення необхідних коригувальних дій. Діагностувати ситуацію операторові допомагають процедури реагування на тривогу;

– реагування (respond): вживаються коригувальні дії для компенсації збурення. У відповідь на відхилення оператор (або інша уповноважена особа) приймає коригувальні дії і контролює процес, щоб визначити, чи було виправлене це відхилення.

Кожен із цих етапів дуже важливий і потребує окремої уваги на всіх стадіях життєвого циклу системи. Крім того, треба врахувати, що людина в цьому контурі є найбільш непередбачуваною ланкою.

На здатність оператора виконувати свої функції впливає багато факторів, у тому числі:

- навантаження;
- ергономіка операторської консолі;
- обмеження пам'яті;
- втома;
- знання;
- мотивація.

При розробленні системи інформаційного сповіщення неврахування якогось із наведених факторів може призвести до проблем. Зокрема, кількість активних тривог та частота зміни їх стану можуть стати причиною неефективності роботи системи інформаційного сповіщення. Згідно зі

стандартом ISA-18.2, ситуація, при якій частота виникнення тривог більша, ніж оператор може їх ефективно опрацювати, називається переповненням тривог (з англ. alarm flood). Прикладом переповнення тривог може бути показник частоти більший ніж 10 тривог за 10 хвилин. Для усунення цього негативного ефекту в стандарті ISA-18.2 означено багато механізмів та рекомендацій щодо побудови життєвого циклу організації системи інформаційного сповіщення [9].

Розглянемо контур тривоги в системі як взаємопов'язані функції (рис. 3.4):

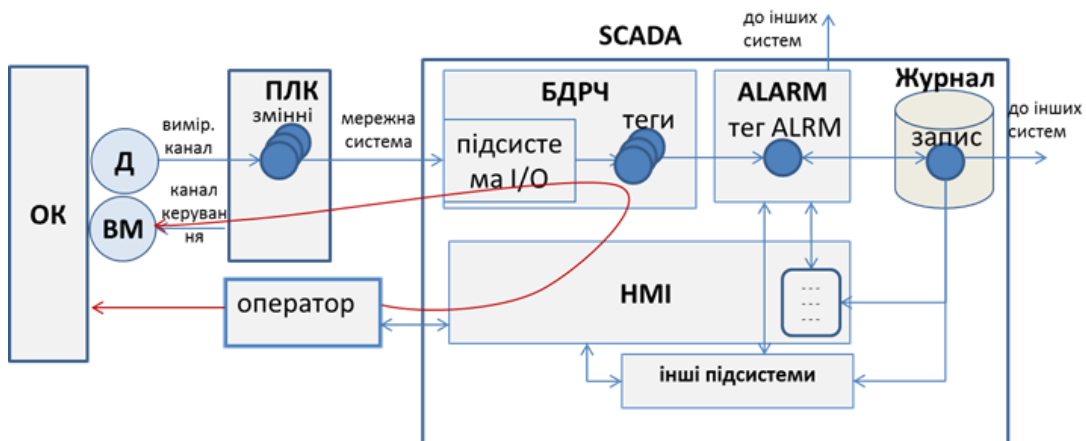


Рисунок 3.4 – Деталізована модель тривожного контуру

- вимірювання значення даних, які необхідно контролювати з об'єкта керування;
- оброблення даних на пристрої збирання (наприклад ПЛК);
- зчитування даних із пристрою збирання та їх оброблення в базі даних реального часу (БДРЧ);
- зчитування даних з бази даних реального часу та їх оброблення в підсистемі інформаційного сповіщення;
- відображення стану та керування тривогами в підсистемі HMI;
- записування змін стану тривоги в журнал тривог та подій.

Реагування оператора може проводитись як через підсистеми SCADA, так і безпосередньо через ручні засоби керування (на рис. 3.4 показано бордовими лініями).

На рис. 3.4 підсистема інформаційного сповіщення включає в себе тег ALARM, однак це є умовним позначенням, і наявність такого типу тегів залежить від реалізації. Також слід нагадати, що ця підсистема (позначена як SCADA ALARM) може бути реалізована як у вигляді окремого сервера (навіть на окремому ПК), так і не існувати як підсистема, натомість її функції реалізовуватимуть в інших частинах SCADA/HMI.

### 3.3 Інтелектуалізація SCADA-систем для Lean production

Без автоматизованих систем роботизоване виробництво ризикує обмежити контроль та точність управління виробничими процесами. Lean Production вимагає постійного збору інформації та аналізу, який часто передається працівникам, які працюють з автоматизованою системою. За наявності систем SCADA або MES, дані про виробничі процеси можуть бути зібрані автоматично, забезпечуючи більш точний та своєчасний аналіз. В умовах критичних виробництв та в умовах воєнного стану іноді кожна секунда має значення, тому покладення завдань, які можуть виникнути випадково, на операторів автоматизованих систем є ризиком, який потрібно планувати заздалегідь.

Наприклад, при управлінні екологічно небезпечними технологічними об'єктами, складність яких увесь час зростає, оператор повинен опрацювати дедалі більші потоки вхідної інформації. Результатом такого управління може бути зростання кількості інцидентів, аварій і катастроф. Виходом зі такого становища є передання більшої частини функцій обробки інформації від людини-оператора до засобів автоматизації, тобто посилення інтелектуальних здібностей чинних і проєктованих систем управління.

SCADA-системи можна розділити на дві групи за ознакою використання методів штучного інтелекту для розв'язання завдань підтримки ухвалення рішень оператором складного об'єкта контролю та управління.

До першої групи входять SCADA-системи, що реалізують традиційні функції моніторингу та управління процесами:

- ведення бази даних реального часу;
- виконання розрахунків;
- графічне представлення даних і параметрів у вигляді мнемосхем, графіків, діаграм тощо;
- попереджувальна сигналізація;
- архівування інформації;
- генерування звітів.

Другу групу складають SCADA-системи, що використовують методи обробки і подання інформації, засновані на знаннях. Вони стали називатися інтелектуальними SCADA-системами. У функції таких систем входить інтелектуальна інформаційна підтримка людини-оператора під час керування процесами. До числа цих функцій належать:

- ситуаційний аналіз стану об'єкта контролю та управління;
- оперативний пошук дій оператора-управління в разі виникнення аномальних і критичних ситуацій;
- діагностика стану технологічного обладнання;
- діагностика стану технологічного процесу;
- логічний аналіз подій;
- логічний аналіз аномальних ситуацій;
- прогноз поведінки процесу в часі та інші;
- захист від несанкціонованих технологічним регламентом дій оперативного персоналу;
- ведення баз даних і знань реального часу;
- ведення гіпертекстових баз експлуатаційних і регламентних знань.

Системи першої та другої групи можуть доповнювати одна одну і застосовуватися спільно. Однак, якщо системи першого типу – це базис сучасних систем управління, то системи, що базуються на знаннях, використовуються поки що не часто.

Основні складові інтелектуальної SCADA-системи представлені наступними блоками (рис. 3.5).

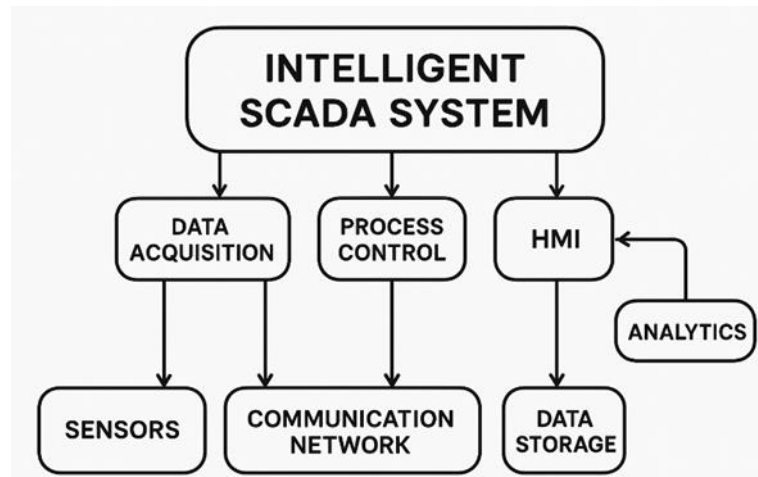


Рисунок 3.5 – Схема інтелектуальної SCADA-системи

Збір даних (Data Acquisition): датчики та сенсори (Sensors) отримують дані про фізичні параметри (температура, тиск, рівень рідини тощо); контролери (Controllers) – приймають сигнали від датчиків та передають їх у SCADA-систему.

Процесний контроль (Process Control): PLC (програмовані логічні контролери) управляють виробничими процесами на основі отриманих даних; DCS (розподілена система управління) використовується для більш складних виробничих процесів.

Людино-машинний інтерфейс (HMI – Human Machine Interface) надає операторам доступ до інформації та дозволяє управляти процесами через графічний інтерфейс.

Комунікаційна мережа (Communication Network) передає дані між польовими пристроями, контролерами та SCADA-системою через дротові (Ethernet, OPC-UA) або бездротові (LoRa, 5G) мережі.

Зберігання та обробка даних (Data Storage & Processing): сервери SCADA накопичують історичні та реальні дані; хмарні платформи дозволяють аналізувати та зберігати великі масиви даних у віддалених дата-центрах.

Аналітика та штучний інтелект (Analytics & AI) прогнозує можливі несправності обладнання, оптимізує процеси, виявляє аномалії у роботі системи.

Запропонована модель інтелектуальної SCADA-системи може бути використана для розробки автоматизованої системи

Сьогодні тематика штучного інтелекту охоплює широкий спектр наукових напрямів всі новітні інформаційно-керуючі системи мають бути інтелектуальними за своєю суттю.

Зі зростанням складності виробництва, обсягів даних та вимог до ефективності, традиційні SCADA-системи потребують вдосконалення шляхом впровадження елементів інтелектуального аналізу та прийняття рішень.

Інтелектуальні підсистеми дозволяють розширити функціональні можливості SCADA за рахунок використання алгоритмів машинного навчання, предиктивної аналітики, обробки великих даних та адаптивного управління. Це відкриває нові перспективи для підвищення надійності, продуктивності та енергоефективності виробництва, а також зменшення людського фактору в управлінні.

Поєднання SCADA з інтелектуальними компонентами є важливим етапом переходу до концепції Індустрії 4.0, що забезпечує конкурентоспроможність підприємств на глобальному ринку.

Для створення інтелектуального модуля для SCADA-системи типу Zenon доцільно використовувати процедуру управління, яка має можливість викликати зовнішню програму.

Інтелектуалізація SCADA-систем.

Людина-диспетчер в умовах реального часу змушена швидко приймати рішення не маючи вичерпаної інформації (іноді досвіду) та обмежена в часі. В таких складних умовах виникає інформаційне перевантаження, що є достатнім приводом для підключення штучного інтелекту до управління виробничим процесом.

Графічна модель розробленої інтелектуальної системи для Lean production зображена на рисунку 3.6.

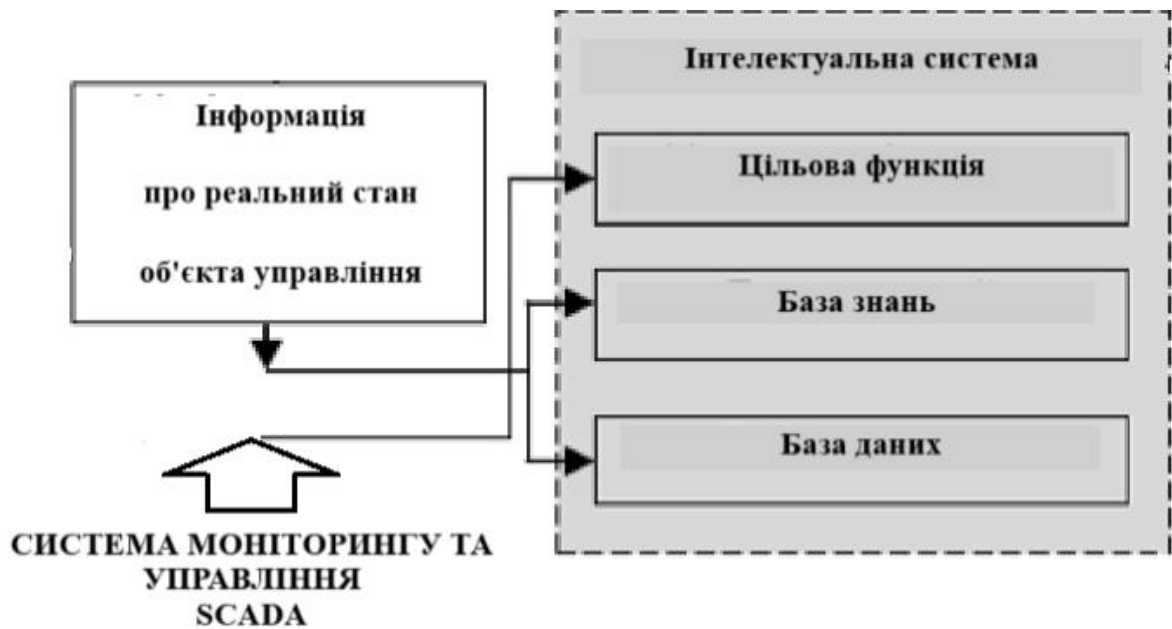


Рисунок 3.6. – Модель інтелектуальної SCADA-системи для Lean production

### 3.4 Програмна реалізація

Проект SCADA ALARM представляє собою підсистему обробки та аналізу тривоги, яка може бути вбудована в існуючу систему SCADA виробничого підприємства.

Даний проект реалізує програму мовою C#, яка моделює роботу системи сповіщень (тривоги). Програма має інтерфейс керування та автоматичне зчитування сповіщень (симуляція реальних аварійних подій завдяки функції штучного генерування подій), і також має додаткові вікна для ручного додавання сповіщень оператором. У панелі вбудовано функції групування тривоги за небезпечністю події, і також інтегровано штучний інтелект для подальшого аналізу.

Основні можливості:

- обробка переліку тривоги та зберігання у форматі CSV;
- автоматична генерація подій та можливість додавання оператором;
- сортування тривоги за пріоритетністю (від найвищого до найнижчого);

- виведення інформації про кожну тривогу у зручному для читання вигляді;
- підтримка української мови та кодування UTF-8;
- можливість групування тривог за небезпечністю;
- Прогноз аварійних подій базуючись на записнику використовуючи інтегрований штучний інтелект;
- Вивід інструкцій для оператора використовуючи складну модель штучного інтелекту Google Gemini 2.5 Flash;
- Обчислювання загальної ефективності обладнання (Overall Equipment Effectiveness, OEE) у реальному часі;

Властивості MainForm описані в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Набір функцій класу MainForm

Функція	Тип	Опис
MainForm_Load	object sender, EventArgs e	Ініціалізація панелі оператора
InitializeAlarmGrid	Private void function	Побудова таблиці для виводу тривог
LogToUI	string tex	Додавання логів до вікна інтерфейсу
OnAlarmAdded	Alarm alarm	Виконання команд після спрацювання сповіщення
AddAlarmToUI	Alarm alarm	Додавання сповіщення до таблиці у панелі оператора
btnViewGroups_Click	object sender, EventArgs e	Кнопка, яка групує тривоги за небезпечністю
ApplyRowColor	DataGridViewRow row, string severity	Змінює колір рядка у таблиці тривог в залежності від її небезпечності

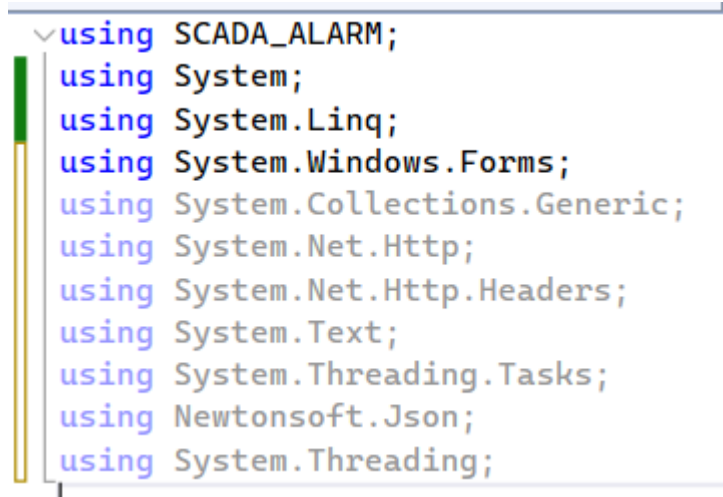
Продовження таблиці 3.2

Функція	Параметри	Опис
OnExternalAlarm	string message, string severity	Додає сповіщення до менеджера тривоги (таблиці) завдяки додатковому пульта керування оператора
UpdateStatus	Private void function	Оновлює інформація про статус та рівень ОЕЕ у панелі оператора
btnStart_Click	object sender, EventArgs e	Змінює стан підсистеми на Running і сканує наявні тривоги для відображення сповіщення у панелі оператора. Також запускає функцію обчислення ОЕЕ
btnStop_Click	object sender, EventArgs e	Зупиняє моніторинг позаштатних ситуацій та функцію обчислення ОЕЕ
btnTriggerAlarm_Click	object sender, EventArgs e	Функція кнопки для відкриття додаткового вікна панелі оператора для ручного додавання тривоги

Продовження таблиці 3.2

Функція	Параметри	Опис
btnAcknowledgeSelected_Click	object sender, EventArgs e	Функція кнопки для підтвердження тривоги оператором (що вона є поміченою та оператор усвідомлений про неї)
btnExport_Click	object sender, EventArgs e	Експортує таблицю сповіщень з панелі оператора у форматі CSV
btnPredict_Click	object sender, EventArgs e	Функція для прогнозування аварійних ситуацій базуючись на записах у таблиці тривог
btnAckAll_Click	object sender, EventArgs e	Функція для підтвердження всіх сповіщень, що є індикацією усвідомлення оператором про проблеми, та допомагає не сплутати невирішені тривоги з вирішеними.

Заголовні файли проекту зображені на рис. 3.7.



```
using SCADA_ALARM;  
using System;  
using System.Linq;  
using System.Windows.Forms;  
using System.Collections.Generic;  
using System.Net.Http;  
using System.Net.Http.Headers;  
using System.Text;  
using System.Threading.Tasks;  
using Newtonsoft.Json;  
using System.Threading;
```

Рисунок 3.7 – Перелік заголовних модулів проекту SCADA ALARM

Using SCADA\_ALARM є основою для створення класу у C#. Бібліотека System надає змогу користуватися базовими типами, як string, DateTime, та інші.

Using System є основою для створення класу у C#. Бібліотека System надає змогу користуватися базовими типами, як string, DateTime, та інші.

Using System.Linq дозволяє працювати з колекціями (таблицями) й застосовувати до них функціонал сортування й фільтрування.

Using System.Windows.Forms дозволяє програмі використовувати функціонал форм .NET Framework. Це включає у себе готові класи кнопок, вікон, подій, та іншого.

Using System.Collections.Generic дозволяє програмі працювати з колекціями даних конкретного типу, як int, string та інші.

Using System.Text використовується для кодування тексту і підтримки UTF-8.

Using System.Threading додає можливість запускати декілька задач одночасно, що допомагає безперервно працювати з візуальним інтерфейсом та мати багато фонових процесів. Також надає функціонал для синхронізації процесів, блокування виконання, робота з таймерами та інше.

Using `System.Threading.Tasks` надає можливість виконувати функції асинхронно не перешкоджаючи основний потік команд.

Using `Newtonsoft.Json` - це NuGet пакет, що додає можливість працювати з форматом JSON у .NET проекті. У нашому випадку використовується для підключення LLM (Large Language Model).

Using `System.Net.Http` це директива, що підключає функціонал для роботи з HTTP (Hypertext Transfer Protocol) у мові програмування C#.

Using `System.Net.Http.Headers` підключається для роботи з HTTP-заголовками під час надсилання та отримання HTTP запитів.

Розглянемо детальніше таблицю виводу сповіщень на панелі оператора.

Таблиця сповіщень складається з таких стовпців:

- `Time`. Виводить точний час тривоги з урахування секунд.
- `Message`. Виводить повідомлення тривоги (назву сповіщення), що надає оператору скорочену інформацію про подію;
- `Severity`. Значення небезпечності поточної події, що поділяється на критичну, високу, середню та низьку;
- `Acknowledged`. Булеве значення, що відображає підтвердження тривоги оператором. Якщо тривога не підтверджена, означає, що оператор не усвідомлений про безпеку;

Властивості класу `MainForm` надано в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Властивості класу `MainForm`

Властивість	Тип	Опис
<code>alarmManager</code>	<code>AlarmManager</code>	Менеджер для обробки та збереження активних тривог.
<code>equipmentStatus</code>	<code>EquipmentStatus</code>	Зберігає поточний стан обладнання ( <code>Running</code> , <code>Stopped</code> , <code>Error</code> ).

Продовження таблиці 3.3

Властивість	Тип	Опис
performanceMonitor	PerformanceMonitor	Обраховує ефективність (ОЕЕ), час простою та роботи.
dataAcquisition	DataAcquisition	Симулятор збору даних, яка генерує тривоги.
llm	LLMService	Штучний інтелект, який аналізує повідомлення тривоги.
dataGridView1	DataGridView	Таблиця для візуалізації активних тривоги.
lstLogs	ListBox	Журнал повідомлень (логів), що відображає хронологію подій.
lblStatus	Label	Відображає поточний статус обладнання (наприклад, Running або Error).
lblOEE	Label	Відображає розрахований показник ефективності (ОЕЕ).
lstGrouped	ListBox	Список для відображення згрупованих тривоги за рівнем важливості.

Код реалізує інтелектуальну SCADA-підсистему управління тривогами. Програма має основний функціонал, який притаманний SCADA системам. Першим ключовим компонентом є система логування, що дозволяє робити аналіз даних та є джерелом даних для штучного інтелекту і наступних функцій, як прогнозування тривоги в залежності від повторень сповіщень одного й того ж типу. Інтегрований штучний інтелект, що базується на LLM Google Gemini 2.5 Flash, який був випущений 2025 року і є головним конкурентом ChatGPT, але перевага Google Gemini 2.5 Flash у швидкості надання відповідей і великого контекстного вікна, що збільшує можливість аналізу даних для штучного інтелекту, і дозволяє надавати послідовні і розумні інструкції та прогнози.

Загалом програма підтримує інтелектуальних аналіз тривоги, що є популярним для Smart SCADA Industry 4.0.

Програма має функціонал експортування таблиці сповіщень у формат CSV (Comma Separated Values), що дозволяє їх легко імпортувати у Zenon SCADA для подальшого використання з іншими системами моніторингу. Також через широку підтримку різних пристроїв, Zenon може слугувати, як центральна система для виклику команд, тому коли дані з підсистема управління тривогами імпортовано у Zenon, можуть спрацювати фізичні прилади на виробничих підприємствах, та надіслані команди до приладів, наприклад як включення, вимкнення обладнання, зміна розкладу роботи приладів для зниження ризиків аварії, тощо.

Програма має мінімалістичний інтерфейс без зайвих елементів, що надає оператору можливість легкого моніторингу тривоги. Використано також моніторинг простоїв через обчислення значення загальної ефективності обладнання (Overall Equipment Effectiveness), що є важливим для виробничих підприємств типу Lean production.

Програма технічно відповідає темі SCADA для Lean-виробництва та реалізує основні аспекти, як:

- реагування;
- контроль;
- прогноз;
- оцінка.

Візуальний інтерфейс програми SCADA ALARM наведено на рис. 3.8.

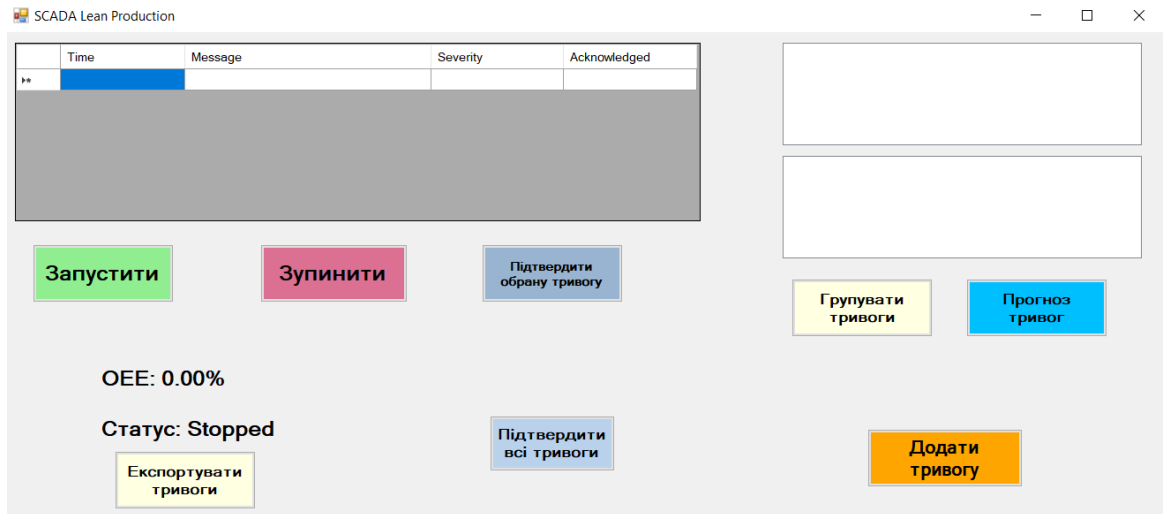


Рисунок 3.8 – Вигляд програми SCADA ALARM

При натисканні кнопки «Запустити» реалізацію виконання функції автоматичного генерування позаштатних ситуацій (тривог) у інтервалі 5 секунд та з вірогідністю 20%. Коли тривога з'являється на головній панелі, інформація надсилається до штучного інтелекту для його обробки та після цього інструкція про дії, які повинні бути зроблені оператором виводиться на екрані. Чим більше система неактивна, тим нижче коефіцієнт OEE.

Роботу програми SCADA ALARM зображено на рис. 3.9.

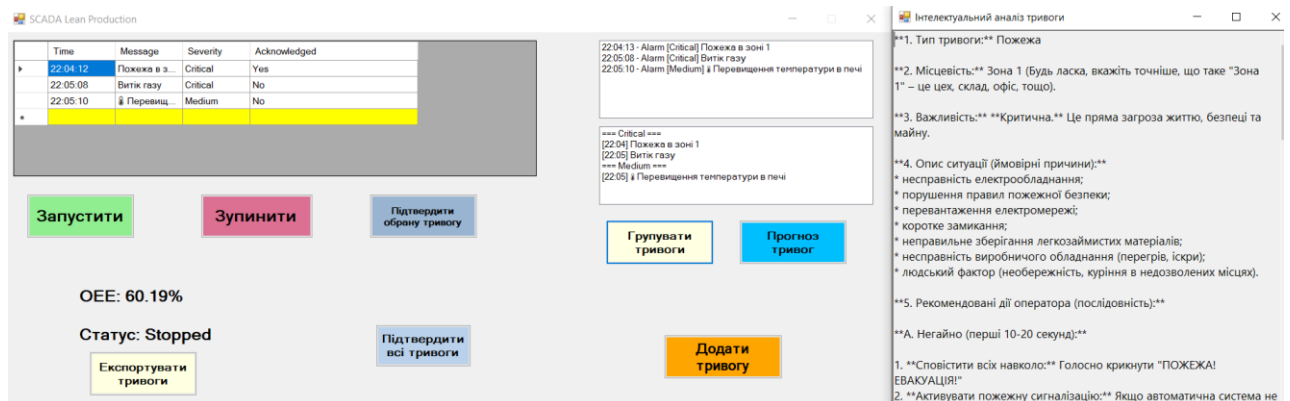


Рисунок 3.9 – Вигляд програми SCADA ALARM

Після отримання даних ми можемо їх експортувати та імпортувати у середовище Zenon SCADA для подальшого використання.

На рис 3.10 наведено проект програми Zenon Supervisor.

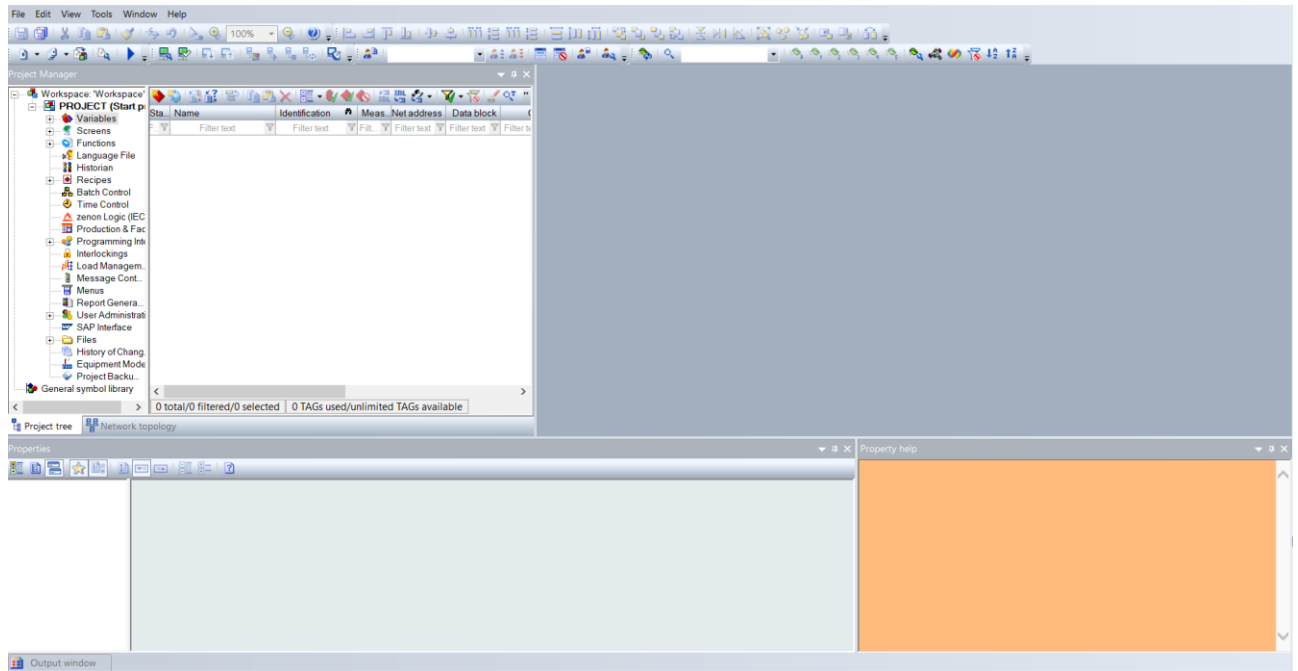


Рисунок 3.10 – Вигляд програми Zenon Supervisor

Після імпортування у програму Zenon, будуть автоматично створені значення (стовпці), у які буде додано інформацію про тривоги, які було отримані за допомогою підсистеми SCADA ALARM.

На рис 3.11 наведено імпортовану таблицю у Zenon Supervisor.

The screenshot shows the Zenon Supervisor software interface with the 'Project Manager' window. The table in the center displays imported alarm data. The table has four columns: Time, Message, Severity, and Ackn... (Acknowledgment). The data rows are as follows:

Time	Message	Severity	Ackn...
Filter text	Filter text	Filter text	Filt...
	Fire_Workshop3		
	Time		
	GasLeak_Generic		
	Overheat_Furnace		
	GasLeak_Warehouse		

The status bar at the bottom indicates '5 total/5 filtered/1 selected' and '0 TAGs used/unlimited TAGs av'.

Рисунок 3.11 – Вигляд програми Zenon Supervisor

### 3.5 Охорона праці

Розміри лабораторії, в якій виконувалась робота, складають 5 м × 6 м. Робоче місце складається із стола, стільця і персонального комп'ютера. У приміщенні працює 4 людини. Площа приміщення 30 м<sup>2</sup>, об'єм – 90 м<sup>3</sup>. Згідно ДСанПиН 3.3.2.007-98 площа на одне робоче місце має становити не менше 6 м<sup>2</sup>, а об'єм – 20 м<sup>3</sup> [20]. Для даного приміщення робоча площа і об'єм на одного людини відповідає нормам, так як в нашому випадку площа на одне робоче місце становить 10 м<sup>2</sup>, а об'єм – 30 м<sup>3</sup>.

Живлення комп'ютерів здійснюється від трифазної чотирьох провідної електричної мережі змінного струму з глухо-заземленою нейтраллю і напругою 220 В, частотою 50 Гц.

Згідно НПАОП 40.1-1.21-98 лабораторію можна віднести до категорії без підвищеної небезпеки, так як в приміщенні відсутні чинники, які викликають підвищену або особливу небезпеку [21].

Для створення безпечних умов праці необхідно провести ряд організаційних і технічних заходів. Згідно НПАОП 40.1-1.32-01 для запобігання ураження людини електричним струмом в приміщенні застосовується система занулення [22].

Згідно з вимогами НПАОП 0.00-4.12-05 необхідно провести вступний, первинний на робочому місці, повторний, цільовий та позаплановий інструктаж. Зміст інструктажу відповідає вимогам НПАОП 0.00-4.12-05. Інструктаж відзначається в відповідних журналах з підписами інструктованих і інструктора [23].

Робота в лабораторії проводиться сидячи і не вимагає фізичної напруги. Тому вона відноситься до категорії Ia (легкі фізичні роботи, енерговитрати до 120 ккал/год). З метою забезпечити комфортні умови для працівників та відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 у відвідуванні встановлені наступні метеорологічні параметри:

а) для холодного періоду:

- 1) температура повітря від 22 °С до 24 °С;
- 2) вологість повітря від 40 % до 60 %;

- 3) швидкість руху повітря оптимальна до 0,1 м/с;
- б) для теплого періоду року:
- 1) температура повітря від 23 °С до 25 °С;
  - 2) вологість повітря від 40 % до 60 %;
  - 3) швидкість руху повітря оптимальна до 0,1 м/с [24].

Для освітлення робочих місць і приміщення в цілому застосовується як природне бічне освітлення, так і штучне освітлення.

Приміщення з ПК повинні мати природне і штучне освітлення відповідно до ДБН В.25-28-2006 «Природне і штучне освітлення». Природне світло повинно проникати через бічні світлові прорізи, зорієнтовані, як правило, на північ або північний схід, і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5 %:  $e^{IV} = 1,35$ , де  $e^{IV}_{\text{норм}}$  – нормоване значення КПО для 4-го поясу світлового клімату України [25].

Згідно ДСН 3.3.6.037-99 рівень шуму в лабораторії не перевищує 50 дБ.

Загальний рівень штучного освітлення приміщення можна перевірити за допомогою методу питомої потужності.

Розрахункова формула методу:

$$W = \frac{W_{\Sigma}}{S}, \quad (3.1)$$

де  $W$  – питома потужність, Вт/м<sup>2</sup>;

$S$  – площа приміщення, м<sup>2</sup>;

$W_{\Sigma}$  – загальна потужність освітлювальної установки, Вт, яка розраховується

за формулою

$$W_{\Sigma} = W_{cv} \cdot n_{cv}, \quad (3.2)$$

де  $W_{cv}$  – потужність одного світильника,  $W_{cv} = 80$  Вт;

$n_{ce}$  – кількість світильників у приміщенні,  $n_{ce} = 4$ .

Дане приміщення має площу  $30 \text{ м}^2$ , в якому розташовано шість світильників потужністю  $80 \text{ Вт}$ .

$$W_{\Sigma} = 4 \cdot 80 = 320 \text{ Вт}, \quad (3.3)$$

$$W = \frac{320}{30} = 11 \text{ Вт/м}^2.$$

Табличне значення для отриманого результату освітленість складе  $200 \text{ лк}$ , коли відповідно до стандарту ДБН В.2.5-28-2006. в лабораторії освітленість повинна бути від  $300 \text{ лк}$  до  $500 \text{ лк}$ . Для отримання освітленості в  $400 \text{ лк}$  необхідна питома потужність  $21 \text{ Вт/м}^2$  [25].

Для поліпшення умов роботи в лабораторії необхідно в денний час застосовувати додаткове освітлення.

Приміщення для роботи з ПК потребують виконання звичайних ергономічних вимог до робочих місць та підтримки мікроклімату без наявних особливостей.

## ВИСНОВКИ

В ході виконання роботи було проведено аналіз наукової літератури за темою, проведено аналіз ощадливого виробництва і автоматизації, зокрема, SCADA-систем.

Були виконані наступні завдання:

- проведено аналіз виробництва типу Lean production;
- розглянуто характеристики, структуру та методи управління виробництвом за допомогою SCADA-систем;
- проведено аналіз можливостей рішення задач ощадливого виробництва за допомогою SCADA-систем;
- розглянуті методи та моделі для реалізації інтелектуального модуля SCADA-системи для управління тривогами на виробничому підприємстві;
- проаналізувати апаратні (технічні) засоби, які складають технічну основу системи управління;
- обрано програмне середовище та розроблено проект.

Розробка інтелектуальних SCADA-систем є перспективним напрямком, що поєднує класичну автоматизацію з інноваційними технологіями. Впровадження таких систем сприяє підвищенню продуктивності, безпеки та гнучкості підприємств, але вимагає уваги до питань кібербезпеки та інтеграції з іншими цифровими технологіями. Використання штучного інтелекту дозволяє прогнозувати несправності обладнання, автоматизувати прийняття рішень та покращувати ефективність роботи системи. Це сприяє зниженню витрат на технічне обслуговування. Оскільки SCADA-системи пов'язані з інтернетом, вони стають вразливими до кібератак. Тому необхідно впроваджувати сучасні методи шифрування, захисту мереж та доступу до даних.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. – 29 с.
2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Системна інженерія» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.М. Цимбал, О.В.Токарева, А.І. Бронніков. Харків: ХНУРЕ, 2022. 66 с.
3. Taiichi Ohno's Workplace Management by Taiichi Ohno. Gemba Press, 2007. – 146 p. – ISBN 978-0-9786387-5-7, ISBN 0-9786387-5-1.
4. Джефрі К. Лайкер. Філософія Toyota. 14 принципів роботи злагодженої команди / пер. Наталія Валевська. – К.: Наш Формат, 2017. – 424 с. – ISBN 978-617-7388-78-3.
8. Метод Барабан-буфер-мотузка в BAS ERP [Електронний ресурс]/ – Режим доступу: [www/ URL:https://a4.com.ua/ru/metod-baraban-bufer-verevka-v-bas-erp](http://www.a4.com.ua/ru/metod-baraban-bufer-verevka-v-bas-erp).
9. Денисюк В.Ю. Електронний посібник з дисципліни «Автоматизація виробничих процесів в приладобудуванні» / Денисюк В.Ю. – Луцьк: Луцький національний технічний університет, 2017. [Електронний ресурс]/ – Режим доступу: [www / URL: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib\\_upload/%D0%90%D0%92%D0%9F%20%D0%B2%20%D0%9F%D0%91%20PDF%201/other/tema\\_8\\_zastosuvannya\\_promislovix\\_robotiv\\_i\\_gnuchkix\\_virobnichix\\_istem\\_dlya\\_avtomatizaciyi\\_vi\\_robnicztva\\_v\\_priladobuduvanni.pdf](http://www.elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/%D0%90%D0%92%D0%9F%20%D0%B2%20%D0%9F%D0%91%20PDF%201/other/tema_8_zastosuvannya_promislovix_robotiv_i_gnuchkix_virobnichix_istem_dlya_avtomatizaciyi_vi_robnicztva_v_priladobuduvanni.pdf).
10. Взаємодія ощадливого виробництва і автоматизація [Електронний ресурс] / – Режим доступу: [www/ URL: https://ru.rememo.io/blog/lean-manufacturing-and-automation](http://www.ru.rememo.io/blog/lean-manufacturing-and-automation) (Дата звернення 19.04.2025).
11. Автоматизована система керування технологічними процесами в SCADA системі TRACE MODE 6 : навч. посіб. / І. Ш. Невлюдов, А. О.

Андрусевич, В. В. Євсєєв, та ін. – Кривий Ріг : Криворізький коледж НАУ, 2018 р. – 320 с.

12. Невлюдов І.Ш. Технологія програмування промислових контролерів в інтегрованому середовищі CODESYS: Навчальний посібник / І.Ш. Невлюдов, С.П. Новоселов, О.В. Сичова. – Харків: ХНУРЕ, 2019 . – 264 с.

13. Невлюдов І.Ш. Теорія автоматичного управління (збірник задач). Навчальний посібник для студентів спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / І.Ш. Невлюдов, О.В. Токарева; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. - Харків: Панов А.М., 2020. – 240 с.

14. Диспетчерське керування промисловими підприємствами та енергосистемами [Електронний ресурс]/ – Режим доступу: [www/ URL: https://www.cora-data.com.ua](http://www.cora-data.com.ua)

15. Нікітін Ю.О., Кульчицький О.І. Розумна спеціалізація як інструмент економічного розвитку Європейського Союзу //Матеріали XXII міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми і перспективи інноваційного розвитку економіки України в Європейський науково-інноваційний простір», м.Одеса, Україна, 11-33 вересня 2017р. – с.175-180.

16. J. Bacon. The costs to Britain of workplace accidents and work-related ill health in 1995/96 [Електронний ресурс] / – Режим доступу: [www / URL: https://www.hse.gov.uk/pubns/books/hsg101.htm](http://www.hse.gov.uk/pubns/books/hsg101.htm)

17. Out of control: Why control systems go wrong and how to prevent failure [Електронний ресурс] / – Режим доступу: [www / URL: http://www.hse.gov.uk/pubns/books/hsg238.htm](http://www.hse.gov.uk/pubns/books/hsg238.htm).

18. Творошенко І.С. Технології прийняття рішень в інформаційних системах: навч. посібник. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 120 с.

19. Коваленко В.Я. Інтелектуальні SCADA–системи / матеріали II Всеукраїнської конференції «Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки» (Computer-integrated technologies, automation and robotics) CITAR`25[електронне видання]. – 16-17 травня 2025, Харків. – с. 60–63.

20. ДНАОП 0.00-1.21-98. Про затвердження Правил безпечної експлуатації

електроустановок споживачів // Офіційний вісник України від 12.03.1998 – 1998 р., № 8, стор. 394, ст. 315, код акту 4907/1998.

21. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок / Наказ Міністерства праці та соціальної політики України від 21.06.2001 р № 272 [Електронний ресурс] / – Режим доступу: [www / URL: https://dnaop.com/html/1692/doc-НПАОП\\_40.1-1.32-01](http://www.dnaop.com/html/1692/doc-НПАОП_40.1-1.32-01).

22. НПАОП 0.00–4.12.05. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці / Наказ Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 26.01.2005 № 15 [Електронний ресурс] / – Режим доступу: [www / URL: https://dnaop.com/html/32368/doc-НПАОП\\_0.00-4.12.05](http://www.dnaop.com/html/32368/doc-НПАОП_0.00-4.12.05).

23. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень / Постанова Міністерства охорони здоров'я України від 01.12.1999 № 42 [Електронний ресурс] / – Режим доступу: [www / URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/card/va042282-99](http://www.zakon.rada.gov.ua/rada/card/va042282-99).

24. Комплекс навчально-методичного забезпечення навчальної дисципліни «Організація керування умовами праці» підготовки освітнього рівня бакалавр усіх спеціальностей та усіх напрямів університету / ХНУРЕ [Електронний ресурс] / – Режим доступу: [www / URL: https://catalogue.nure.ua/document=218933](http://www.catalogue.nure.ua/document=218933)