

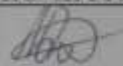
Вінницький національний технічний університет  
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації  
Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему:

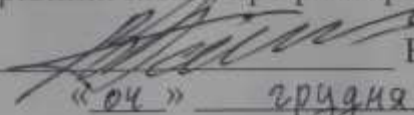
Ізвчальний засіб на основі Siemens TIA Portal для дослідження життєвого циклу промислової системи автоматизації»

Виконала: студент 2 курсу, групи ІАКІТ-22м,  
спеціальності 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»



Денис ОПАРЕНЮК

Керівник: к.т.н. проф. кафедри АІТ



Володимир ПАПІНОВ

«04» грудня 2023 р.

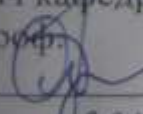
Опонент: проф. каф. КСУ



Микола БИКОВ

«07» грудня 2023 р.

Додано до захисту  
Керівник кафедри АІТ  
н., проф.



Олег БІСІКАЛО

«11» грудня 2023 р.

Вінниця ВНТУ - 2023 рік

Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації  
Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій  
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)  
Галузь знань – 15 «Автоматизація та приладобудування»  
Спеціальність-151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
Освітньо-професійна програма – Інтелектуальні комп'ютерні системи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АПТ

д.т.н., професор

Олег БІСІКАЛ

2023 р.

## ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу  
Опаренюка Дениса Петровича

1. **Тема роботи** Навчальний засіб на основі Siemens TIA Portal для дослідження життєвого циклу промислової системи автоматизації

керівник роботи Папінов Володимир Миколайович, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ № 247 від 18.09.2023

2. **Строк подання студентом роботи** 20 листопада 2023 р.

3. **Вихідні дані до роботи** Навчальний засіб (НЗ) призначений для забезпечення практичних занять з професійних дисциплін "Проектування систем автоматизації" (4 курс бакалаврської освіти), "Стандарти та проектування комп'ютерно-інтегрованих систем управління" і "Програмне управління Інтернет речей" (1 курс магістерської підготовки); НЗ повинен створювати умови для розвитку індивідуальної когнітивної діяльності студентів при рішенні реальних проектних задач, сприяти більш глибокому вивченню студентами теоретичного матеріалу вказаних навчальних дисциплін, а також давати можливість сформулювати у студентів відповідні професійно-орієнтовані практичні вміння та навички проектування реальних промислових систем автоматизації в рамках їх життєвого циклу (ЖЦ); НЗ повинен будуватися на основі існуючих лабораторних програмно-технічних моделей технологічних/технічних процесів (ТП), організаційній імітаційній моделі «віртуального виробництва» та програмно-технічній імітаційній моделі комп'ютерно-інтегрованої системи управління (КІСУ) «віртуальним виробництвом» в цілому та окремими технологічними/технічними процесами

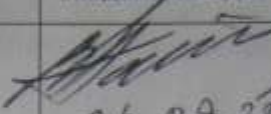

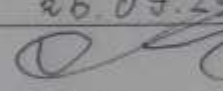

4. **Зміст пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно дослідити)

1) Техніко-економічне та науково-технічне обґрунтування роботи. 2) Архітектура проектування навчального засобу. 3) Проектування функціоналу НЗ для дослідження життєвого циклу промислової СА І3.0. 4) Проектування функціоналу НЗ для дослідження життєвого циклу типу промислової СА І4.0. 5) Розділ економічного обґрунтування життєвого циклу типу промислової СА І4.0.

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

1) Концепція побудови навчального засобу. 2) Архітектура інструментального середовища НЗ. 3) Архітектура організаційно-комунікаційного середовища НЗ. 4) Проектування функціоналу НЗ для дослідження ЖЦ типу промислової СА І3.0. 5) Проектування функціоналу НЗ для дослідження ЖЦ екземпляру промислової СА І3.0. 6) Проектування функціоналу НЗ для дослідження ЖЦ типу промислової СА І4.0.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Володимир ПАПІНОВ, к.т.н., професор кафедри АІТ	 26.09.23	 04.12.
Економічний розділ	Володимир КОЗЛОВСЬКИЙ, к.е.н., професор кафедри ЕПОВ	 27.09.23	 01.12.

7. Дата видачі завдання 26.09.2023

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів дослідження	Строк виконання етапів	Примі
1. Науково-технічне та техніко-економічне обґрунтування роботи.	13.10.23 р.	
2. Розробка технічного завдання на магістерську кваліфікаційну роботу	13.10.23 р.	
3. Архітектурне проектування навчального засобу	01.11.23 р.	
4. Проектування функціоналу НЗ для дослідження ЖЦ промислової СА ІЗ.0.	15.11.23 р.	
5. Проектування функціоналу НЗ для дослідження ЖЦ типу промислової СА І4.0.	01.12.23 р.	
6. Розділ економіки	01.12.23 р.	
7. Оформлення пояснювальної записки	04.12.23 р.	
8. захист роботи	з 11.12.23 р. по 29.12.23 р.	

Студент

  
(підпис)

Денис ОПАРЕНЮК

Керівник роботи

  
(підпис)

Володимир ПАПІН

## АНОТАЦІЯ

УДК 378.162+681.51

Опаренюк Д.П. Навчальний засіб на основі Siemens TIA Portal для дослідження життєвого циклу промислової системи автоматизації. Вінниця: ВНТУ, 2023. 187 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 37 назв; рис.: \_\_\_\_; табл. \_\_\_\_.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблений навчальний засіб для дослідження життєвого циклу промислової системи автоматизації хімічного підприємства. Навчальний засіб призначений для забезпечення практикумів професійних дисциплін "Проектування систем автоматизації" (4 курс бакалаврської підготовки), "Стандарти та проектування комп'ютерно-інтегрованих систем управління" і "Промисловий Інтернет речей" (1 курс магістерської підготовки). На відміну від існуючих навчальних засобів, новий засіб будується на основі інтеграції сучасного зразка промислової інструментальної системи автоматизації та системи JetIQ автоматизованого управління даними освітнього процесу та документообігу ВНТУ, що дозволяє підвищити ефективність навчального дослідження студентами життєвого циклу промислової системи автоматизації.

Графічна частина складається з 6 плакатів із результатами проектування.

У економічному розділі розраховано витрати на розробку, абсолютний ефект від впровадження розробки, внутрішню дохідність інвестицій та термін окупності інвестицій.

Ключові слова: комп'ютерно-інтегрована технологія, цифрова трансформація, розумне виробництво, методика практичного навчання, комп'ютеризована навчальна лабораторія.

## ABSTRACT

Oparenjuk D.P. Educational means on the basis of Siemens TIA Portal for research of life cycle of industrial system of automation. Vinnitsa: BHTY, 2023. 187 p Master's thesis in specialty 151 - Automation and computer-integrated technologies, educational and professional program - Intelligent computer control systems.

In Ukrainian language. Bibliography: 37 titles; fig.: \_\_\_\_; tabl.: \_\_\_\_.

In the master's thesis the educational means for research of life cycle of industrial system of automation is developed. The educational means is intended for maintenance of practical works of professional disciplines "Cyber-physical systems of manufacture automation" (4 rate of baccalaureate preparation), "Standarts and designing of computer-integrated control systems" and "Industrial Internet of things" (1 rate of magistracy preparations). Unlike the existing educational means, new means is under construction on the basis of integration of the modern sample of industrial tool system of automation and system JetIQ of automated management by data of educational process and document circulation BHTY that allows to raise(increase) efficiency of educational research by students of life cycle of industrial system of automation...

The graphic part consists of 6 posters with results of designing.

In economic section it is calculated expenses for development, absolute effect from introduction of development, internal income of investments and time of recovery of outlay of investments.

Keywords: the computer-integrated technology, digital transformation, smart manufacture, the practical training, the computerized educational laboratory

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>1 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ТА НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ</b> .....	11
1.1 Означення життєвого циклу системи автоматизації .....	11
1.2 Вибір системи автоматизації для проведення навчальних досліджень її життєвого циклу .....	18
1.3 Обґрунтування загальної концепції навчального засобу.....	26
1.4 Висновки до розділу .....	38
<b>2 АРХІТЕКТУРНЕ ПРОЄКТУВАННЯ НАВЧАЛЬНОГО ЗАСОБУ</b> .....	40
2.1 Дослідження функціоналу компонентів «Siemens TIA Portal» .....	40
2.2 Архітектура НЗ для дослідження ЖЦ типу промислової СА ІЗ.0.....	59
2.3 Архітектура НЗ для дослідження ЖЦ екземпляру промислової СА ІЗ.0 .....	62
2.4 Архітектура НЗ для дослідження ЖЦ типу промислової СА І4.0 .....	65
2.5 Архітектура організаційно-комунікаційного середовища НЗ .....	68
2.6 Висновки до розділу .....	75
<b>3 ПРОЄКТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛУ НЗ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ПРОМИСЛОВОЇ СА ІЗ.0</b> .....	76
3.1 Визначення алгоритму виконання дослідження.....	76
3.2 Функціонал НЗ для дослідження ЖЦ типу промислової СА .....	80
3.3 Функціонал НЗ для дослідження ЖЦ екземпляру промислової СА .....	94
3.4 Висновки до розділу .....	104
<b>4 ПРОЄКТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛУ НЗ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ТИПУ ПРОМИСЛОВОЇ СА І4.0</b> .....	105
4.1 Визначення алгоритму виконання дослідження .....	105
4.2 Приклад виконання стадії «Формування вимог до СА» для означення основних функцій НЗ. ....	113
4.3 Функціонал НЗ для дослідження ЖЦ типу промислової СА І4.0 в	

ході основних проєктних стадій .....	123
4.4 Висновки до розділу .....	145
<b>5 РОЗДІЛ ЕКОНОМІКИ .....</b>	<b>147</b>
5.1 Технологічний аудит розробленого навчального засобу для системи автоматизації.....	147
5.2 Розрахунок витрат на розробку навчального засобу для дослідження життєвого циклу промислової системи автоматизації.....	152
5.3 Розрахунок економічного ефекту від можливої комерціалізації нашої розробки .....	156
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>166</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>169</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>173</b>
Додаток А (обов’язковий) Технічне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу .....	174
Додаток Б (обов’язковий) Ілюстративна частина .....	180
Додаток В (довідковий) Протокол перевірки магістерської кваліфікаційної роботи .....	187

## ВСТУП

Актуальність роботи. Архітектурна модель побудови «розумного підприємства» Reference Model for Industrie 4.0 (RAMI 4.0) є уніфікованою архітектурною референтною моделлю, яка забезпечує колективне розуміння стандартів, що створені для реалізації концепції «Industry 4.0» (I4.0) [1-3]. Ця референтна модель, в першу чергу, надає загальну структуру та мову для пояснення та специфікації системної архітектури, що, відповідно, сприяє поліпшенню загального розуміння та системної взаємодії. Тому при створенні перспективних промислових систем автоматизації рівняння на дану референтну модель є надзвичайно корисним, бо вона описує оптимальний каркас для стандартизації відповідних технічних рішень таких систем як для стадії їх розробки, так і для подальших стадій їх інтеграції та практичного використання.

Для цього в моделі RAMI 4.0 існує вісь «Життєвий цикл та потік формування цінності» (Life Cycle and Value Stream) [4], яка відображає згідно зі стандартом ІЕС 62890 життєвий цикл будь-яких об'єктів, зокрема і систем автоматизації [5]. Така модель життєвого циклу системи автоматизації вводить різницю між типом системи та екземпляром системи. Тип системи характеризується унікальним ідентифікатором системи, а саме всією документацією, пов'язаною з системою (проектна документація, опис виробництва та випробування, технічна документація і т.д.) та потрібними сертифікатами. Опис типу системи припустимий як для будь-яких апаратних засобів та програмного забезпечення, так і для програмної та апаратної частин системи. З іншого боку, екземпляр системи характеризується унікальним ідентифікатором екземпляру, таким як серійний номер або номер замовлення (наряду).

В наш час існують різні механізми для відображення й обробки цифрового життєвого циклу як типу системи у процесі її проектування, так і фізичного терміну служби екземпляру цієї системи в процесі її виробництва



та практичного використання у виробничих умовах. Одним з таких доступних для студентів інструментів є «Siemens TIA Portal» [6].

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є створення для студентів спеціальностей 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" та 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка" нового навчального засобу (НЗ) на основі інструментальної системи промислової автоматизації «Siemens TIA Portal» для дослідження сучасних засобів відображення й обробки цифрового життєвого циклу як типу промислової системи автоматизації, так і її екземпляру.

Об'єктом досліджень є навчальний процес підготовки у вищому технічному навчальному закладі фахівців з автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки.

Предметом досліджень є підвищення ефективності практичного вивчення студентами методів та засобів реалізації життєвого циклу промислових систем автоматизації за рахунок використання в навчальному процесі сучасного навчального засобу.

Задачі досліджень магістерської кваліфікаційної роботи:

1. Дослідження референтної архітектурної моделі «розумного підприємства» RAMI 4.0.

2. Дослідження існуючих механізмів відображення й обробки цифрового життєвого циклу промислової системи автоматизації.

3. Техніко-економічне та науково-технічне обґрунтування загальної архітектури нового навчального засобу на основі інструментальної системи промислової автоматизації «Siemens TIA Portal».

4. Розробка технічного завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

5. Проєктування програмно-технічної частини навчального засобу.

6. Розробка навчально-методичного забезпечення навчального засобу.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження полягатиме в тому, що на відміну від існуючих навчальних засобів, новий засіб будується на

основі інтеграції сучасного зразка промислової інструментальної системи автоматизації та системи JetIQ автоматизованого управління даними освітнього процесу та документообігу ВНТУ, що дозволяє підвищити ефективність навчального дослідження студентами життєвого циклу промислової системи автоматизації, організованого у вигляді наскрізного проєктного практикуму, за рахунок детальної розробки студентами типу системи автоматизації та її конкретного екземпляру при постійному дистанційному нагляді та наданні необхідних консультацій з боку викладача – куратора практикуму.

Практична цінність отриманих результатів дослідження полягатиме в тім, що їх можна буде легко застосувати при створенні аналогічних навчальних засобів для підготовки фахівців споріднених галузей знань та спеціальностей.

Апробація результатів дослідження: основні результати виконання магістерської кваліфікаційної роботи опубліковані у матеріалах щорічної НТК викладачів та студентів ВНТУ (Вінниця, ВНТУ, 2024 р.) [7].

Наукові дослідження за темою магістерської кваліфікаційної роботи проводились на основі індивідуального завдання, складеного та затвердженого кафедрою автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій ВНТУ, а також розробленого технічного завдання на науково-дослідну роботу (додаток А).

# 1 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ТА НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ

## 1.1 Означення життєвого циклу системи автоматизації

Як було зазначено у вступі, архітектурна модель побудови «розумного підприємства» Reference Model for Industrie 4.0 (RAMI 4.0) є уніфікованою архітектурною референтною моделлю, яка забезпечує колективне розуміння стандартів, що створені для реалізації концепції «Industry 4.0» (I4.0) [1-3].

Дана модель може бути інструментом для означення різних концепцій в рамках I4.0, так і їх практичних використань. В цій моделі окремі компоненти I4.0 описуються на рівні їх структури та функцій. Модель вимагає формулювання вимог щодо конкретного застосування з метою опису та подальшої розробки I4.0 концепцій та продуктів.

Модель RAMI 4.0 базується на Smart Grid Architecture Model (SGAM), яка була розроблена у свій час для комунікацій у мережах джерел відновлюваної енергії, але стала корисною і для I4.0.

Таким чином, модель RAMI 4.0 описує нейтральну щодо подальшої реалізації найкращу (рекомендовану) архітектурну модель для тих додатків, що використовують Інтернет Речей (IoT), аналітику великих даних та інші технологічні новації у виробничих процесах і які відомі зараз під назвою «розумне виробництво», «інтелектуальне виробництво» та просто «Індустрія 4.0» (I4.0).

Референтна модель надає загальну структуру та мову для пояснення та специфікації системної архітектури, що, відповідно, сприяє поліпшенню загального розуміння та системної взаємодії.

При архітектурному описі цифрових виробничих платформ рівняння на референтну модель є дуже корисним, бо вона надає каркас для стандартизації відповідних технічних систем, від їх розробки, подальшої інтеграції і до їх дії.

Референтна модель RAMI 4.0, що показана на рисунку 1.1, базується на трьохвимірній системі координат – «Життєвий цикл та потік формування цінності» (Life Cycle & Value Stream), «Шари» (Layers) та «Ієрархічні рівні» (Hierarchy Levels).

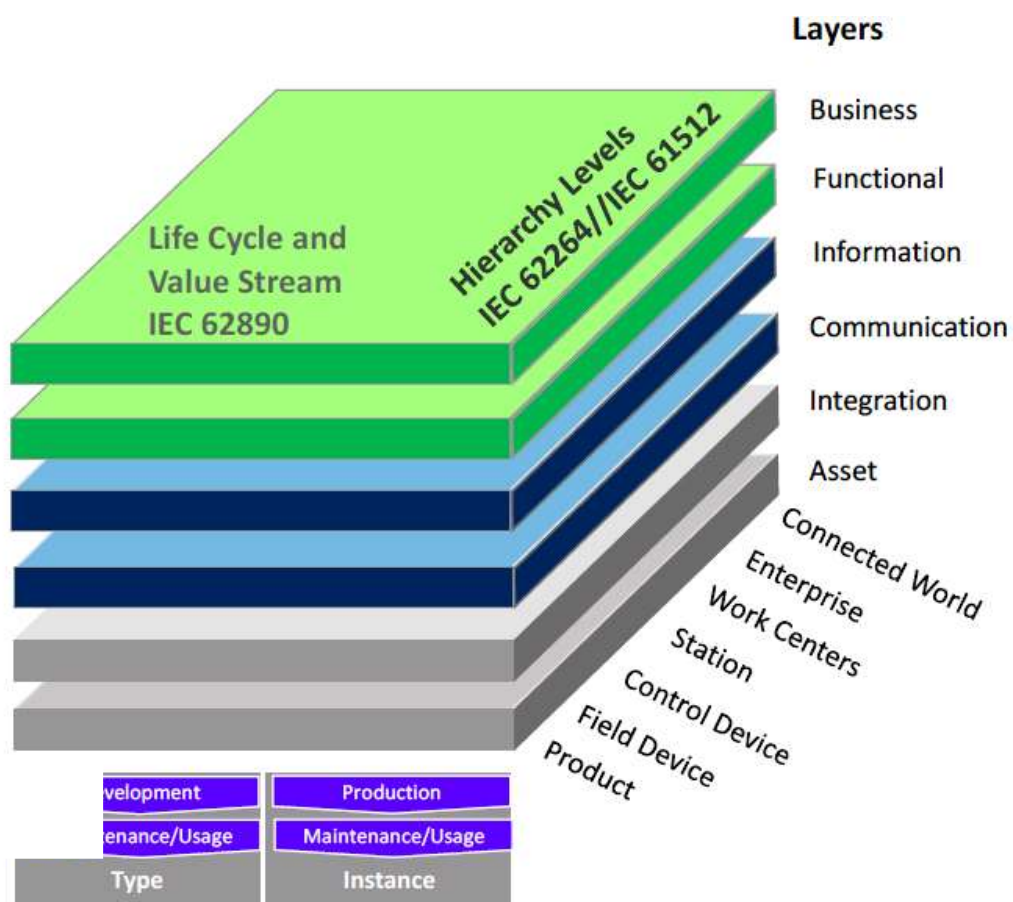


Рисунок 1.1 - Референтна архітектурна модель RAMI 4.0

Ця структура може використовуватися для системної організації та подальшої розробки концепцій та технологій в рамках І4.0.

Вісь «Життєвий цикл та потік формування цінності» (Life Cycle and Value Stream) представляє життєвий цикл продуктів (продукції) та систем (наприклад систем автоматизації), вона взята зі стандарту ІЕС 62890 [5].

Модель життєвого циклу продукту/системи в першу чергу вводить різницю між типом продукту/системи та екземпляром продукту/системи. Тип продукту/системи характеризується унікальним ідентифікатором

продукту/системи, а саме всією документацією, пов'язаною з продуктом/системою (проектна документація, опис виробництва та випробування, технічна та експлуатаційна документація і т.д.) та потрібними сертифікатами. Опис типу продукту/системи припустимий як для будь-яких апаратних засобів та програмного забезпечення, так і для програмної та апаратної частин продуктів/систем. З іншого боку, екземпляр продукту/системи характеризується унікальним ідентифікатором екземпляру, таким як серійний номер або номер замовлення (наряду).

Усі продукти/системи змінюються в процесі свого життєвого циклу. Зазвичай, такі інструменти, як PLM (Product Lifecycle Management) і ERP (Enterprise Resource Planning) підтримують процеси міграції, комплексність і адаптивність і в такий спосіб забезпечують захист бізнес-моделі в рухливих системах. Для І4.0 недостатньо використання цих інструментів, тому що повинні бути відображені цифровий життєвий цикл у рамках проектування продукту/системи, а також фізичний термін життя зробленого продукту чи системи (рисунок 1.2).

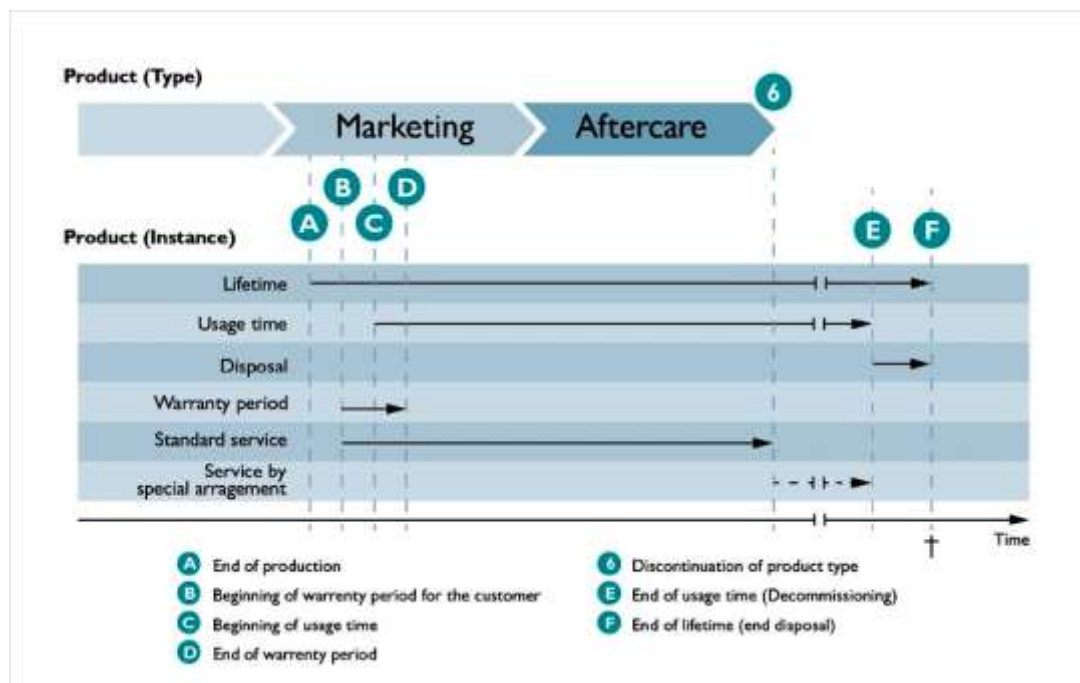


Рисунок 1.2 – Термін служби фізично використовуваного екземпляру продукту чи системи

Різні механізми дозволяють відображати й обробляти цифровий життєвий цикл типу продукту/системи у процесі проєктування, а також фізичний термін служби екземпляру продукту/системи в процесі виробництва та його використання/експлуатації у виробничих системах (в апаратному чи програмному забезпеченні) чи у процесах, а також ланцюжка створення вартості (цінності) і бізнес-моделі.

При цьому тип продукту/системи позначає компонент із однозначно визначеними властивостями, що надалі може стати екземпляром, наприклад, розроблена система у цифровому вигляді. Тобто екземпляр представляє конкретний компонент визначеного типу, що однозначно ідентифікується, наприклад, зібрана система автоматизації. Термін служби охоплює період з моменту завершення виробництва продукту/системи до його повної утилізації. Можливість цифрової оцінки цієї інформації дозволяє управляти системами, які складаються з динамічно мінливих підсистем і взаємодіють із іншими системами.

Наступний приклад повинен пояснити формулювання задачі. Припустимо, що виробник автоматичного клапана з убудованими датчиками використовує елементи, методи й виробничі кроки інших виробників, комбінуючи їх із власними процесами створення вартості (цінності) в ході проєктування й виробництва (рисунок 1.3). Крім того, процес регулюється стандартами й індивідуальними вимогами замовника.

У результаті він одержує описаний цифровим способом тип виробу у версії 1.0, що, крім іншого, включає мікроконтролер у версії 3.1 виготовлювача чипа. Виробник автоматизованої виробничої машини встановлює клапан на установку, додавши сервісне програмне забезпечення стороннього виробника у версії 10.0. У процесі проєктування він визначає важливі для нього якості виробу в профілі використання даного типу автоматичних клапанів. Потім користувач у випадку такої необхідності створює інший профіль, що відрізняється від виробу й профілю, створеного виробником.

Якщо виготовлювач мікроконтролера замінє версію 3.1 версією 4.0, то виробник автоматичного клапана повинен заново конструювати свій пристрій. Потім він пропонує його у версії 1.1, що має сумісні властивості по конструкції й набору функцій, а також розширеними можливостями. Коректуючи профіль сумісності, виробник автоматизованої виробничої машини сприяє подальшому використанню автоматичного клапана й використовує додаткові функції, які він надає після відновлення сервісного програмного забезпечення до версії 10.1.

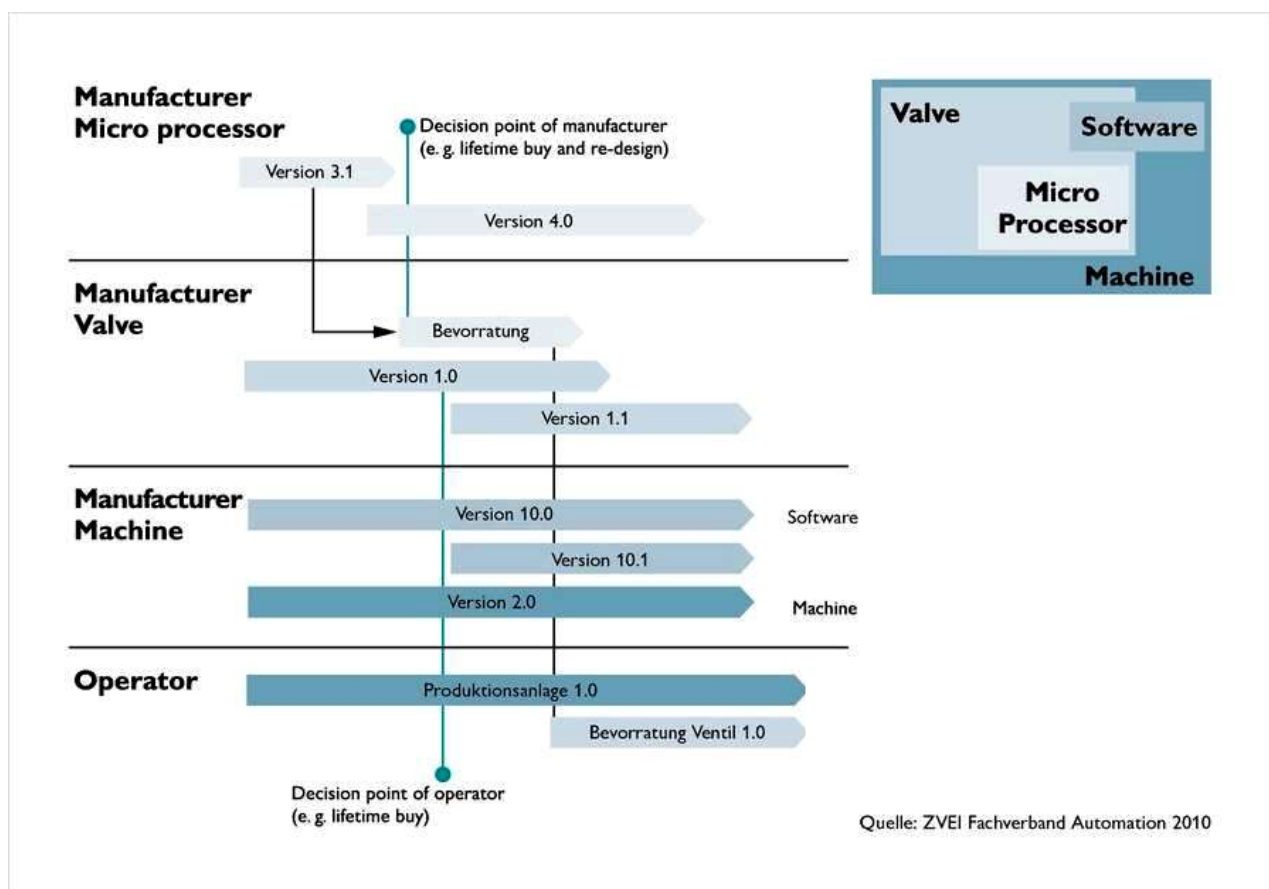


Рисунок 1.3 – Незалежне від виробника використання цифрового виробу

Для заміни несправного автоматичного клапана виробник автоматизованої виробничої машини може використовувати як версію 1.0, так і версію 1.1. Крім того, необхідно виконати порівняння із власним профілем сумісності. Результатом може стати як односпрямоване використання нової версії автоматичного клапана, модернізація установки

або відновлення програмного забезпечення, так і завантаження нової версії 1.0, щоб перекрити життєвий цикл виробничої установки. Для організації подібного процесу в рухливих системах Industrie-4.0 потрібний цифровий опис всіх вимог.

Таким чином, стрімкий перехід до цифрового формату приводить до такого розвитку описаного процесу, що ступінь складності збільшується за експонентою й може бути переборена тільки за рахунок однозначної інтеграції моделей життєвого циклу у використовувані системи.

Там, де вироби постійно змінюються й обновляються в результаті зміни ланцюжків постачальників, появи нових версій програмного забезпечення й додаткових функцій, стандартизація доповнюється активним контролем життєвого циклу. Таким способом можна управляти виробами на стадії їхнього створення й протягом усього терміну їхнього використання. Перераховані елементи життєвого циклу сприяють підвищенню безпеки інвестицій як з боку виробника, так і з боку користувача.

Шари архітектурної моделі RAMI4.0 (див. рисунок 1.1), організовані уздовж вертикальної вісі і відображають різні керуючі шари інформаційних технологій (IT) проєкту конкретного I4.0 рішення. Кожний шар збирає в собі різні частини системи автоматизації промисловим виробництвом, що призначені для виконання процедур управління (схеми даних, комунікації, апаратні засоби і т.д.), забезпечуючи сервіси для верхнього шару та об'єднуючи дії сервісів нижнього шару. В архітектурній моделі різні шари означені так:

- 1). Шар бізнесу (Business): означає бізнес модель, загальний процес та правила, яким система повинна слідувати. Він гарантує інтеграцію функцій у потоці формування цінності. Він також забезпечує регуляторні та легальні умови каркасу. Бізнес шар також організує дію сервісів функціонального шару та аналізує події, що інформують про прогрес у виконанні бізнес процесу.



2). Функціональний шар (Functional): забезпечує середовище виконання та моделювання для сервісів, які підтримують бізнес шар. Віддалений доступ та горизонтальна інтеграція мають місце у функціональному шарі, окрім процесів, що мають лише відношення до нижчого шару (наприклад, читання діагностичних даних), або тих, що не мають відношення до постійної функціональної та горизонтальної інтеграції (наприклад, технічне обслуговування).

3). Інформаційний шар (Information): містить сервіси, які уможливають прийом, використання та обслуговування даних, використовуваних, генерованих або модифікованих технічною функціональністю активів (ресурсів). Це передбачає постійність даних, забезпечення, інтеграцію та цілісність. Цей шар приймає події від фізичних активів (ресурсів) через шари нижчого рівня та виконує адекватне оброблення та перетворення для підтримки сервісів функціонального шару.

4). Шар комунікацій (Communication): забезпечує уніфіковані комунікацію та формати даних, що дозволяє здійснювати доступ до інформації, та забезпечує інтерфейси для доступу до функцій активу (ресурсу) з боку інших активів (ресурсів).

5). Шар інтеграції (Integration): представляє перехід з фізичного світу до інформаційного світу. Цей шар містить представлення властивостей та пов'язаних з процесами функцій активу (ресурсу) та оголошує події з фізичного світу. Також шар включає документацію, ПЗ та програмоване обладнання активу (ресурсу), або людино-машинний інтерфейс (НМІ).

6). Шар активів (Asset): представляє реальність, тобто фізичну сутність активу (ресурсу), яка представлена усіма іншими шарами, або дані, що є результатом виконання активом відповідних функцій.

Таким чином, в процесі проектування загальної концепції нового навчального засобу в якості її основних компонентів доцільно

використовувати саме ті складові референтної моделі RAMI4.0, які описують саме життєвий цикл промислової системи автоматизації як одного з основних фізичних активів (Asset) цифрового «розумного виробництва».

## 1.2 Вибір системи автоматизації для проведення навчальних досліджень її життєвого циклу

Для того, щоб на проєктованому навчальному засобі студенти спеціальностей 151 та 174 могли проводити на практиці тривалі дослідження життєвого циклу промислової системи автоматизації, треба на початку проєктування обґрунтовано вибрати таку систему.

По-перше, така система повинна бути досить масштабною, щоб велика кількість студентів (студентських бригад) могла досліджувати одночасно життєвий цикл її різних підсистем.

По-друге, ця система повинна бути зв'язаною з якимось реальним промисловим виробничим процесом, причому суть такого виробничого процесу студенти повинні глибоко розуміти для подальшого ефективного проєктування його системи автоматизації.

По-третє, при дослідженні студентами на новому навчальному засобу життєвого циклу або екземпляру цієї системи автоматизації в цілому, або екземплярів її підсистем, краще необхідно мати фізичну реалізацію цієї системи в цілому в навчальній лабораторії вузу.

Враховуючи усі наведені критерії вибору, можна запропонувати в якості цієї основи нового навчального засобу вже існуючу на кафедрі АІТ ВНТУ лабораторну імітацію системи автоматизації конкретного виробництва хімічної продукції [8-10]. Ця імітаційна модель отримала назву «лабораторна імітація навчальної фабрики», вона вже тривалий час використовується в навчальному процесі для практичної підготовки бакалаврів та магістрів

спеціальностей 151 та 174. Ця імітаційна модель відтворює діяльність деякого реального виробництва хімічної продукції, яке показано на рисунку 1.4.

Такий реальний виробничий процес призначений для випуску партій різної хімічної продукції. В організаційному плані він складається з п'яти частин – основного технологічного процесу (ОТП), допоміжного технологічного процесу (ДТП1), допоміжного технічного процесу (ДТП2) та двох обслуговуючих технічних процесів (ОТП1 та ОТП2).

Основний ТП (ОТП) виконується на таких виробничих ділянках цеху (фази основного ТП):

- виробнича ділянка №1 (ТП на основі хімічного реактора);
- виробнича ділянка №2 (ТП на основі накопичувача/дозатора);
- виробнича ділянка №3 (ТП на основі роботизованої пакувальної лінії).

Перший допоміжний технологічний процес (ДТП1) виконується на ділянці допоміжного виробництва з використанням двох автоматизованих виробничих ліній.

Перший обслуговуючий технічний процес (ОТП1) виконується на цеховому складі у вигляді зберігання та переміщення рідких й твердих матеріальних ресурсів виробництва.

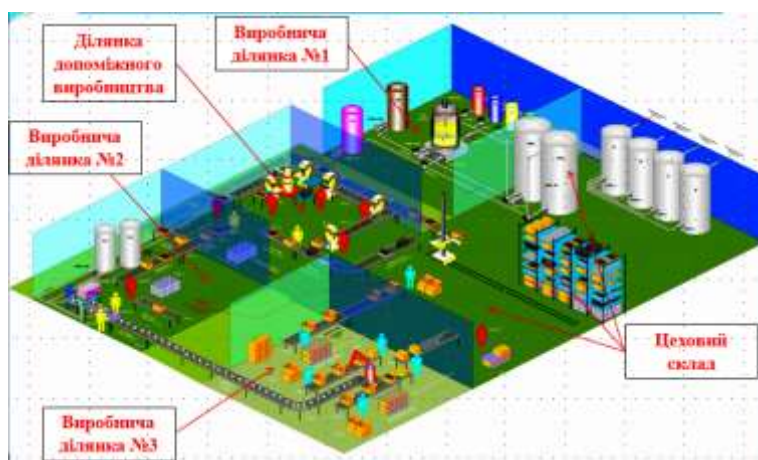


Рисунок 1.4 – Реальне виробництво хімічної продукції

Між окремими процесами даного виробництва існують різноманітні матеріальні потоки – рідкі (по трубопроводах) та тверді (на конвеєрах та на автокарах).

Для рідких матеріальних ресурсів крім системи трубопроводів організовані як місця тривалого зберігання їх запасів (резервуарний парк цехового складу), так і місця їх короткочасного зберігання (резервуари локальних запасів на виробничих ділянках). На рисунку 1.5 показані усі ці місця зберігання запасів рідких матеріальних ресурсів та виробничі ділянки, де вони розміщені на реальному підприємстві.

Для твердих матеріальних ресурсів крім системи конвеєрів також організовані як місця тривалого зберігання їх запасів (наприклад стелажі цехового складу), так і місця їх короткочасного зберігання у спеціальних зонах на виробничих ділянках (рисунок 1.6).

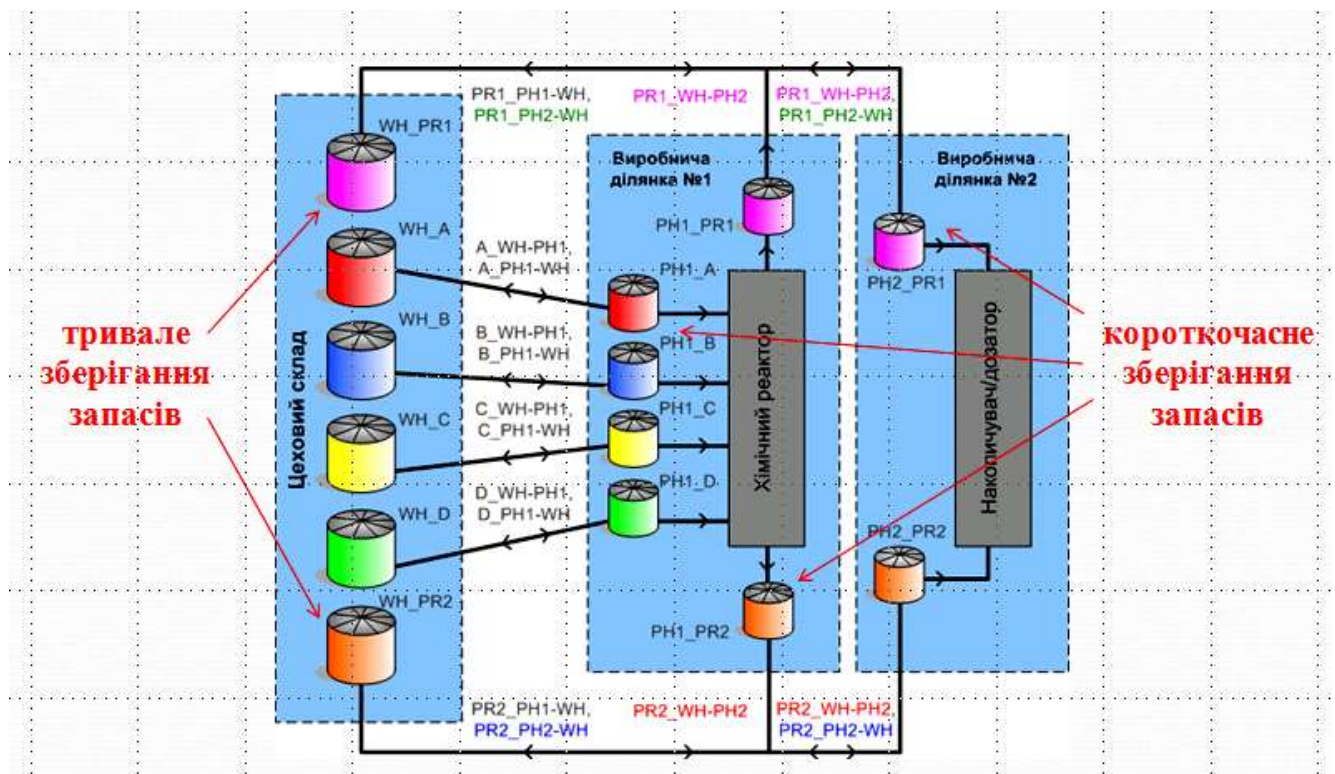


Рисунок 1. 5 – Схема матеріального забезпечення виробництва рідкими матеріальними ресурсами

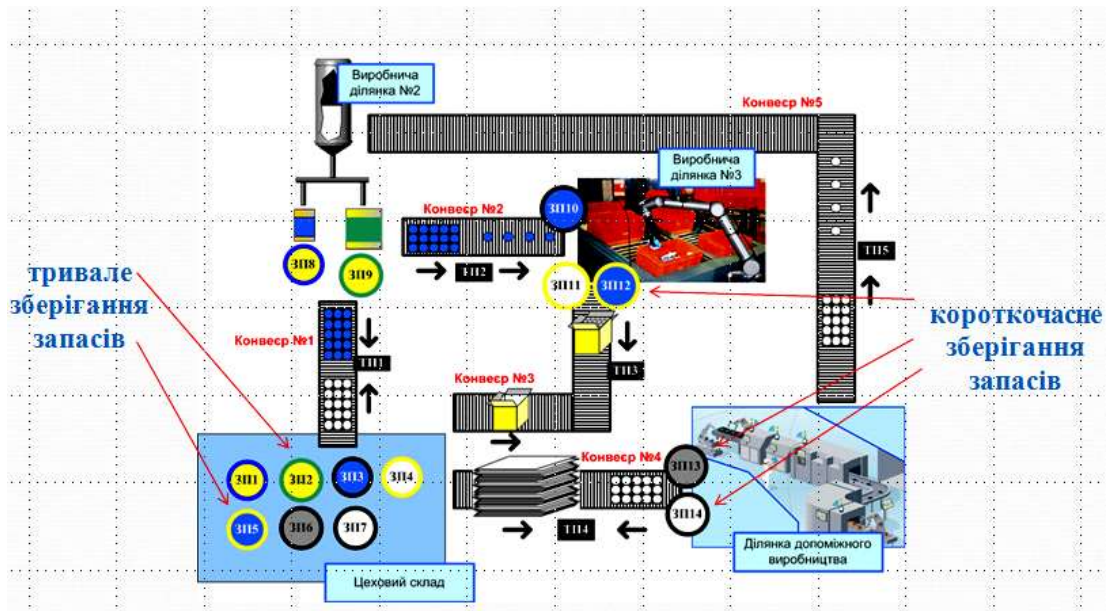


Рисунок 1.6 – Схема матеріального забезпечення виробництва твердими матеріальними ресурсами

Система автоматизації даного реального виробничого процесу (рисунок 1.7) являє собою 4-рівневу комп'ютерно-інтегровану систему управління (КІСУ), яка створена за концепцією СІМ (Computer Integrated Manufacturing) [11].

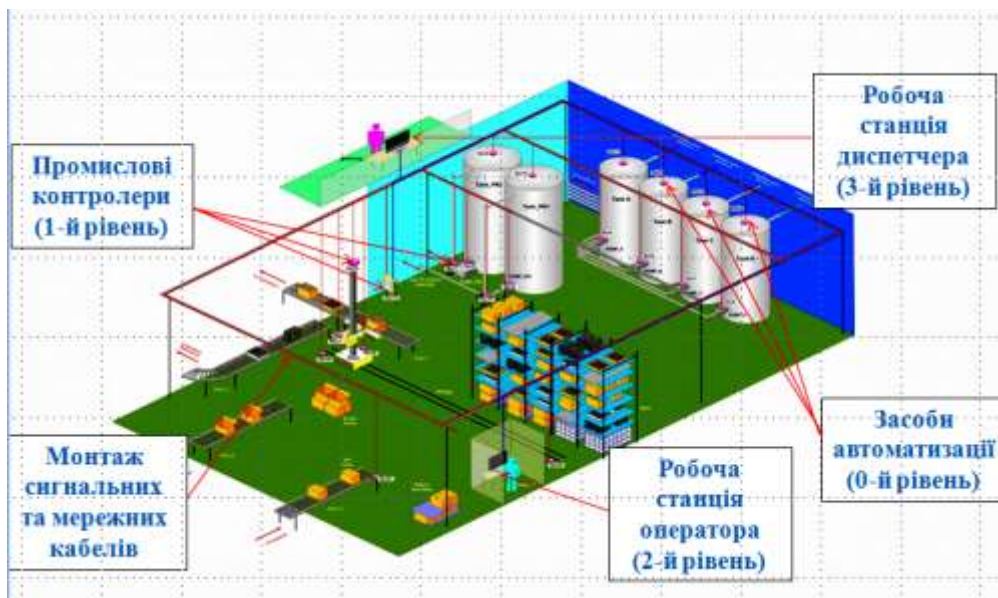


Рисунок 1.7 – Монтаж системи автоматизації виробничим процесом цехового складу

На 0-му рівні цієї КІСУ функціонують різноманітні засоби низової автоматики – датчики, вимірювачі, виконавчі пристрої (вентилі, мотори, насоси і т.п.). На 1-му рівні КІСУ функціонують різноманітні засоби контролерного управління ТП. На 2-му рівні системи функціонують програмно-технічні засоби операторського управління ТП – робочі станції, промислові комп'ютери, сервери баз даних реального часу. На 4-му рівні КІСУ функціонують програмно-технічні засоби техніко-економічного управління виробничим процесом (автоматизовані робочі місця управлінців окремих служб, сервери глобальних баз даних виробничого процесу).

Для створення лабораторної імітаційної моделі описаного виробництва та відповідної системи його автоматизації були використані різноманітні моделі (фізичні, електромеханічні, імітаційні, гібридні) описаних вище технологічних та технічних процесів реального виробництва, а також усіх його матеріальних потоків та запасів (трубопроводи, конвеєри, резервуари, зони зберігання тощо).

На рисунку 1.8 показаний монтаж електричних імітаційних моделей рідких матеріальних потоків (трубопроводів) між цеховим складом (гібридна модель) та фазою 1 основного ТП (фізична модель).

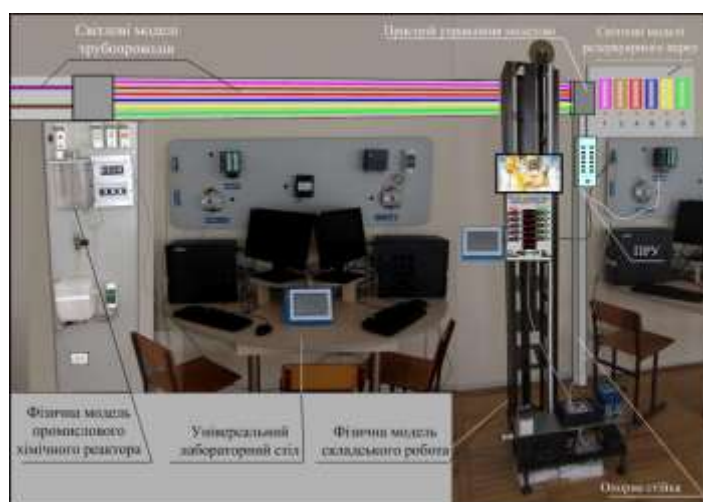


Рисунок 1.8 - Монтаж моделей трубопроводів та технологічних/технічних процесів в приміщенні лабораторії

Як видно з рисунку, горизонтальна металева панель, на якій монтується світлова імітаційна модель шести трубопроводів, зліва опирається на конструкцію фізичної моделі промислового хімічного реактора, а справа – на вертикальну опорну стійку, яка кріпиться до стіни. Світлова імітаційна модель резервуарного парку розміщується над настінною панеллю лабораторного столу №3, опираючись на неї, а з лівого боку кріпиться до вертикальної опорної стійки. Обидві світлові імітаційні моделі розділені металічним боксом, всередині якого змонтований пристрій управління електричною імітаційною моделлю шести рідких матеріальних потоків та резервуарного парку.

Нижче до вертикальної опорної стійки кріпиться пульт ручного управління (ПРУ) електричною імітаційною моделлю шести рідких матеріальних потоків та резервуарного парку. На лицьовій панелі пульта встановлені 12 кнопкових вмикачів, за допомогою яких можна включати електричні імітаційні моделі окремих трубопроводів та баків резервуарного парку для двох режимів їх роботи: перекачування рідини з резервуарного парку до хімічного реактора та перекачування рідини з хімічного реактора до резервуарного парку.

Для автоматизації описаної вище імітаційної моделі хімічного виробництва в лабораторії змонтовані різноманітні промислові зразки технічних засобів автоматизації (датчики, виконавчі пристрої, промислові контролери, персональні комп'ютери, сервери та цифрові мережі). Ці технічні засоби разом з відповідним програмним забезпеченням і утворюють відповідну КІСУ, яка виконує усі ті функції, що і КІСУ реального хімічного виробництва.

На рисунку 1.9 наведена загальна конфігурація цієї лабораторної КІСУ.

Структурно система розміщена на чотирьох універсальних лабораторних столах (автоматизовані робочі місця АРМ1-АРМ8 студентських бригад) та на двох спеціалізованих стійках (№1 та №2).

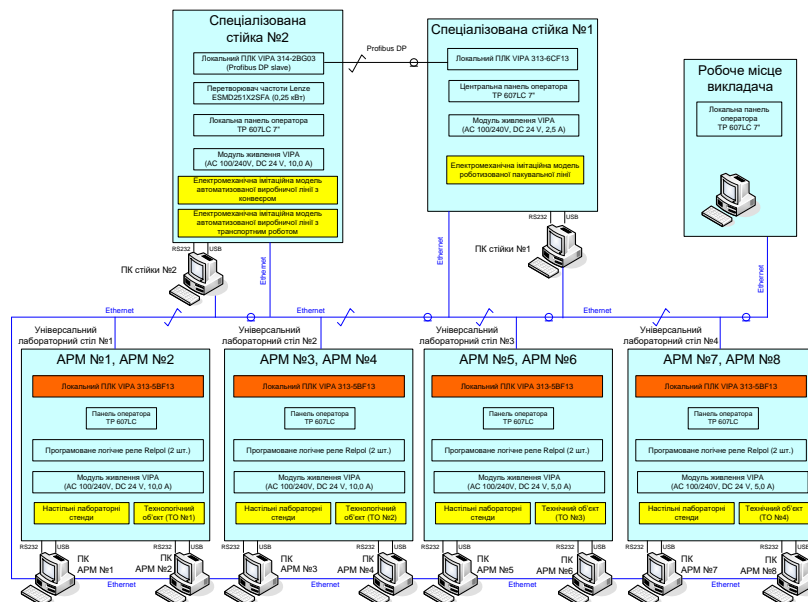


Рисунок 1.9 – Лабораторна КІСУ «віртуальним» виробництвом хімічної продукції

Усі універсальні лабораторні столи мають однакову комплектацію для забезпечення проведення лабораторних та практичних занять фронтальним методом, а саме, двома персональними комп'ютерами (ПК), одним локальним ПЛК "VIPA 313-5BF13", одною панеллю оператора "VIPA TP 607LC", двома програмованими реле "Relpol", модулем живлення (24 В) та некерованим комутатором Ethernet на 5 каналів. Для кожної студентської бригади виготовляються настільні тематичні лабораторні стенди, які за вибором студентів підключаються або до входів-виходів ПЛК, або до входів-виходів програмованого реле (в залежності від тематики заняття).

Біля кожного універсального лабораторного столу змонтовано фізичну модель одного з технологічних/технічних процесів, що описані вище:

- промислового накопичувача/дозатора ("ТО №1");
- промислового хімічного реактора ("ТО №2");
- промислового цехового складу ("ТО №3").

Для автоматизації цих моделей технологічних/технічних процесів на



них змонтовані усі потрібні промислові засоби автоматизації: датчики та сигналізатори рівня, датчики витрат та температури, безконтактні шляхові вимикачі та імпульсні датчики кута обертання, електромагнітні клапани, електронасоси, термоелектричний нагрівач, електродвигуни різних типів, частотний перетворювач, зчитувач персональних магнітних карток, спеціалізований контролер управління доступом і т.д.

На спеціалізованій стійці №1 встановлені ПЛК "VIPA 313-6CF13" (з опцією "Profibus DP master") та центральна панель оператора "VIPA TP 607LC", а на столі біля стійки встановлена електромеханічна імітаційна модель роботизованої пакувальної лінії.

На спеціалізованій стійці №2 змонтований локальний ПЛК "VIPA 314-2BG03" (з опцією "Profibus DP slave") та локальна панель оператора "VIPA TP 607LC", а на столі біля стійки встановлені дві електромеханічні моделі автоматизованих виробничих ліній – лінії з трьома робочими станціями та конвеєром, а також лінії з двома робочими станціями та транспортним роботом.

Робоче місце викладача в КІСУ утворюється окремим ПК та локальною панеллю оператора "TP 607LC", через які викладач може спостерігати за ходом виконання лабораторних чи практичних завдань на кожному універсальному лабораторному столі, а також надсилати у електронному вигляді на ПК студентів усі необхідні методичні матеріали, наприклад, демонструвати пояснення поточної навчальної теми у вигляді презентації Power Point. На основі такої КІСУ «віртуальним» виробництвом хімічної продукції вже тривалий час проводяться практикуми з різних професійно-орієнтованих та спеціальних дисциплін спеціальності 151, а нещодавно і 174. Зазвичай практичні завдання цих практикумів пов'язані з автоматизацією окремих технологічних/технічних процесів (бакалаврський рівень підготовки) та автоматизацією виробничих процесів (магістерський рівень підготовки). Такі практичні завдання характеризуються найбільшою складністю і тому виконуються зазвичай студентами тільки старших курсів.

### 1.3 Обґрунтування загальної концепції навчального засобу

Для того, щоб обґрунтувати загальну концепцію нового навчального засобу, треба спочатку означити той життєвий цикл описаної вище системи автоматизації хімічного виробництва, який студенти повинні будуть досліджувати за допомогою цього навчального засобу. Крім того, враховуючи складність цього предмету досліджень, треба також означити ту схему навчального процесу, яка б дозволила проводити вказані практичні дослідження на протязі тривалого часу в рамках кількох пов'язаних між собою професійних дисциплін старшого курсу бакалаврської підготовки та першого курсу магістерської підготовки спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 174 «Автоматизація комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» .

На рисунку 1.10 показаний один із можливих варіантів такої схеми навчального процесу.

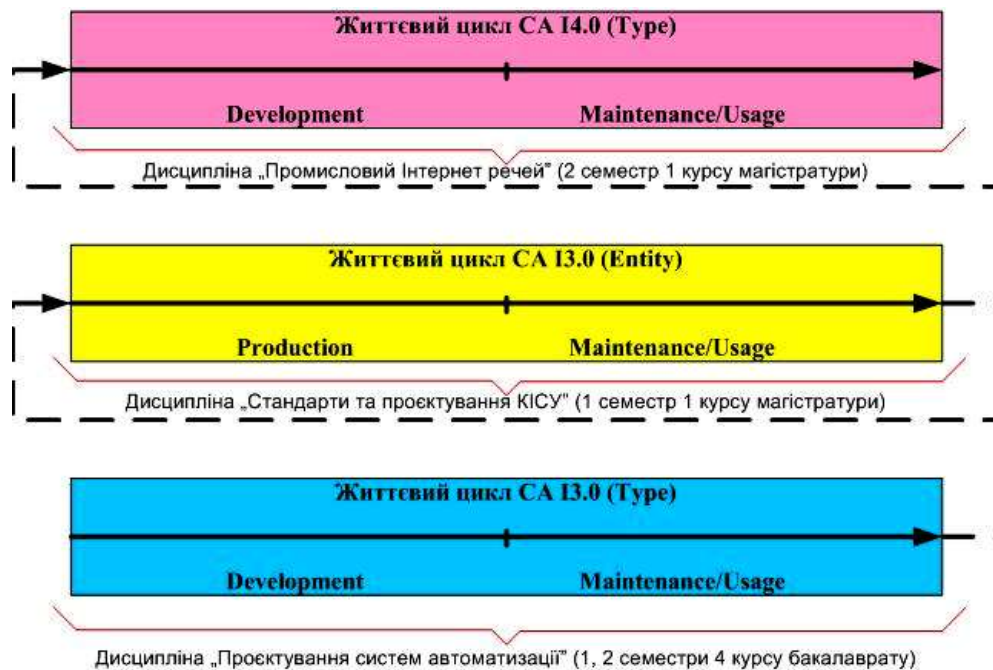


Рисунок 1.10 – Схема навчального процесу для практичного дослідження життєвого циклу промислової СА

Як видно з рисунку, практичні дослідження складаються з трьох стадій:

- дослідження життєвого циклу типу (Type) СА, побудованої за концепцією «Індустрія 3.0» (I3.0);
- дослідження життєвого циклу сутності/екземпляру (Entity) СА, побудованої за концепцією «Індустрія 3.0» (I3.0);
- дослідження життєвого циклу типу (Type) СА, побудованої за концепцією «Індустрія 4.0» (I4.0).

Перше практичне дослідження студенти можуть виконувати протягом двох семестрів 4 курсу бакалаврської підготовки в рамках лабораторного та практичного курсів професійної дисципліни «Проектування систем автоматизації», а також під час відповідної самостійної роботи студентів (СРС). Друге практичне дослідження студенти можуть виконувати протягом першого семестру 1 курсу магістерської підготовки в рамках лабораторного курсу професійної дисципліни «Стандарти та проектування комп'ютерно-інтегрованих систем управління». Третє . практичне дослідження студенти можуть виконувати протягом другого семестру 1 курсу магістерської підготовки в рамках практичного курсу вибіркової професійної дисципліни «Промисловий Інтернет речей».

Таким чином, студенти в ході практичної роботи на новому навчальному засобі зможуть не тільки на практиці освоїти основні види інженерної діяльності по розробці та реалізації СА, яка відповідає сучасній концепції промислової автоматизації «Індустрія 3.0», але і здійснити на практиці інженерний процес її цифрової трансформації у СА, яка вже буде відповідати перспективній концепції автоматизації цифрового підприємства «Індустрія 4.0».

При цьому, як було зазначено вище, окремий життєвий цикл сутності/екземпляру промислової СА має досліджуватися студентами з залученням як реальних зразків технічних засобів автоматизації (датчики, виконавчі пристрої, промислові контролери та персональні комп'ютери), так

і різних моделей (фізичних, електромеханічних імітаційних, гібридних) технологічних/технічних процесів, які змонтовані в лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка» кафедри АІТ та утворюють «віртуальне» виробництво хімічної продукції.

Крім того, для виконання усіх видів інженерної діяльності, які студенти будуть виконувати в рамках нового навчального засобу, послідовно вивчаючи в рамках наскрізного проєктного практикуму зазначені вище життєві цикли промислової СА, треба обов'язково застосовувати такий інструмент проєктування та реалізації систем промислової автоматизації як «Siemens TIA Portal».

«Siemens TIA Portal» (Siemens Totally Integrated Automation Portal) - інтегроване середовище розробки (Integrated Designing Environment, IDE) програмного забезпечення (ПЗ) промислових систем автоматизації (СА) технологічних/технічних процесів (ТП) від рівня приводів і контролерів до рівня людино-машинного інтерфейсу (ЛМІ, НМІ). Воно є втіленням концепції комплексної автоматизації й еволюційним розвитком сімейства систем автоматизації SIMATIC від корпорації «Siemens AG» [12-17] (рисунок 1.11).

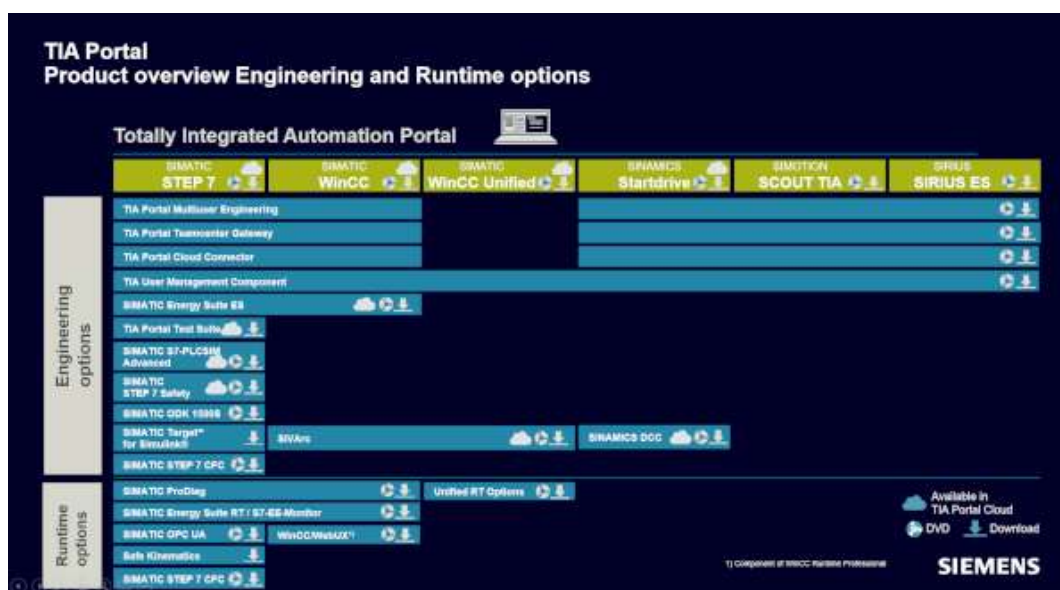


Рисунок 1.11 – Концептуальна будова IDE «Siemens TIA Portal»

Інженерне ПЗ «Siemens TIA Portal», яке називається «TIA Portal Engineering Framework», має безліч вбудованих функцій і опцій для ефективного проєктування цифрового підприємства, яке завдяки цьому відповідатиме вимогам концепції «Industrie 4.0» (рисунок 1.12), наприклад «SIMATIC Visualization Architect» (SiVArc), «SIMATIC Pro Diag», «SIMATIC Energy Suite», «TIA Portal Test Suite» і ще багато інших.

На рисунку 1.13 наведений склад цих функцій та їх опцій для реалізації контролерного рівня управління технологічними/технічними процесами виробництва, наприклад, «S7-PLC SIM Advanced», «SIMATIC Open Development Kit (ODK 1500S)» та інші. Весь цей функціонал значно скорочує для виробників промислових СА час виходу на ринок нового устаткування й збільшує продуктивність кінцевих користувачів.

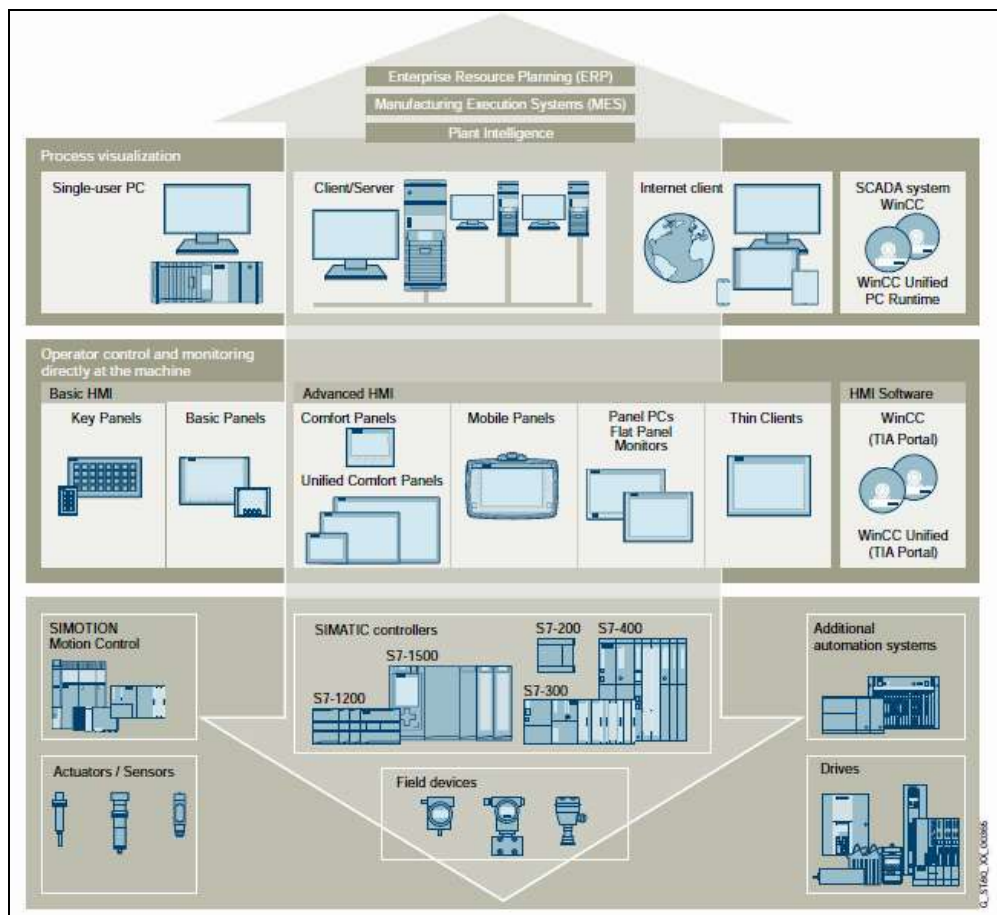


Рисунок 1.12 – Siemens «TIA Portal»: архітектура виробничої КІСУ

	<b>12/3</b>	<b>TIA Portal</b>
	12/3	TIA Portal Cloud
	12/4	PLC programming
	12/4	STEP 7 Basic (TIA Portal)
	12/6	STEP 7 Professional (TIA Portal)
	12/9	STEP 7 (TIA Portal) options
	12/9	- STEP 7 CFC (TIA Portal)
	12/11	- STEP 7 Safety (TIA Portal)
	12/13	- S7-PLCSIM Advanced
	12/15	- ODK 1500S
	12/16	- SIMATIC Target for Simulink
	12/17	- SIMATIC Safe Kinematics
	12/18	- SIMATIC Kinematics Operate
	12/19	- S7-1500T Motion Control KinPlus
	12/20	- PID Professional (TIA Portal)
	12/21	- Easy Motion Control (TIA Portal)
	12/22	- SIMATIC TPCamGen technology package
	12/23	- OPC UA S7-1200/S7-1500
	12/24	<u>TIA Portal options</u>
	12/24	TIA Portal Multiuser Engineering
	12/25	TIA Portal Test Suite
	12/26	TIA Portal Cloud Connector
	12/27	TIA Portal Teamcenter Gateway
	12/28	TIA Portal CAx Publication Tools
	12/29	SIMATIC Visualization Architect
	12/30	SIMATIC ProDiag
	12/31	SIMATIC Modular Application Creator
	12/32	Central user management (UMC)

Рисунок 1.13–Функціонал «Siemens TIA Portal» для контролерного рівня СА

На основі сформованих напрямів проєктування нового навчального засобу та загального бачення функціоналу інженерного ПЗ «Siemens TIA Portal» розробимо тепер концептуальне рішення такого навчального засобу. Розробку будемо проводити для кожного життєвого циклу промислової СА, що показані на рисунку 1.10.

Для дослідження студентами життєвого циклу типу промислової СА, що відповідає концепції «Індустрія 3.0» (І3.0), можна запропонувати концепцію побудови нового навчального засобу, що наведена на рисунку 1.14 і в додатку Б.

Як видно з рисунку, дана концепція відображає не тільки основні компоненти будови навчального засобу, але і часовий вимір процесу виконання студентом індивідуальних завдань проєктного практикуму, що відтворює у навчальному засобі реальний життєвий цикл типу СА І3.0 (позначений на рисунку як «ЖЦ типу СА 3.0»).

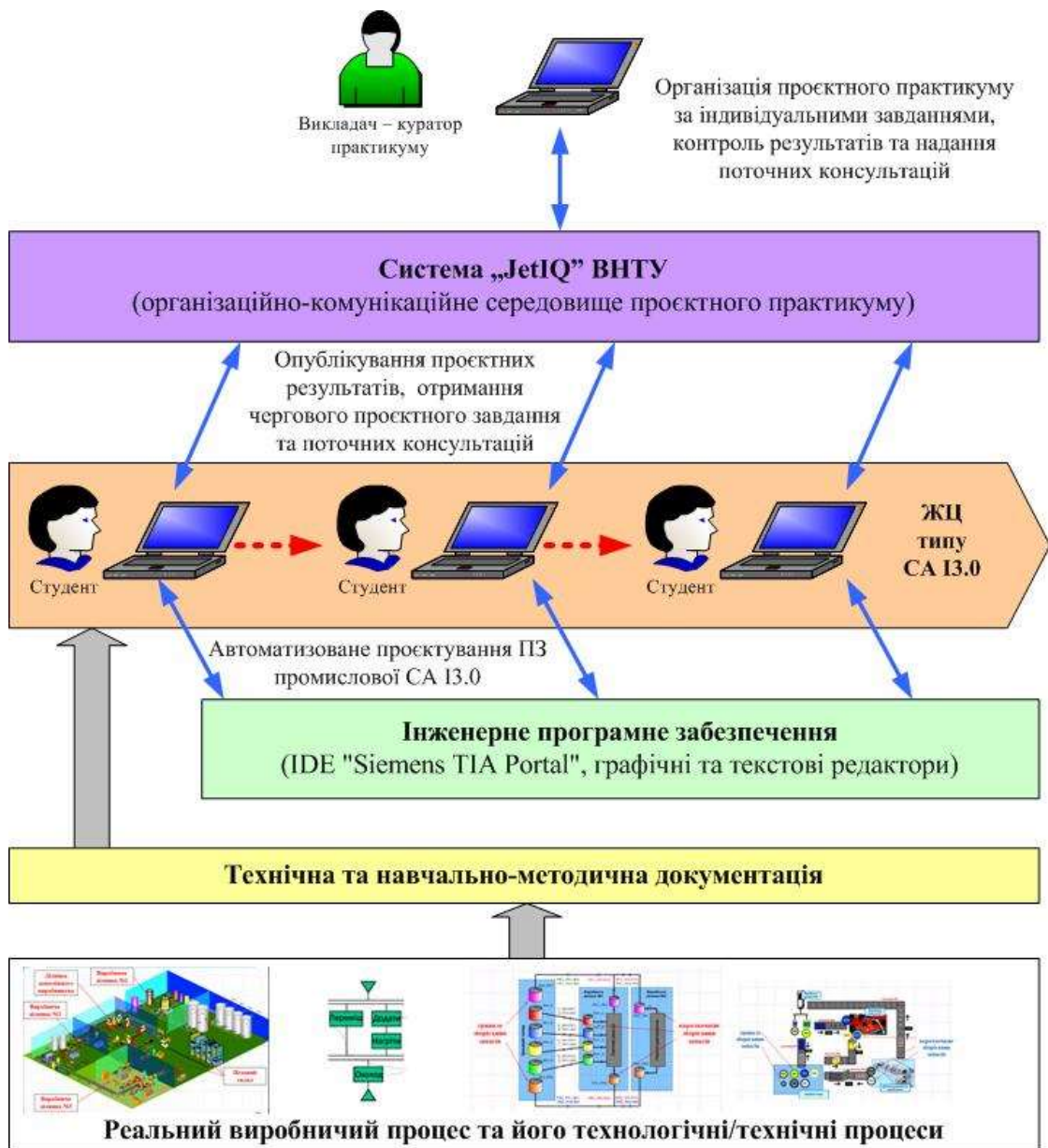


Рисунок 1.14 – Концепція побудови навчального засобу для дослідження життєвого циклу (ЖЦ) типу промислової CA I3.0

Основними компонентами будови навчального засобу є такі:

- реальний виробничий процес та його технологічні/технічні процеси;
- технічна та навчально-методична документація, що детально описує їх організацію, устрій та принцип дії;
- інженерне програмне забезпечення для виконання завдань

проектного практикуму, що складається з інтегрованого середовища розробки ПЗ «IDE "Siemens TIA Portal" для СА ІЗ.0, а також відповідних додаткових графічних та текстових редакторів ОС Windows;

– система автоматизованого управління даними освітнього процесу та документообігу «JetIQ» ВНТУ, що утворює організаційно-комунікаційне середовище проектного практикуму.

На рисунку також показані дві основні зовнішні ролі (актори), що взаємодіють з вказаними компонентами в ході індивідуального проектного практикуму студента:

- роль (актор) «Викладач – куратор практикуму»;
- роль (актор) «Студент».

Актор «Викладач – куратор практикуму» розробляє індивідуальні проектні завдання студента для кожного етапу виконання проектного практикуму в межах досліджуваного ЖЦ типу СА ІЗ.0, згідно з планом проектного практикуму опубліковує ці завдання у потрібному порядку (через відповідний сервіс системи «JetIQ»), контролює результати виконання студентом поточного індивідуального завдання (через відповідний сервіс системи «JetIQ») та надає студенту при необхідності поточні теоретичні та практичні консультації (через відповідний сервіс системи «JetIQ»).

Актор «Студент» отримує від викладача – куратора практикуму чергове індивідуальне проектне завдання (через відповідний сервіс системи «JetIQ»), вивчає відповідну технічну та навчально-методичну документацію, пов'язану з цим завданням, а потім до означеного в завданні терміну поступово виконує його під час лабораторних/ практичних занять та самостійної роботи з дисципліни «Проектування систем автоматизації», користуючись при цьому як інформацією з означеної вище документації, так і потрібним інженерним програмним забезпеченням (або «IDE "Siemens TIA Portal", або графічним редактором ОС Windows, або текстовим редактором ОС Windows), і своєчасно опубліковує отримані результати проектування (через відповідний сервіс системи «JetIQ»).



Для дослідження студентами життєвого циклу екземпляру промислової СА, що відповідає концепції «Індустрія 3.0» (І3.0), можна запропонувати концепцію побудови нового навчального засобу, що наведена на рисунку 1.15 і в додатку Б. Як видно з рисунку, дана концепція також відображає не тільки основні компоненти будови навчального засобу, але і часовий вимір процесу виконання студентом індивідуальних завдань проєктного практикуму, що відтворює у навчальному засобі реальний життєвий цикл екземпляру СА І3.0 (позначений на рисунку як «ЖЦ екземпляру СА 3.0»).

Основними компонентами будови навчального засобу є такі:

- лабораторна імітація виробничого процесу та його технологічних/технічних процесів;
- технічна та навчально-методична документація, що детально описує їх організацію, устрій та принцип дії;
- інженерне програмне забезпечення для виконання завдань проєктного практикуму, що складається з інтегрованого середовища розробки ПЗ «IDE "Siemens TIA Portal" для СА І3.0, основного ПЗ лабораторної КІСУ, а також відповідних додаткових графічних та текстових редакторів ОС Windows;
- система автоматизованого управління даними освітнього процесу та документообігу «JetIQ» ВНТУ, що утворює організаційно-комунікаційне середовище проєктного практикуму.

На рисунку також показані дві основні зовнішні ролі (актори), що і на рисунку 1.14, а саме, «Викладач – куратор практикуму» та «Студент».

Таким чином, відмінність даної концепції від попередньої полягає в тому, що, по-перше, проєктування екземпляру СА І3.0 виконується під реальні зразки технічних засобів автоматизації (ТЗА) лабораторної КІСУ та наявне в ній основне ПЗ, по-друге, на стадії «Production» ЖЦ екземпляру СА студент

обов'язково виконує збірку, наладку та пуск готового екземпляру СА в навчальній лабораторії, по-третє, на стадії «Maintenance/Usage» ЖЦ екземпляру СА студент обов'язково демонструє викладачу-куратору практикуму роботу своєї СА у режимах, передбачених індивідуальним проєктним завданням. У інших компонентах дана концепція аналогічна попередній.

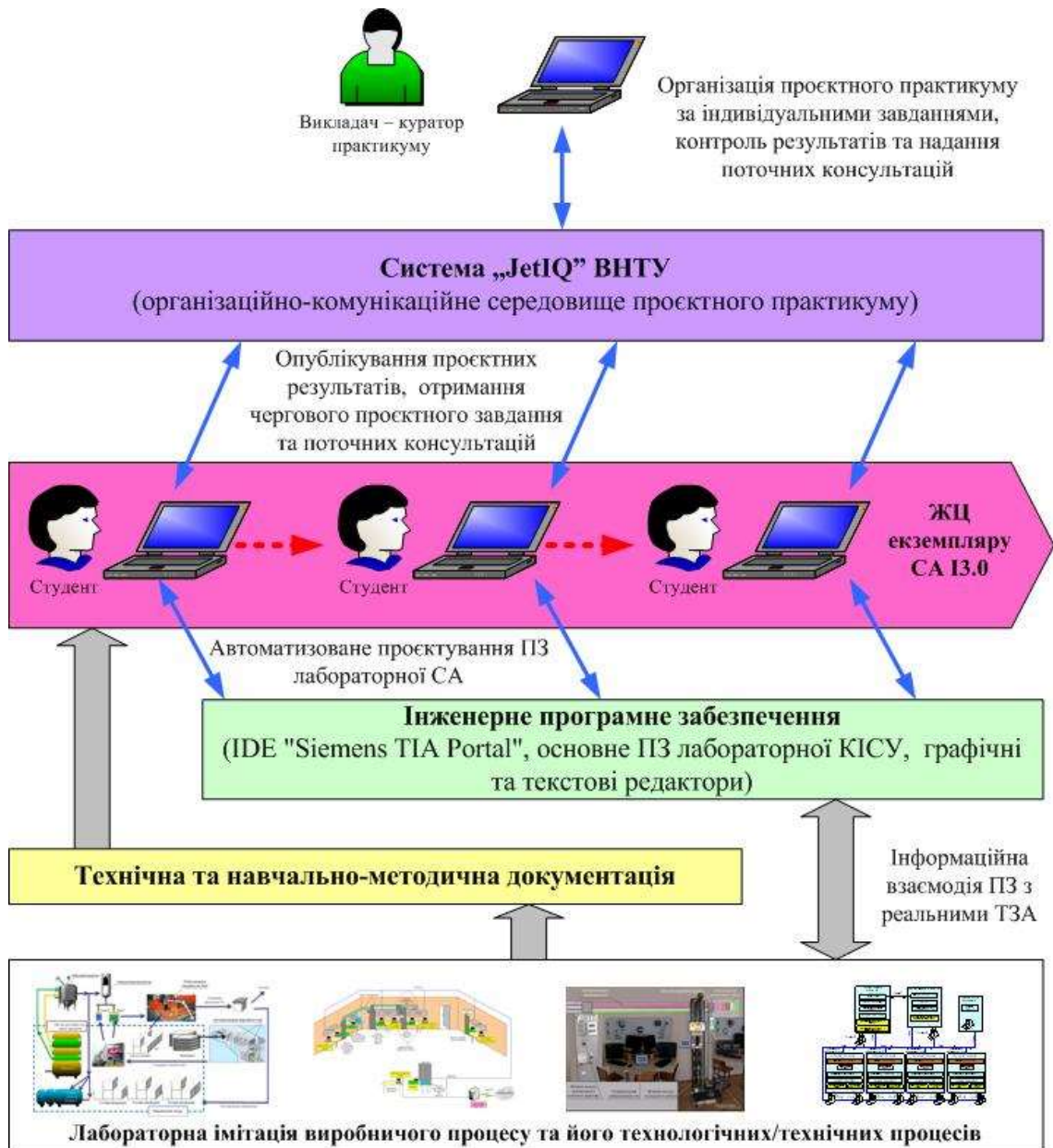


Рисунок 1.15 – Концепція побудови навчального засобу для дослідження життєвого циклу (ЖЦ) екземпляру промислової СА I3.0

Так, актор «Викладач – куратор практикуму» також розробляє індивідуальні проєктні завдання студента для кожного етапу виконання проєктного практикуму в межах досліджуваного ЖЦ екземпляру СА І3.0, згідно з планом проєктного практикуму також опубліковує ці завдання у потрібному порядку (через відповідний сервіс системи «JetIQ»), також контролює результати виконання студентом поточного індивідуального завдання (через відповідний сервіс системи «JetIQ») та надає студенту при необхідності поточні теоретичні та практичні консультації (через відповідний сервіс системи «JetIQ»).

Актор «Студент» також отримує від викладача – куратора практикуму чергове індивідуальне проєктне завдання (через відповідний сервіс системи «JetIQ»), вивчає відповідну технічну та навчально-методичну документацію, пов'язану з цим завданням, а потім до означеного в завданні терміну поступово виконує його під час лабораторних/ практичних занять та самостійної роботи з дисципліни «Стандарти та проєктування комп'ютерно-інтегрованих систем управління», користуючись при цьому як інформацією з означеної вище документації, так і потрібним інженерним програмним забезпеченням (або «IDE "Siemens TIA Portal", або основним ПЗ лабораторної КІСУ, або графічним редактором ОС Windows, або текстовим редактором ОС Windows), і своєчасно опубліковує отримані результати проєктування (через відповідний сервіс системи «JetIQ»).

Для дослідження студентами життєвого циклу типу промислової СА, що відповідає концепції «Індустрія 4.0» (І4.0), можна запропонувати концепцію побудови нового навчального засобу, що наведена на рисунку 1.16 і в додатку Б. Як видно з рисунку, дана концепція також відображає не тільки основні компоненти будови навчального засобу, але і часовий вимір процесу виконання студентом індивідуальних завдань проєктного практикуму, що відтворює у навчальному засобі реальний життєвий цикл типу СА І4.0 (позначений на рисунку як «ЖЦ типу СА 4.0»).

На відміну від концепції, показаної на рисунку 1.15, ця концепція

будується вже на основі реального виробничого процесу та його технологічних/технічних процесів. Таким чином, вихідна інформація, потрібна студенту для виконання індивідуальних завдань, міститься тільки у технічній та навчально-методичній документації, якою забезпечується проєктний практикум.

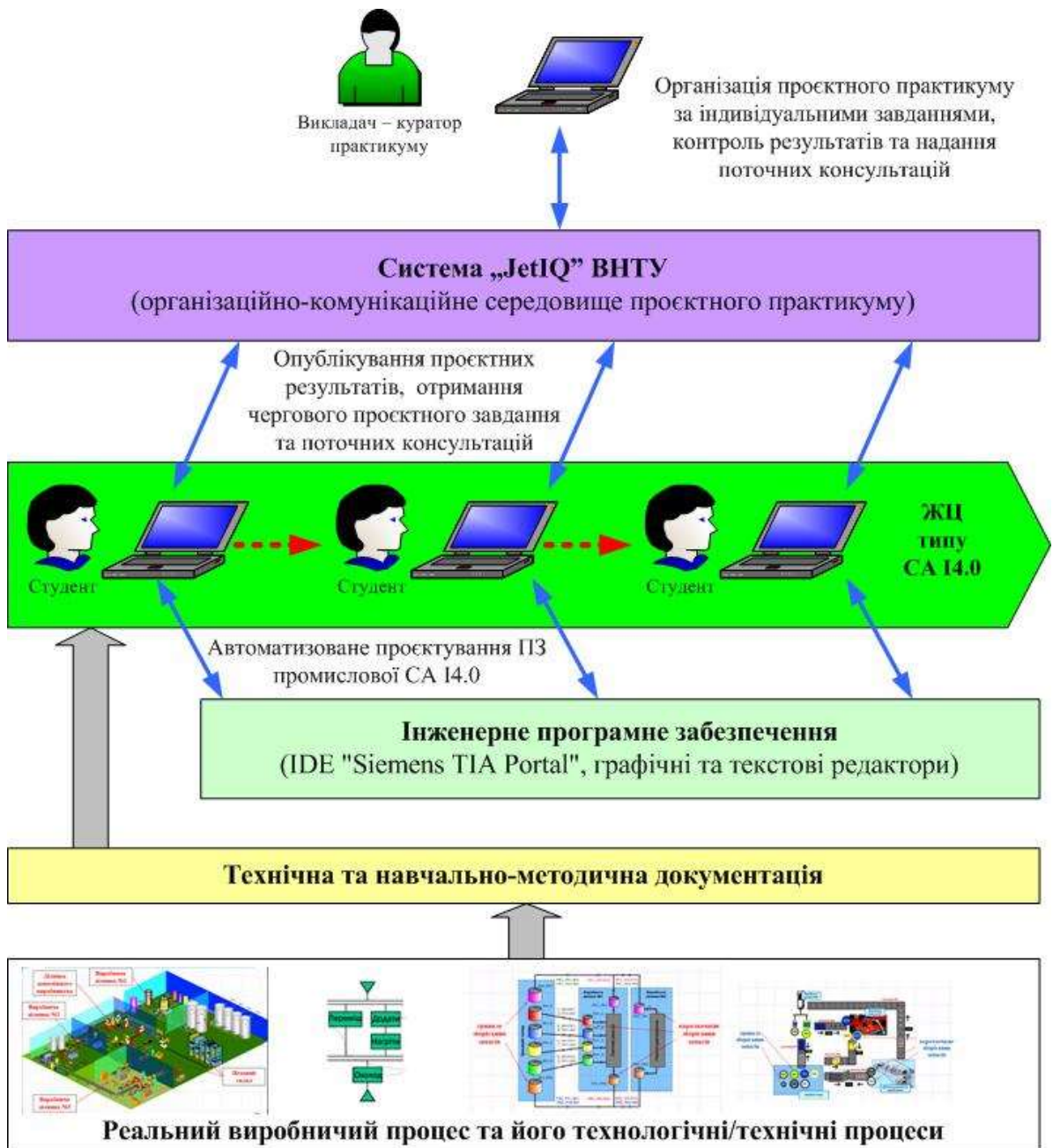


Рисунок 1.16 – Концепція побудови навчального засобу для дослідження життєвого циклу (ЖЦ) типу промислової СА 14.0

Такий перехід від об'єкту автоматизації, представленого лабораторною імітацією виробничого процесу та промисловими зразками реальних ТЗА, до об'єкту автоматизації, що тільки описаний у відповідній документації, пояснюється тим, що при вивченні даної стадії ЖЦ СА І4.0, по суті, виконується процес цифрової трансформації СА І3.0 у СА І4.0 на основі проведення аналізу існуючих недоліків автоматизованого виробничого процесу І3.0, а такий аналіз можливо зробити лише для реального автоматизованого процесу, який в умовах університету і можна представити лише у вигляді відповідної технічної та навчально-методичної документації.

Тому основними компонентами будови даної концепції навчального засобу є такі:

- реальний виробничий процес та його технологічні/технічні процеси;
- технічна та навчально-методична документація, що детально описує їх організацію, устрій та принцип дії;
- інженерне програмне забезпечення для виконання завдань проєктного практикуму, що складається з інтегрованого середовища розробки ПЗ «IDE "Siemens TIA Portal" для СА І4.0, а також відповідних додаткових графічних та текстових редакторів ОС Windows;
- система автоматизованого управління даними освітнього процесу та документообігу «JetIQ» ВНТУ, що утворює організаційно-комунікаційне середовище проєктного практикуму.

На рисунку 1.16 також показані дві основні зовнішні ролі (актори) - «Викладач – куратор практикуму» та «Студент».

Актор «Викладач – куратор практикуму» розробляє індивідуальні проєктні завдання студента для кожного етапу виконання проєктного практикуму в межах досліджуваного ЖЦ типу СА І4.0, згідно з планом проєктного практикуму опубліковує ці завдання у потрібному порядку (через відповідний сервіс системи «JetIQ»), контролює результати виконання студентом поточного індивідуального завдання (через відповідний сервіс

системи «JetIQ») та надає студенту при необхідності поточні теоретичні та практичні консультації (через відповідний сервіс системи «JetIQ»).

Актор «Студент» отримує від викладача – куратора практикуму чергове індивідуальне проєктне завдання (через відповідний сервіс системи «JetIQ»), вивчає відповідну технічну та навчально-методичну документацію, пов'язану з цим завданням, а потім до означеного в завданні терміну поступово виконує його під час лабораторних/ практичних занять та самостійної роботи з дисципліни «Промисловий Інтернет речей», користуючись при цьому як інформацією з означеної вище документації, так і потрібним інженерним програмним забезпеченням (або «IDE "Siemens TIA Portal", або графічним редактором ОС Windows, або текстовим редактором ОС Windows), і своєчасно опубліковує отримані результати проєктування (через відповідний сервіс системи «JetIQ»).

На основі описаних вище концептуальних рішень нового навчального засобу було розроблене технічне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу для означення основних вимог до подальшої його розробки (додаток А),

#### 1.4 Висновки до розділу

В результаті виконання досліджень в рамках даного розділу означений предмет навчального дослідження – життєвий цикл промислової системи автоматизації, який буде відтворюватися за допомогою навчального засобу в рамках наскрізного проєктного практикуму. Для подальшого обґрунтування загальної концепції нового навчального засобу для дослідження способу відображення й обробки цифрового життєвого циклу як типу промислової системи автоматизації, так і її екземпляру, був досліджений реальний виробничий процес хімічного підприємства, а також існуюча його лабораторна імітація та реалізація в ній основних

технологічних/технічних процесів. Досліджена також функціональна структура інтегрованого середовища розробки (IDE) ПЗ промислових систем автоматизації «Siemens TIA Portal» та намічені ті способи його застосування, які можуть на практиці вивчати студенти на новому навчальному засобі. Розроблена загальна концепція побудови нового навчального засобу, яка відображає як його складові компоненти, так і часовий вимір процесу виконання студентом відповідного проєктного практикуму.

## 2 АРХІТЕКТУРНЕ ПРОЄКТУВАННЯ НАВЧАЛЬНОГО ЗАСОБУ

Враховуючи концептуальні рішення нового навчального засобу, розроблені у попередньому розділі, та вимог технічного завдання на науково-дослідну роботу (див. додаток А), спроектуємо тепер відповідне архітектурне рішення цього навчального засобу. Розробку архітектури НЗ будемо також проводити окремо для кожного життєвого циклу промислової СА, що досліджується в НЗ (див. рисунок 1.10).

Так як основу програмного забезпечення нового НЗ утворює інженерне ПЗ «Siemens TIA Portal», то при проєктуванні архітектури нового КН треба обов'язково врахувати функціонал цього інструментального середовища. Тому дослідимо основні функції «Siemens TIA Portal» та доступні їх опції [12-17].

### 2.1 Дослідження функціоналу компонентів «Siemens TIA Portal»

Функція «Автоматичне створення візуалізацій HMI», або «SIMATIC Visualization Architect» (SiVArc), забезпечує у «Siemens TIA Portal» (рисунок 2.1):



Рисунок 2.1 – Реалізація функції «SIMATIC Visualization Architect»



- підтримку SCADA пакету «WinCC Unified»;
- поліпшені «правила копіювання»;
- розширення виразів SiVArc;
- підтримку типів зображень;
- підтримку відкритості для FB/FC.

Так, «SiVArc» дозволяє автоматично генерувати змінні, зображення, об'єкти зображень і текстові списки у проєктах візуалізації ТП на основі програмного коду контролера й відповідних правил для створення об'єктів візуалізації. Таким чином, за допомогою «Siemens TIA Portal» можна легко, гнучко й швидко створювати стандартизовані рішення для управління й моніторингу у системах автоматизації ТП.

Функція «Комплексна діагностика машин і устаткування», або «SIMATIC Pro Diag», забезпечує у «Siemens TIA Portal»:

- моніторинг у типах даних ПЛК;
- впровадження нових іконок для інтуїтивно зрозумілої навігації;
- введення у функції фільтра;
- введення «спеціальних текстових полів», що редагуються;
- адресація текстових списків у користувальницькій програмі.

Функція «Управління навантаженням, що випереджає», або «SIMATIC Energy Suite», забезпечує у «Siemens TIA Portal»:

- підключення для передачі даних від сторонніх або таких, що не підтримують EnSL, вимірювальних пристроїв;
- підключення через альтернативні канали зв'язку (OPC UA, Modbus, циклічний образ процесора);
- підтримку й відображення рекуперативного режиму на вході.

Ця функція дозволяє операторам СА ТП ефективно управляти споживанням енергії на своєму підприємстві, щоб підтримувати його конкурентні переваги. З іншого боку, ця функція примушує виробників машин і устаткування прикладати додаткових зусиль для покращення

енергетичної ефективності своїх виробів.

Функція «Інтегроване тестування додатків і перевірка технічної документації за стилем», або «TIA Portal Test Suite», забезпечує у «Siemens TIA Portal»:

- експорт і імпорт наборів правил і тестових випадків;
- тестування додатка для SIMATIC ET200pro, SIMATICS7-1500 R/H та контролера приводу SIMATIC;
- нові інструкції;
- підтримку відкритості порталу: експорт і імпорт наборів правил і тестових випадків, у тому числі з бібліотек;
- впровадження «Style Guide Checker» і тестування додатків;
- надання результатів тестування у вигляді .NET-об'єктів.

Для забезпечення незмінно високої якості програми «TIA Portal Test Suite» пропонує користувачам наступні опції:

– перевірка стилю: для забезпечення погодженого стилю програмування набори правил з рекомендаціями із програмування можуть бути визначені в проєкті «Siemens TIA Portal» і перевірені на відповідність.

– тестування додатка: для перевірки правильності обробки окремих блоків коду або цілих додатків ПЛК «S7-1500» тестові приклади можуть бути створені в проєкті «Siemens TIA Portal» і виконані й підтвержені напівавтоматично за допомогою «SIMATICS 7-PLC SIM Advanced».

При перевірці стилю документації можна використовувати такі правила щодо програмування змінних, блоків, інтерфейсів блоків і самих ПЛК:

- довжина й зміст імен об'єктів;
- префікс імен об'єктів;
- реєстр імен об'єктів;
- властивості об'єктів (наприклад, перевіряє, чи існує коментар блоку).

Користувачі можуть запустити перевірку відповідності в рамках

проєкту «Siemens TIA Portal». Результати перевірки відображаються також в «Siemens TIA Portal». Локація з порушенням правил відкривається за допомогою функції «GoTo». Це має такі переваги для клієнтів:

- просте визначення керівних принципів програмування в «TIA Portal»;

- швидке відстеження й усунення порушень політики програмування;
- гарантований єдиний програмний код

При тестування додатка застосовується текстовий редактор для створення тестових прикладів додатка ПЛК S7. У кожному тестовому випадку можна додатково визначити локальні псевдоніми для змінних ПЛК і створити кілька етапів тестування для перевірки додатка. Один етап тестування додатка

складається з:

- присвоєння значення для однієї або декількох змінних ПЛК (змінна DB/PLC);

- оператор RUN: кількість циклів ЦП/час виконання;

- актив: після закінчення часу фактичне значення змінної порівнюється з визначеним значенням.

Наступні кроки виконуються автоматично після того, як користувач запускає тест:

- створення екземпляра «PLC SIM Advanced»;

- завантаження обраного в проєкті CPU (ЦП) в «PLC SIM Advanced»;

- виконання тесту й наступне видалення екземпляра «PLC SIM Advanced»;

- виведення результатів тестування в «Siemens TIA Portal».

Переваги для клієнтів:

- підтримка тестової розробки програм ПЛК S7;

- на реальну машину завантажуються тільки перевірений код;

- безперервні регресійні тести гарантують незмінно надійну якість

коду.

Функція «Хмарне управління інженерним ПЗ», або «TIA Portal Cloud Connector», забезпечує доступ до локальних інтерфейсів PG/PC і підключеному устаткуванню SIMATIC із середовища проєктування «Siemens TIA Portal», яке виконується на сервері у окремій хмарі через віддалений робочий стіл (рисунок 2.2).

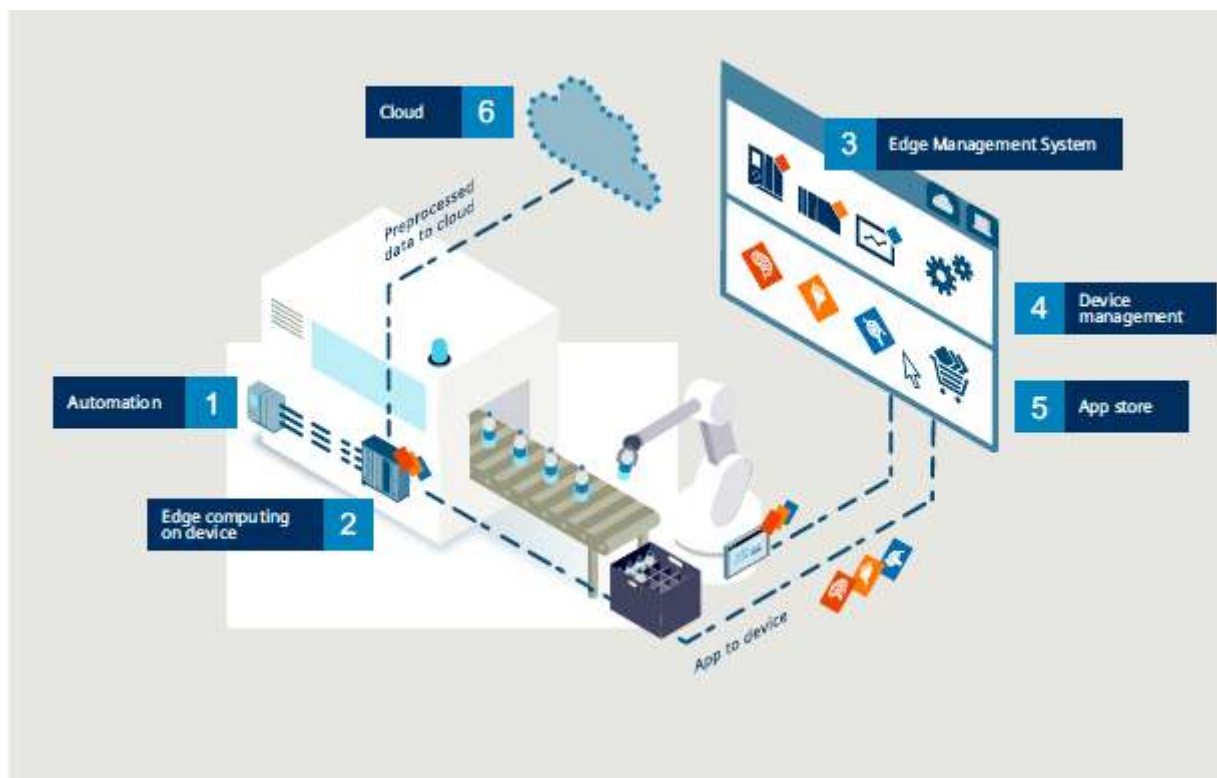


Рисунок 2.2 – Реалізація функції «TIA Portal Cloud Connector»

Така функція надає такі переваги процесу проєктування:

- централізоване управління програмним забезпеченням на приватному хмарному сервері для різних інженерних програм і версій «Siemens TIA Portal» без локальної установки на комп'ютер робочої станції;
- он-лайн-доступ до устаткування SPS/HMI у лабораторії або виробничому осередку із сервера через комп'ютер робочої станції;
- зниження вимог до устаткування на робочому місці.

При виконанні цієї функції:

– створюється тунельний S7-зв'язок між інженерним програмним

забезпеченням на сервері й локальним інтерфейсом комп'ютера робочої станції;

– зв'язок по стандарту здійснюється через TCP/IP (незашифрований), а зашифроване з'єднання HTTP можна використовувати, починаючи з Windows 8.1, оскільки сертифікати аутентифікації й шифрування обмінюються між серверами й комп'ютерами робочих станцій;

– користувачі можуть підключатися до сервера зі своїх робочих станцій

через віддалений робочий стіл і одержувати доступ до устаткування ПЛК/HMI, що підключене до комп'ютера робочої станції, прямо в режимі он-лайн.

Функція «Підключення до Mind Sphere», або «TIA Portal Project Server and Multiuser.

«TIA Portal Project Server» - це автономний серверний додаток, що дозволяє управляти проектами «Siemens TIA Portal», управляти версіями й документувати їх. «Project Server» можна встановити незалежно від «Siemens TIA Portal». Багатокористувальницька розробка дозволяє декільком користувачам одночасно працювати над одним проектом. Робота в локальних сеансах виконується незалежно, і зміни, внесені іншими користувачами, відображаються й можуть бути прийняті. Перевагами такої функції є:

– повна прозорість і можливість централізованого відстеження керованих проектів «Siemens TIA Portal»;

– час настроювання значно скорочується, а проекти вводяться в експлуатацію швидше;

– наявний досвід оптимально використовується.

Функцію «TIA Portal Multiuse Engineering» може використовуватися для реалізації різних варіантів (сценаріїв) проектної роботи:

– сценарій №1: кілька інженерів-конфігураторів працюють над

різними об'єктами на різних пристроях; кожний інженер-конфігуратор обробляє призначені йому об'єкти на різних пристроях (контролерах);

- сценарій №2: кілька інженерів-конфігураторів працюють із різними об'єктами залежно від конкретного пристрою; кожний інженер-конфігуратор обробляє призначені йому об'єкти тільки на одному пристрої (контролері);

- сценарій №3: кілька інженерів-конфігураторів працюють із різними об'єктами на основі певної технології; кожний інженер-проектувальник обробляє певні технологічні об'єкти (наприклад, «Motor\_1» або «Motor\_2») на всіх існуючих пристроях (контролерах).

Опціями виконання цієї функції є такі:

- адміністрація проекту знаходиться на локальному або зовнішньому сервері;

- кілька користувачів працюють у локальних сеансах на основі проектів, які адмініструються на сервері;

- робота в локальних сесіях ведеться самостійно;

- зміни, внесені в локальні сеанси, передаються в серверний проект за допомогою процесу реєстрації;

- відображаються зміни, внесені іншими користувачами, і їх можна легко прийняти.

Функція «Програмування функцій безпеки», або «TIA Portal UMAC» (User Management & Access Control), забезпечує інтегроване управління користувачами для проектів «Siemens TIA Portal». Для погодженого управління доступом ролі користувачів можуть бути настроєні із правами на функції для розробки й виконання.

Підключення «Siemens TIA Portal» до функції UMC (User Management Component) дозволяє централізовано управляти користувачами й групами користувачів у проектах. Також можливе підключення до «Microsoft Active Directory».

Це формує основу для ефективного й послідовного адміністрування персоналізованих прав доступу на підприємстві, що, у свою чергу, значно

знижує ризики безпеки. Призначення ролей і прав для конкретної людини зводить до мінімуму технічне обслуговування при досягненні високого ступеня прозорості.

Функція «TIA Portal UMA» (керування користувачами й контроль доступу) забезпечує:

- керування користувачами локального проєкту;
- призначення ролей / прав для конкретного користувача для доступу до інженерних робочих процесів і служб часу виконання.
- центральне управління користувачами (UMC);
- централізоване управління користувачами й групами користувачів на підприємстві у випадку виконання ними кількох проєктів одночасно;
- імпорт користувачів і груп користувачів з «Microsoft Active Directory»;
- доступність завдяки дубльованій конструкції домену «UMC» і автономному кешуванню користувачів.

Функція «Безпечний моніторинг кінематичних рухів у просторі», або «TIA Portal Teamcenter Gateway», у «Siemens TIA Portal» забезпечує:

- підтримку безпечного з'єднання між «Siemens TIA Portal» і «Teamcenter» через «єдиний вхід» (SSO);
- аутентифікацію через індивідуальну смарт-картку (PK);
- зв'язок між «Teamcenter» і об'єктами «Siemens TIA Portal» (FB, FC, UDT).

«TIA Portal Teamcenter Gateway» інтегрує технологію автоматизації в систему «Teamcenter PLM». Він забезпечує міждисциплінарне й погоджене зберігання всіх машинних даних і дозволяє адмініструвати проєкти «Siemens TIA Portal» і глобальні бібліотеки в «Teamcenter». Операції «Teamcenter», такі як збереження, відкриття, перевірка й т.д., виконуються безпосередньо з «Siemens TIA Portal». Використовувані бібліотеки «TIA» автоматично зв'язуються із проєктами «TIA» в «Teamcenter». Переваги даної функції такі:

- менша кількість помилок на етапі проєктування завдяки

послідовному зберіганню даних між дисциплінами;

– зниження зусиль при пошуку правильної версії проєктів або бібліотек «TIA».

Функція «Програмування технологічних розширень у приводній системі SINAMICS», або «TIA Portal Openness and TIA Add-Ins» забезпечує можливість використання інтерфейсу «Openness API» відкритості для інтеграції «Siemens TIA Portal» у середовище додатка й для автоматизації робочих процесів проєктування. Використовуючи зовнішні середовища розробки, можна писати власні додатки, такі як генератор коду для екранів HMI і блоків ПЛК.

Функція «TIA Add-Ins» - це спеціальний відкритий додаток, який можна інтегрувати безпосередньо в користувальницький інтерфейс «Siemens TIA Portal» з урахуванням контексту. «TIA Add-Ins» спрощує повсякденну роботу, автоматизуючи більш дрібні повторювані кроки.

Відкритість «Siemens TIA Portal» складається із двох компонентів:

1. Інтерфейс імпорту/експорту різних програмних об'єктів на основі XML.

2. Програмний інтерфейс (API) для виконання інженерних задач в «Siemens TIA Portal» за допомогою спеціально розроблених мовних інструментів високого рівня (включаючи завантаження станції ПЛК, завантаження ПЛК, порівняння ПЛК, захист і зняття блокування захисту блоків, а також зчитування контрольних сум).

За допомогою «Openness API» також можна написати свої власні генератори проєктів, які автоматично генерують проєкти, набудовують устаткування й додають необхідні програмні об'єкти.

Функція «Прийняття й документування функцій безпеки в приводній системі SINAMICS», або «S7-PLC SIM Advanced», у «Siemens TIA Portal» забезпечує:

– розширення комунікаційних можливостей за рахунок включення OPC UA, https, OUC;



- спільне моделювання - синхронний зв'язок по шині;
- зв'язок TCP/IP с NrCap;
- підтримку процесорів SIMATIC S7-1518 T/TF, S7-1500 R/H, S7-150x TF, SIPLUS.

«PLC SIM Advanced» дозволяє виконувати комплексне моделювання функцій на етапах конфігурації й проектування за допомогою «STEP 7» в «TIA Portal» без необхідності використання устаткування SIMATIC S7-1500 або ET 200SP.

Функція «Програмування функцій безпеки», або «SIMATIC Open Development Kit (ODK 1500S)», підтримує розробку ОС «Windows» і бібліотечних функцій реального часу для програмного контролера «SIMATIC S7-1500» і забезпечує інтеграцію мов високого рівня, таких як C++.

«SIMATIC ODK 1500S» поєднує програмування ПЛК і програмування складною мовою високого рівня, такою як C++, найпростішим з можливих способів.

Функція «Використання модельних контролерів зі зворотним зв'язком», або «Target 1500S for Simulink» (Matlab і машинне моделювання в контролері).

Функція «Мобільне управління й моніторинг, що незалежне від пристрою», або «SIMATIC WinCC/WebUX», була розроблена для незалежного від пристроїв використання - на смартфонах, планшетах, ПК і інших мобільних пристроях, де встановлений браузер з підтримкою HTML 5. Для використання «WebUX» не потрібне установлення функції на боці клієнта.

Функція «Стандартизований зв'язок між машинами й рівнем управління», або «SIMATIC OPC UA S7-1200/S 7-1500», у «Siemens TIA Portal» забезпечує:

- розширення методів OPC UA для «SIMATIC S7-1200»;
- розширення методів OPC UA «Alarms & Conditions» для «SIMATIC S7-1500»;

- моделювання сервера OPC UA в «Siemens TIA Portal»;
- підтримка додаткових типів даних ПЛК;
- управління сертифікатами через OPC UA.

Незалежна від постачальника й платформи уніфікована архітектура OPC UA є стандартом зв'язку для «Індустрії 4.0», що робить її стандартним механізмом для вертикального зв'язку й горизонтального обміну даними між машинами (Machine-to-Machine, M2M).

OPC UA може використовуватися у всіх мережах Ethernet завдяки базовому зв'язку TCP/IP, а OPC UA й PROFINET повністю сумісні, що означає, що вони можуть працювати паралельно. Отже, польові пристрої, відмінні від ЦП, також можуть бути зв'язані (наприклад, з рівнями IT) за допомогою OPC UA.

Для реалізації даної функції можливі такі опції:

- сервер і клієнт OPC UA виконуються безпосередньо в ЦП «SIMATIC S7-1500»;
- сервер OPC UA виконується безпосередньо в ЦПУ «SIMATIC S7-1200»;
- доступ до даних OPC UA, читання/запис, передплата на зміну значення;
- супутні специфікації OPC UA, підтримувані редактором моделювання «Siemens OPC UA» («Siome»);
- відображення всіх включених екземплярів і типів з користувальницької програми;
- доступ до структур і масивів як до закінчених об'єктів;
- рівень безпеки згідно з сертифікатами SHA 256;
- експорт XML для автономного налаштування клієнтів OPC UA.

Функція «Аналіз стану й оцінка енергетичної ефективності машин», або «S7 Energy Efficiency Monitor», виконує аналіз енергетичних даних на основі умов в «Siemens TIA Portal».

Функція «Програмування функцій безпеки». Всі інструменти

конфігурації й програмування, необхідні для створення орієнтованої на безпеку програми, інтегровані в користувальницький інтерфейс «STEP 7» і використовують загальну структуру проєкту. Використовуючи опцію «SIMATIC STEP 7 Safety Basic» або «STEP 7 Safety Advanced» в «Siemens TIA Portal» можна також скористатися всіма перевагами «Siemens TIA Portal» для автоматизації, що стійка до відмов.

Функція «STEP7 Safety» - це безшовна інтеграція безпеки в «Siemens TIA Portal». Однак програми, орієнтовані на безпеку, як і раніше можуть бути створені з використанням «STEP 7» і розподіленої безпеки. Програми, створені за допомогою «STEP 7 Distributed Safety», можуть бути перенесені на «Siemens TIA Portal» у будь-який час.

Функція «Безпечний моніторинг кінематичних рухів у просторі». З технологічним об'єктом кінематики технологічні процесори «S7-1500» надають функцію «SIMATIC Safe Kinematics» для управління кінематикою, наприклад, для виконання таких задач, як вибір і розміщення, складання й укладання на піддони.

Функція «Довгострокове архівування виробничих даних», або «SIMATIC Process Historian», - це база даних у реальному часі для різних продуктів і версій, що служить центральним інтерфейсом даних для рівня управління компанією. Вона служить центральним довгостроковим архівом для будь-якої кількості даних процесу й повідомлень із різних джерел даних. Така повна прозорість компанії забезпечується «SIMATIC Information Server».

«SIMATIC Process Historian» вільно масштабується, тому збирає й архівує будь-який обсяг даних з різних систем, незалежно від версії. Оскільки «SIMATIC Process Historian» забезпечує масштабованість за рахунок безшовної інтеграції з «WinCC», включаючи резервні конфігурації, вона відповідає самим суворим вимогам безпеки при мінімальному адмініструванні.

Безпека даних важлива для архівування. «SIMATIC Process Historian»

пропонує ряд механізмів безпеки й, таким чином, забезпечує надійне архівування виробничих даних. Відмови звичайно запобігають за рахунок використання резервного сховища даних у сполученні з установкою систем RAID.

Також «SIMATIC Process Historian» надає інтерфейс сервера OPC UA для підключення до будь-яких систем IT або MES.

Функція «Веб-панелі для прозорих виробничих даних». Інформаційний сервер «SIMATIC Information Server» надає прозорий доступ до заводської інформації в будь-який час. Дані історії підприємства можна легко скопіювати у Веб-панелях або звітах без знання програмування. Це забезпечує повний доступ до інформації про підприємство для кожної цільової групи в компанії (менеджери, контроль якості, технічне обслуговування) у будь-який час.

Завдяки інтегрованій системі звітності, заснованій на службах звітів «Microsoft SQL Server», інформаційні панелі й звіти створюються й управляються в інтерактивному режимі й доступні в Інтернеті в будь-який час. Інтеграція в «Microsoft Word», «Excel» або «PowerPoint» також дозволяє одержати доступ до даних історії за допомогою знайомих інструментів із середовища «Office».

Функція «Центральне загальнозаводське управління користувачами», або «SIMATIC Logon», пропонує ряд механізмів безпеки як з боку адміністратора, так і з боку користувача.

Функція «Відстеження дій оператора відповідно до GMP», або «WinCC Audit», покриває основні вимоги до стеження за діями оператора відповідно до вимог GMP (належна виробнича практика) і FDA (управління по санітарному нагляду за якістю харчових продуктів і медикаментів) відповідно до «21CFR, частина 11».

Переваги даної функції такі:

- дії оператора постійно відслідковуються;
- відповідає вимогам GMP для фармацевтичної промисловості

(наприклад, управління по санітарному нагляду за якістю харчових продуктів і медикаментів);

- зниження витрат на проектування й перевірку;
- ідеально підходить для виробників устаткування, яким необхідно відповідати високим вимогам до якості (наприклад, при поставці машин і виробничих ділянок для додатків, що вимагають перевірки).

Функція «Програмування й введення промислових роботів у експлуатацію», або «SIMATIC Robot Integrator», у «Siemens TIA Portal» забезпечує:

- передачу наборів команд контролера промислового робота у «TIA Portal», використовуючи єдину концепцію бібліотеки роботів «SIMATIC»;
- незалежне від виробника й уніфіковане програмування промислових роботів;
- підтримку «SIMATIC S7-1200» і «S7-1500».

Функція «Прийняття й документування функцій безпеки в приводній системі «SINAMICS». «ENISO 13849-1» і «ENISO 13849-2» вимагають, щоб функції безпеки машини були прийняті й задокументовані. Тому функція «SINAMICS safety acceptance test» для приймальних випробувань, що інтегрована в «SINAMICS Star drive», крок за кроком проводить користувача через необхідні етапи за допомогою зручних графічних екранів в «TIA Portal». На закінчення надається документ, що супроводжує документацію на машину.

Приймальне випробування на безпеку є частиною пакета «Star drive Advanced».

Функція «Створення сучасних проектів НМІ і функціональна філософія управління» (рисунок 2.3). Шаблони в функції «НМІ Template Suite» надають інструменти, необхідні для створення власного рішення НМІ на основі концепції управління, розробленої в співробітництві з експертами по користувальницькому інтерфейсу. Результатом є бібліотека «Siemens TIA Portal», яка підтримує процес його налаштування із широким вибором

варіантів робочих екранів, діалогових вікон і повідомлень.

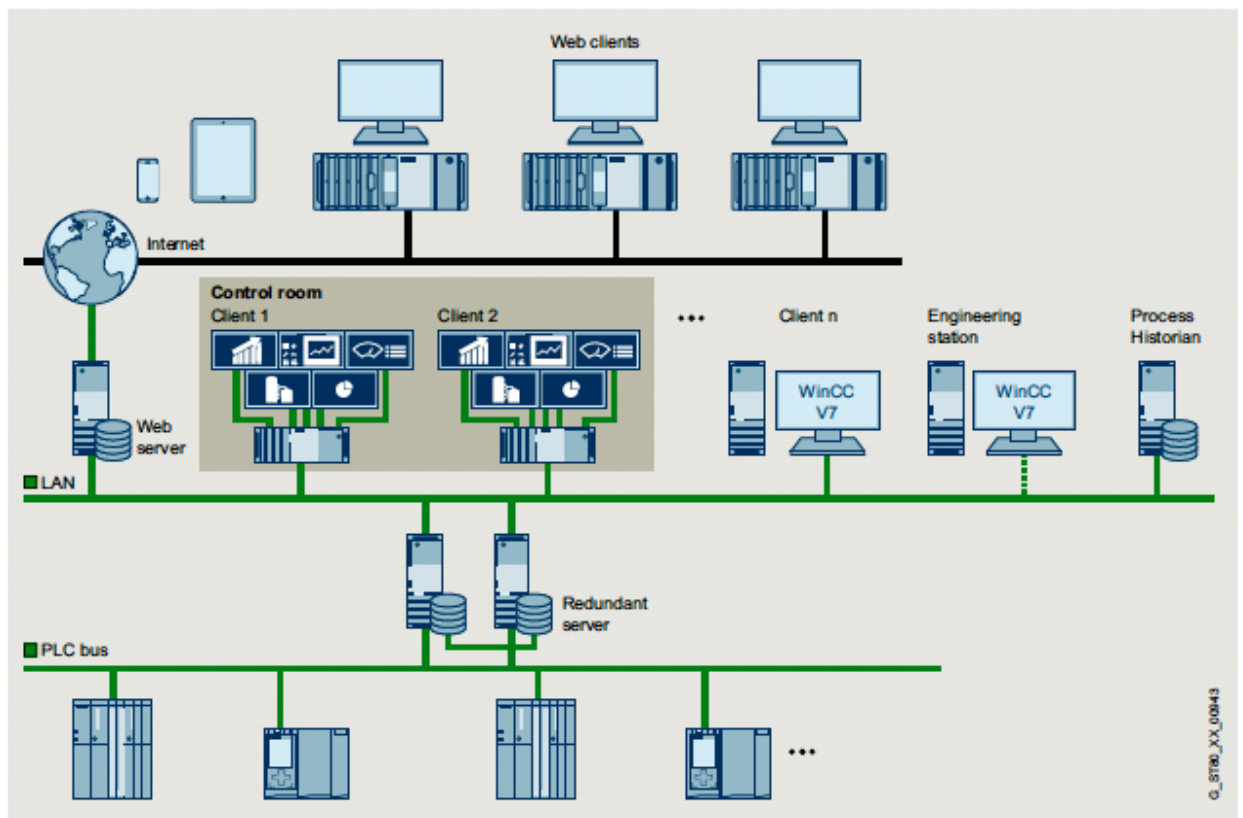


Рисунок 2.3 – Система НМІ для КІСУ виробництвом

Її сервер надає підключеним клієнтам дані процесу й архівні дані, повідомлення, зображення й журнали. Результати дії оператора на одній операторській станції (наприклад, зміна значення або підтвердження повідомлення) негайно доступні всім іншим операторським станціям.

Функція «Підвищена доступність системи SCADA завдяки дубльованій архітектурі», або «WinCC Redundancy», для резервування «WinCC» дає можливість працювати із двома взаємозалежними однокористувальницькими системами або серверами «WinCC» паралельно, щоб вони могли контролювати один одного.

Функція «Реєстрація значень процесів і аварійних сигналів». Реєстрація даних процесу й аварійних сигналів за допомогою функції «WinCC Logging» підтримує збір і обробку даних процесу із промислового

підприємства або машини. Потім оцінка зареєстрованих даних процесу надає інформацію про робочий стан під час промислового процесу (виробництво, обробка, процедура й т.д.).

Функція «Створення, використання й передача рецептів». Рецепти - це сукупності зв'язаних один з одним даних, таких як задані параметри машини або виробничі дані. Рецепт має фіксовану структуру даних, що визначається під час його настроювання. Рецепт містить записи даних, які розрізняються за своїми значеннями, але не за структурою (рисунок 2.4).

Функція «SIMATIC WinCC Recipes» надає в цьому плані такі переваги:

- проста передача рецептів у контролер СА машини чи апарату;
- чітке табличне відображення елементів даних;
- відображення в технологічному контексті декількох зображень процесу;
- експорт і імпорт записів даних для подальшої обробки за допомогою інших інструментів (наприклад, «MS Excel»).

Пр.	Компонент	Уст. [кг]	Факт. [кг]	Посл.	Компонент
1	Масло_под	0.00	0.00	3	Дрожжи сух.
2	Масло_горч	0.00	0.00	4	Экстракт "Мальт"
3	Сахар	8.43	0.00	1	Изюм
4	Соль	4.68	0.00	2	Солод
5	Вода	10.52	0.00	5	
6	Мука (в/с)	18.78	0.00	6	
7	Мука (1 сорт)	0.00	0.00	0	
8	Мука (рж. обдир.)	7.50	7.50	0	
9	Мука (кл. смесь)	0.00	0.00	0	

Рисунок 2.4 – Структура даних електронного рецепту

З панелями «SIMATIC» і «WinCC Runtime Advanced» рецепти зберігаються на операторському пристрої або на зовнішньому носії. В

«WinCC Runtime Professional» вони зберігаються в базі даних SQL. Записи даних для рецептів можуть бути створені вже на етапі проєктування. Це означає, що вони доступні відразу після передачі конфігурації під час виконання. Об'єкти екрана, що настроюються, використовуються для відображення й управління даними під час виконання.

Рецепти можна використовувати в наступних ситуаціях:

– ручне виробництво: необхідні дані рецепта вибираються й відображаються на пристрої HMI; при необхідності дані можуть бути змінені й збережені на панелі оператора, потім дані рецепта передаються в контролер;

– автоматичне виробництво: програма управління ініціює передачу даних рецепта між контролером і оператором; цю передачу можна також запустити з пульта оператора; після передачі даних рецепту виробництво адаптується до них

автоматично; дані рецепту не обов'язково відображати або змінювати;

– режим навчання: виробничі дані, такі як положення осей або об'єм заповнення, оптимізуються вручну на заводі; ідентифіковані значення передаються на операторський блок і зберігаються в наборі даних рецепту; збережені дані рецепту потім можуть бути знову передані до контролера.

Функція «Віддалене управління оператором і моніторинг «SIMATIC HMI», або «WinCC Smart Server», дозволяє оператору віддалено управляти й контролювати системи «SIMATIC HMI» через Industrial Ethernet або через Інтранет/Інтернет. Операторам доступні прості механізми зв'язку клієнт/сервер.

Завдяки концепції «Smart Client» станція може зробити свої екрани доступними для іншої станції. Крім того, можна настоїти повноцінну координовану консоль оператора, при якій тільки одна станція має право працювати в будь-який момент часу.

Функція «Паралельне управління й моніторинг оператора через Інтернет», або «SIMATIC WinCC Web Navigator», дозволяє постійно



контролювати підприємство через Інтернет або Інтранет компанії без необхідності змінювати проєкт «WinCC». На додаток до типового використання в WAN (глобальні мережі) можуть бути реалізованими і недорогі додатки, наприклад, в областях із сильно децентралізованою структурою (водопостачання / водовідведення) або в областях зі спорадичним доступом до інформації про процес (управління будинками). Веб-клієнти також можуть використовуватися як звичайні операторські станції в локальній мережі.

«Web Navigator» можна використовувати для реалізації Веб-рішень. Використовуючи браузер, проєктом «WinCC» можна управляти й відслідковувати його з будь-яких комп'ютерів «Windows», відомих як клієнти «Web Navigator», через Інтранет або Інтернет. Доступ до декількох Веб-серверів і підприємств можна одержати одночасно за допомогою декількох вкладок. Всі операторські Веб-сторінки інтегровані в систему управління користувачами заводу/підприємства. «Web Navigator» підтримує все зазвичай використовувані механізми ІТ - безпеки, такі як маршрутизатори, брандмауери, проксі-сервери шифрування SSL і технології VPN, а також вихід із системи після закінчення хаданого користувачем періоду часу й відключення комбінацій клавіш.

Клієнт «Web Diagnostics» був розроблений для обслуговування широко розповсюджених підприємств. Він надає обслуговуючому персоналу безпечний доступ до будь-якої кількості підприємств, на яких є сервери «Web Navigator».

Функція «2-направлений потік інформації між виробництвом і світом ІТ», або «WinCC Industrial Data Bridge», використовує стандартні інтерфейси для підключення рівня автоматизації (контролерів) до світу ІТ і забезпечення 2-направленого потоку інформації. Системи від різних виробників можуть бути інтегровані з використанням безлічі стандартних інтерфейсів (наприклад, OPC, OLE-DB, SQL). Простий процес налаштування (без програмування) заощаджує час і запобігає помилки. Інтеграція в систему

«WinCC» і її систему управління користувачами, а також альтернативне використання як системна служба гарантує безпечну передачу. Переваги даної функції такі:

- підключення «WinCC» до баз даних і до ІТ-систем;
- підтримка стандартних інтерфейсів (таких як формати OPC, SQL, ODBC, OLE-DB, «Office»);
- високопродуктивний 2-направлений обмін даними між різними системами;
- відображення інформації на HTML-сторінках.

Функція «WinCC Industrial Data Bridge» обмінюється даними між системами автоматизації від різних виробників у таких рішеннях:

- центральний інформаційний вузол для паралельного доступу до однієї або декількох систем «WinCC»;
- обмін даними із системами MES / ERP (наприклад, SAP і DOS);
- читання / запис даних «WinCC» з /у формати «Office», такі як «MSExcel» або «MSAccess»;
- читання / запис даних «WinCC» з / у бази даних;
- використовуючи базу даних як джерело даних, центральні рецепти можуть, наприклад, передаватися безпосередньо в «WinCC», «WinCC User Archive» або у контролер;
- циклічне архівування даних у базі даних SQL може бути реалізоване через OPC Data Access, Win ACODK або джерела даних відправлення / одержання;
- звіти на основі подій, такі як автоматичні звіти про зміни у файлах CSV по закінченні змін (відповідні повідомлення й значення процесу за зміну); ім'я файлу можна гнучко привласнити в міру необхідності.

Розробимо тепер архітектуру нового навчального засобу на основі вибраних вище систем автоматизації, розробленої концепції його побудови та описаного вище функціоналу «Siemens TIA Portal».

Для виконання усіх видів інженерної діяльності, які необхідно буде

обов'язково здійснювати протягом вказаних навчальних життєвих циклів промислової СА, в навчальному засобі мають обов'язково використовуватися відповідні функції та їх опції інженерне середовище «Siemens TIA Portal».

Крім того, як було зазначено у розділі 1, окремий життєвий цикл сутності/екземпляру промислової СА буде досліджуватися студентами з залученням як реальних зразків технічних засобів автоматизації (датчиків, виконавчих пристроїв, контролерів та комп'ютерів), так і різних моделей технологічних/технічних процесів, які змонтовані в лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка» кафедри АІТ та утворюють разом «віртуальне» виробництво хімічної продукції.

Розробимо тепер архітектурні рішення інструментального середовища НЗ.

## 2.2 Архітектура НЗ для дослідження ЖЦ типу промислової СА ІЗ.0

З урахуванням зазначених вище чинників, була розроблена загальна архітектура нового НЗ для дослідження першого життєвого циклу – життєвого циклу типу промислової СА ІЗ.0 (рисунок 2.5 і в додатку Б).

Архітектура розбита на горизонтальні шари та вертикальні стовпці. У правому стовпці вказуються назви відповідних шарів.

Така архітектурна модель організована так само, як референтна архітектурна модель «Індустрія 4.0», що описана вище (див. рисунок 1.1).

В нижньому шарі моделі на рисунку 17 вказаний той життєвий цикл, який досліджується на навчальному засобі, а також вказані його основні стадії – «Development» (розробка, проєктування) та «Maintenance/Usage» (обслуговування, настройка, використання).

Вище розміщений шар «Asset» (Активи), де вказуються ті фізичні активи та цифрові дані, на основі яких реалізується основне програмне

забезпечення нового навчального засобу для даного дослідження:

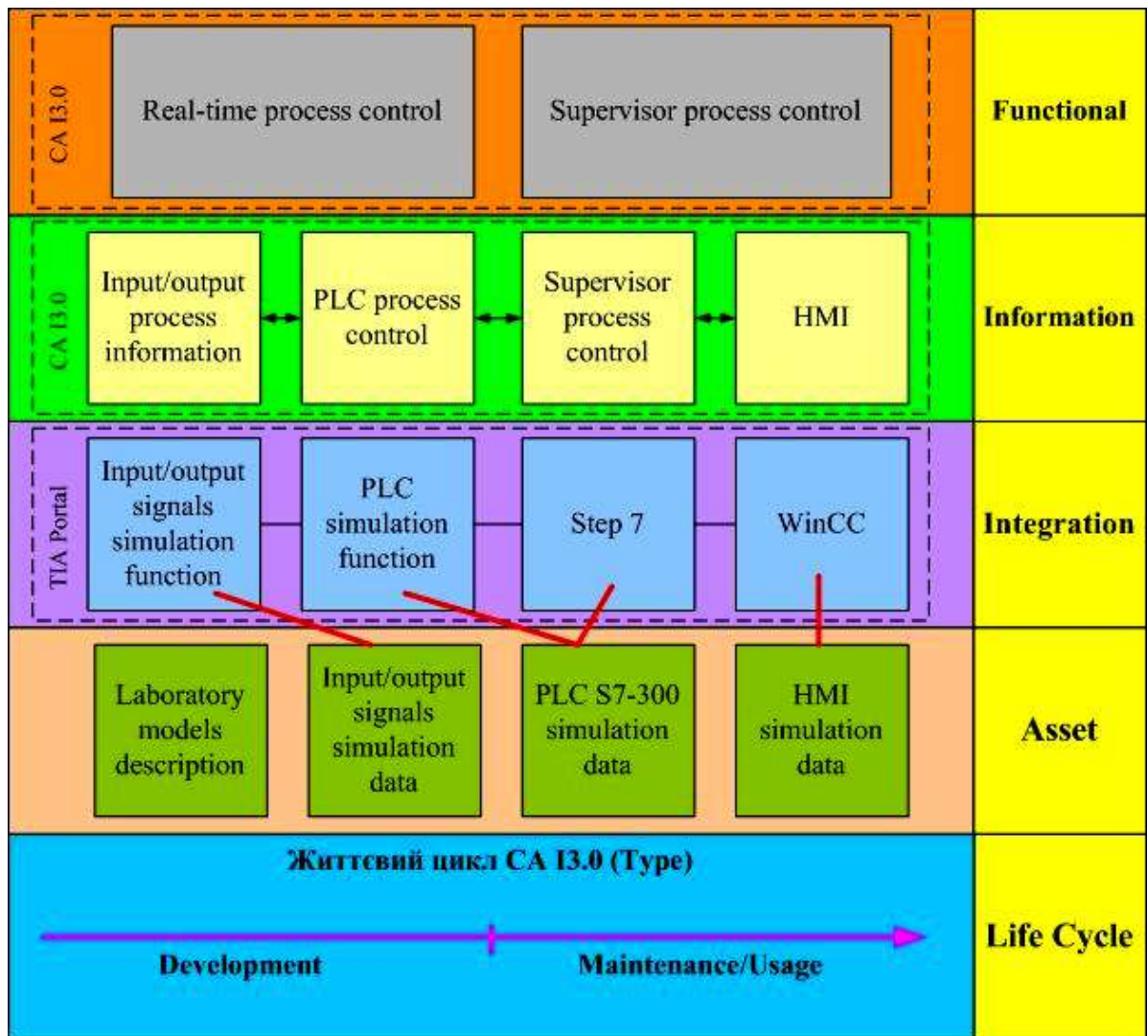


Рисунок 2.5 – Загальна архітектура навчального засобу для дослідження життєвого циклу типу промислової СА концепції I3.0

– «Laboratory models description» (електронний документ з детальним описом усіх лабораторних моделей технологічних/технічних процесів «віртуального» виробництва хімічної продукції);

– «Input/output signals simulation data» (дані, які описують результати цифрового моделювання ідеальних вхідних та вихідних сигналів лабораторних моделей технологічних/технічних процесів «віртуального» виробництва хімічної продукції);

- «PLC S7-300 simulation data» (дані, що описують результати цифрового імітаційного моделювання промислових контролерів серії «S7-300», які змонтовані на «віртуальному» виробництві хімічної продукції);

- «HMI simulation data» (дані, що описують результати цифрового імітаційного моделювання людино-машинних інтерфейсів операторів технологічних/технічних процесів «віртуального» виробництва хімічної продукції).

Вище розміщений шар «Integration» (Інтеграція), де вказуються використовувані в ході проведення дослідження інтеграційні зв'язки між такими програмними інструментами інженерного середовища «Siemens TIA Portal»:

- «Input/output signals simulation function» (інструмент цифрового моделювання ідеальних вхідних/вихідних сигналів лабораторних моделей технологічних/технічних процесів «віртуального» виробництва хімічної продукції);

- «PLC simulation function» (інструмент цифрового імітаційного моделювання промислових контролерів серії «S7-300», які змонтовані на «віртуальному» виробництві хімічної продукції);

- «Step 7» (інструмент проектування прикладних програм контролерів серії «S7-300», які змонтовані на «віртуальному» виробництві хімічної продукції);

- «WinCC» (інструмент проектування прикладних програм операторських робочих станцій класу SCADA/HMI, які змонтовані на «віртуальному» виробництві хімічної продукції)..

Вище розміщений шар «Information» (Інформація), де вказуються основні інформаційні потоки по передачі цифрових даних між такими підфункціями даного типу промислової СА:

- «Input/output process information» (підфункція генерування інформації про ідеальні входи та виходи (сигнали) технологічних/технічних процесів «віртуального» виробництва хімічної продукції);

– «PLC process control» (підфункція промислового контролера з управління у режимі жорсткого реального часу технологічними/технічними процесами «віртуального» виробництва хімічної продукції);

– «Supervisor process control» (підфункція операторської робочої станції з управління у режимі м'якого реального часу технологічними/технічними процесами «віртуального» виробництва хімічної продукції);

– «HMI» (підфункція людино-машинного інтерфейсу операторської робочої станції).

Вище розміщений шар «Functional» (Функціональний), де вказуються основні функції даного типу промислової СА, життєвий цикл якої досліджується на навчальному засобі:

– «Real-time process control» (функція автоматичного контролерного управління у режимі реального часу технологічними/технічними процесами «віртуального» виробництва хімічної продукції);

– «Supervisor process control» (функція автоматизованого операторського

управління технологічними/технічними процесами «віртуального» виробництва хімічної продукції).

### 2.3 Архітектура НЗ для дослідження ЖЦ екземпляру промислової СА ІЗ.0

Також була розроблена загальна архітектура нового навчального засобу для дослідження другого життєвого циклу – життєвого циклу сутності/екземпляру промислової СА, створеної за концепцією ІЗ.0 (рисунок 2.6 і додаток Б).

Архітектура також розбита на горизонтальні шари та вертикальні стовпці. У правому стовпці також вказуються назви відповідних шарів.

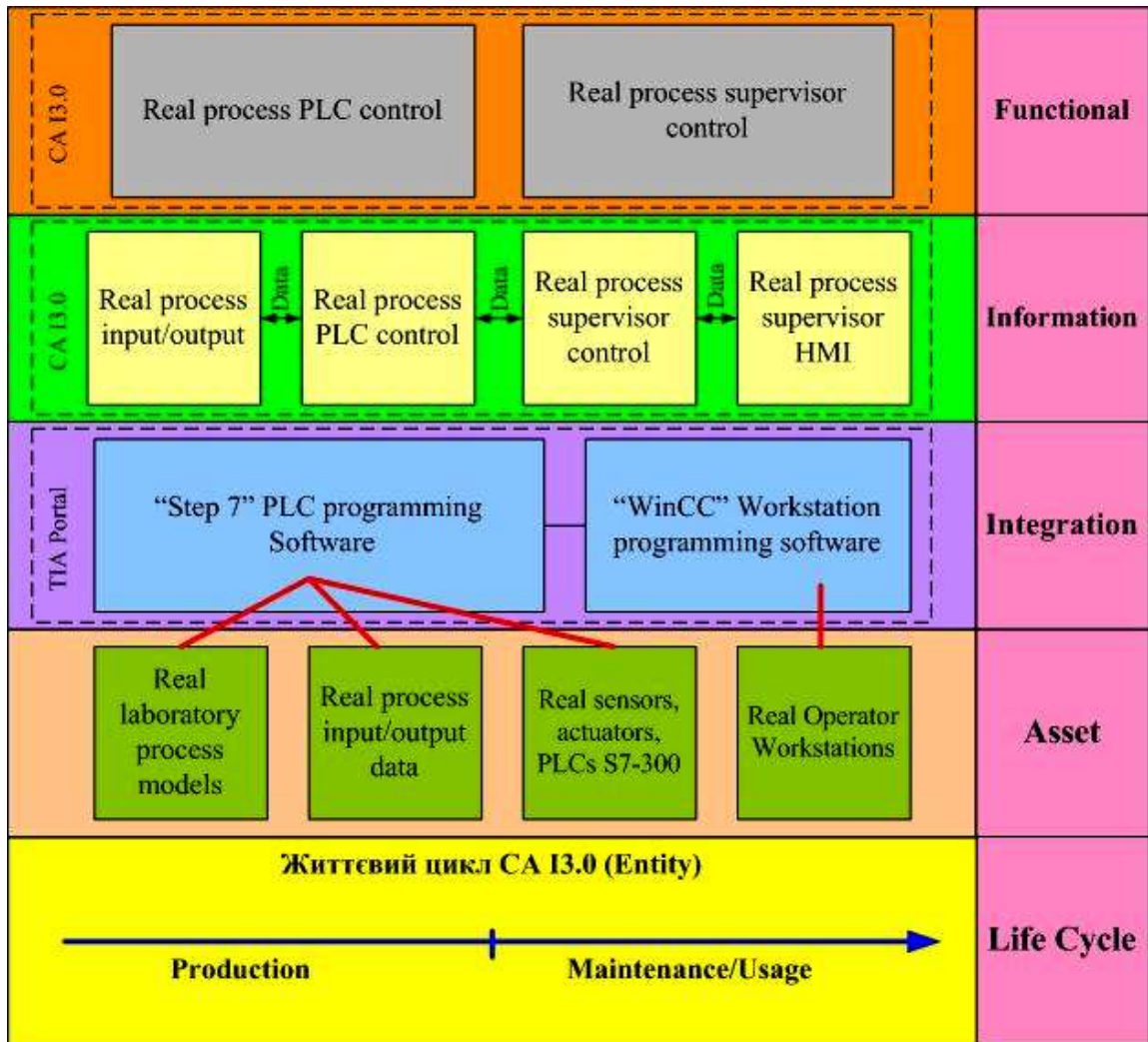


Рисунок 2.6 – Загальна архітектура навчального засобу для дослідження життєвого циклу екземпляру промислової СА концепції I3.0

В нижньому шарі моделі на рисунку 18 також вказаний той життєвий цикл, який досліджується на навчальному засобі, а також вказані його основні стадії – «Production» (виготовлення, монтаж) та «Maintenance/Usage» (обслуговування, настройка, використання).

Вище розміщений шар «Asset» (Активи), де вказуються ті фізичні активи та цифрові дані, на основі яких реалізується основне програмне забезпечення нового навчального засобу для даного дослідження:

– «Real laboratory process models» (реальні лабораторні моделі технологічних/технічних процесів «віртуального» виробництва хімічної

продукції, які змонтовані в лабораторії);

– «Real process input/output data» (дані реальних вхідних та вихідних сигналів лабораторних моделей технологічних/технічних процесів «віртуального» виробництва хімічної продукції);

– «Real sensors, actuators, PLCs S7-300» (реальні зразки промислових датчиків, виконавчих пристроїв та контролерів серії «S7-300», які змонтовані в лабораторії для КІСУ «віртуальним» виробництвом хімічної продукції);

– «Real Operator Workstations» (реальні робочі станції операторів технологічних/технічних процесів «віртуального» виробництва хімічної продукції).

Вище над цим шаром розміщений шар «Integration» (Інтеграція), де вказуються використовувані в ході проведення дослідження інтеграційні зв'язки між такими програмними інструментами інженерного середовища «Siemens TIA Portal»:

– «“Step 7” PLC programming Software» (інструмент проєктування прикладних програм контролерів серії «S7-300», які змонтовані на «віртуальному» виробництві хімічної продукції);

– «“WinCC” Workstation programming software» (інструмент проєктування прикладних програм операторських робочих станцій класу SCADA/HMI, які

змонтовані на «віртуальному» виробництві хімічної продукції).

Вище над цим шаром розміщений шар «Information» (Інформація), де вказуються основні інформаційні потоки по передачі цифрових даних між такими підфункціями даного екземпляру промислової СА:

– «Real process input/output» (підфункція формування інформації про реальні входи та виходи (сигнали) технологічних/технічних процесів «віртуального» виробництва хімічної продукції);

– «Real process PLC control» (підфункція промислового контролера з управління у режимі жорсткого реального часу реальними моделями



технологічних/технічних процесів «віртуального» виробництва хімічної продукції);

– «Real process supervisor control» (підфункція операторської робочої станції з управління у режимі м'якого реального часу реальними моделями технологічних/технічних процесів «віртуального» виробництва хімічної продукції);

– «Real process supervisor HMI» (підфункція людино-машинного інтерфейсу операторської робочої станції для управління у режимі м'якого реального часу реальними моделями технологічних/технічних процесів «віртуального» виробництва хімічної продукції).

Вище над цим шаром розміщений шар «Functional» (Функціональний), де вказуються основні функції даного екземпляру промислової СА, життєвий цикл якої досліджується на навчальному засобі:

– «Real process PLC control» (функція автоматичного контролерного управління у режимі реального часу реальними моделями технологічних/технічних процесів «віртуального» виробництва хімічної продукції);

– «Real process supervisor control» (функція автоматизованого операторського управління реальними моделями технологічних/технічних процесів «віртуального» виробництва хімічної продукції).

Перейдемо тепер до опису третього архітектурного рішення.

## 2.4 Архітектура НЗ для дослідження ЖЦ типу промислової СА I4.0

Розроблена загальна архітектура нового навчального засобу для дослідження третього життєвого циклу – життєвого циклу типу промислової СА, створеної за концепцією I4.0, показана на рисунку 2.7 і в додатку Б.

Ця архітектура теж розбита на горизонтальні шари та вертикальні стовпці. У правому стовпці також вказуються назви відповідних шарів.

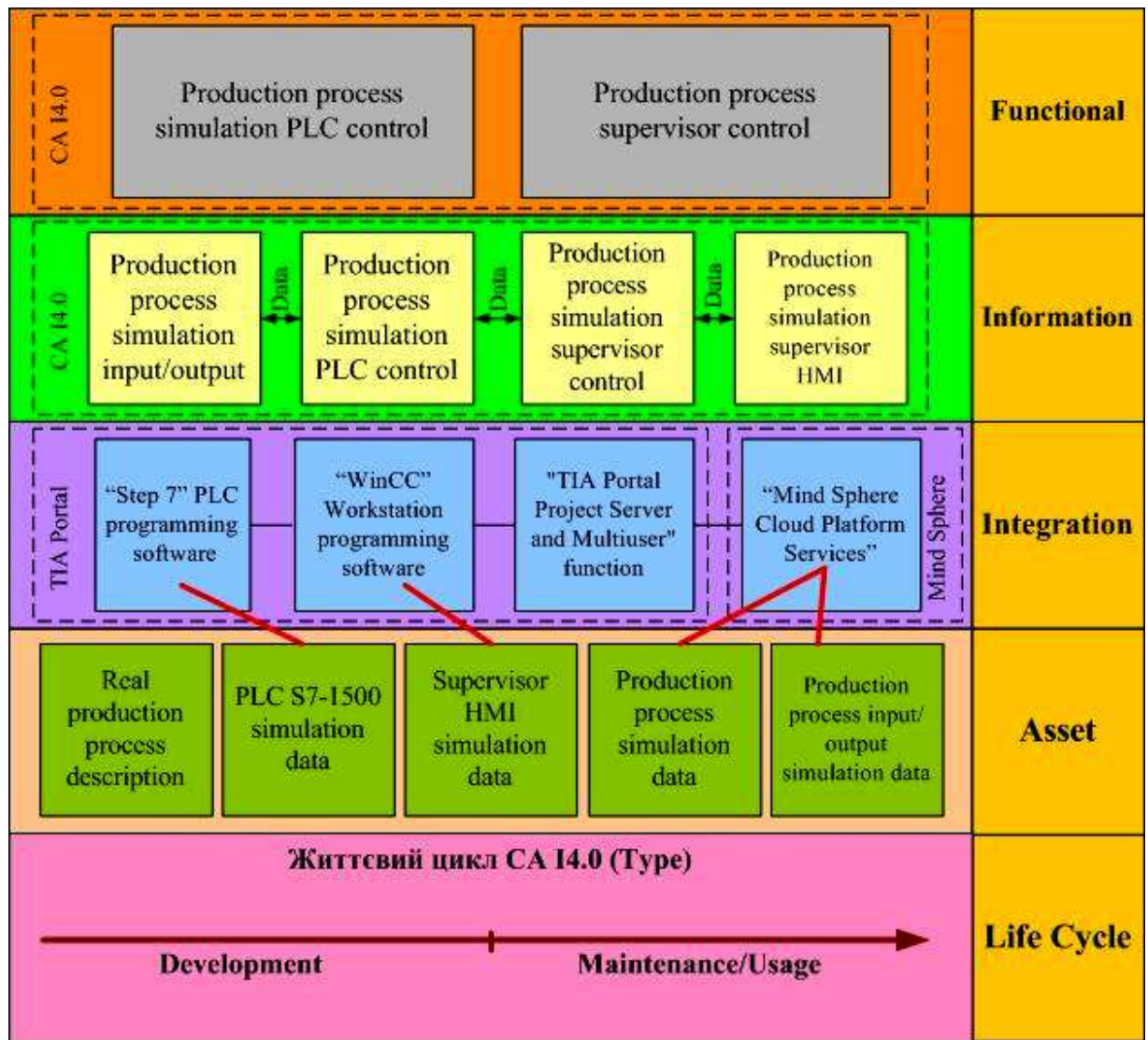


Рисунок 2.7 – Загальна архітектура навчального засобу для дослідження життєвого циклу типу промислової СА концепції I4.0

В нижньому шарі моделі на рисунку 19 теж вказаний той життєвий цикл, який досліджується на навчальному засобі, а також вказані його основні стадії – «Development» (проектування, розробка) та «Maintenance/Usage» (обслуговування, настройка, використання).

Вище розміщений шар «Asset» (Активи), де вказуються ті фізичні активи та цифрові дані, на основі яких реалізується основне програмне забезпечення нового навчального засобу для даного дослідження:

- «Real production process description» (електронний документ з

детальним описом реального виробничого процесу хімічного підприємства);

– «PLC S7-1500 simulation data» (дані, що описують результати цифрового імітаційного моделювання перспективних промислових контролерів серії «S7-1500», які доцільно застосувати на реальному виробництві хімічної продукції);

– «Supervisor HMI simulation data» (дані, що описують результати цифрового імітаційного моделювання людино-машинних інтерфейсів операторів технологічних/технічних процесів реального виробництва хімічної продукції);

– «Production process simulation data» (дані, які описують результати цифрового моделювання реального виробничого процесу, наприклад, конвеєрних ліній, технологічних апаратів, промислових роботів і т.д.);

– «Production process input/output simulation data» ((дані, які описують результати цифрового моделювання вхідних та вихідних сигналів реального виробничого процесу, наприклад, конвеєрних ліній, технологічних апаратів, промислових роботів і т.д.).

Вище над цим шаром розміщений шар «Integration» (Інтеграція), де вказуються використовувані в ході проведення дослідження інтеграційні зв'язки між такими програмними інструментами інженерного середовища «Siemens TIA Portal» та сервісами хмарної платформи «Siemens Mind Sphere» (платформа промислового Інтернету речей):

– «“Step 7” PLC programming software» (інструмент проєктування прикладних програм перспективних промислових контролерів серії «S7-1500», які доцільно застосувати на реальному виробництві хімічної продукції);

– «“WinCC” Workstation programming software» (інструмент проєктування прикладних програм операторських робочих станцій класу SCADA/HMI для реального виробництва хімічної продукції);

– «"TIA Portal Project Server and Multiuser" function» (функція інженерного середовища «Siemens TIA Portal» для виконання проєктних

робіт з застосуванням сервісів хмарної платформи «Siemens Mind Sphere»);

– «“Mind Sphere Cloud Platform Services”» (інженерні сервіси хмарної платформи «Siemens Mind Sphere» для цифрового моделювання виробничих процесів, технологічного устаткування та промислових робіт).

Вище над цим шаром розміщений шар «Information» (Інформація), де вказуються основні інформаційні потоки по передачі цифрових даних між такими підфункціями даного типу промислової СА:

– «Production process simulation input/output» (підфункція цифрового моделювання вхідних та вихідних даних моделі реального виробничого процесу хімічного підприємства);

– «Production process simulation PLC control» (підфункція промислового контролера з управління у режимі жорсткого реального часу моделлю реального виробничого процесу хімічного підприємства);

– «Production process simulation supervisor control» (підфункція операторської робочої станції з управління у режимі м'якого реального часу моделлю реального виробничого процесу хімічного підприємства);

– «Production process simulation supervisor HMI» (підфункція людино-машинного інтерфейсу операторської робочої станції при управлінні у режимі м'якого реального часу моделлю реального виробничого процесу хімічного підприємства).

Вище над цим шаром розміщений шар «Functional» (Функціональний), де вказуються основні функції даного типу промислової СА, життєвий цикл якої досліджується на навчальному засобі:

– «Production process simulation PLC control» (функція автоматичного контролерного управління у режимі реального часу моделлю реального

виробничого процесу хімічного підприємства);

– «Production process supervisor control» (функція автоматизованого операторського управління у режимі м'якого реального часу моделлю реального виробничого процесу хімічного підприємства).

## 2.5 Архітектура організаційно-комунікаційного середовища НЗ

Як було запропоновано вище, організаційно-комунікаційне середовище нового НЗ, що призначене для дистанційної взаємодії студента та викладача-куратора практикуму, будується на основі функціоналу (сервісів) системи автоматизованого управління даними освітнього процесу та документообігу «JetIQ» ВНТУ. Тому для розробки оптимальної архітектури цього середовища спочатку дослідимо існуючий функціонал (сервіси) системи «JetIQ» [18].

Редактор електронних книг "Lectures&Exercises JetIQ VNTU" (скор. "Jet-book") призначений для створення електронних книг за допомогою WEB-браузера та без використання спеціалізованих програм. Створені за допомогою "Jet-book" електронні книги мають зміст з посиланнями на сторінки, глосарій, систему навігації, автопублікації в системі «JetIQ» і експорт файлів для запису на диск. Математика створення електронної книги прихована "під капот" простого інтерфейсу вказаного редактора. Тому багато функцій при створенні електронної книги виконуються автоматично і непомітно для викладача.

«Персональний репозиторій викладача» призначений:

- для зберігання файлів наукових, методичних матеріалів та документів і їх метаданих (описів, категорій);
- для зберігання додаткових файлів до певного матеріалу;
- для публікації наукових і методичних праць в репозиторіях університету;
- для автоматичного ретроекспорту нових наукових праць з репозиторію університету;
- для автоматичного формування списків наукових праць і відображення їх у портфоліо викладача(співробітника) на персональній сторінці і персональному сайті, а також на Jet-сайті кафедри.
- виступає як одне із джерел матеріалів для навігаторів навчальних

ресурсів (ННР);

– для класифікації і пошуку власних наукових і навчальних матеріалів за категоріями.

«Файловий архів викладача» (модуль «Мультимедіа і файли» у персональному кабінеті викладача) має таке призначення і функції:

- для зберігання файлів будь-якого призначення;
- дозволяє створювати каталоги (теки);
- дозволяє створювати документи у форматі HTML;
- має свій WIZIWIG редактор HTML-документів;
- виступає як одне із джерел матеріалів для навігаторів навчальних ресурсів (ННР);

Рекомендується для збереження або будь-яких не документальних файлів (наприклад схем, зображень, архівів, програм, баз даних тощо), або документів тимчасового характеру чи зі змістом, який треба регулярно змінювати. Доступ до файлового архіву (ФА) має тільки його володар, тобто викладач. Володар ФА може використовувати файли в ННР («Навігатор навчального ресурсу»). В такому випадку, ними зможуть користуватись лише авторизовані користувачі системи, наприклад студенти.

Сервіс «Файл-Експрес» для викладачів. В модулі «Мультимедіа і файли» персонального кабінету викладача існує блок "файли від студентів", куди надходять файли, що надіслані студентами. Даний блок призначений не для листування (для цього є повідомлення), а для перевірки письмових робіт студентів. Саме сюди студенти можуть надсилати свої звіти з лабораторних і практичних робіт, есе і т.п.

Модуль «Комунікації» в персональних кабінетах викладачів та студентів містить декілька вбудованих сервісів, що показані на рисунку 2.8. Для викладачів використовується корпоративна пошта Gmail у домені *vntu.edu.ua*. Пошта студентів працює на базі сервісу Outlook у складі пакету Office 365.

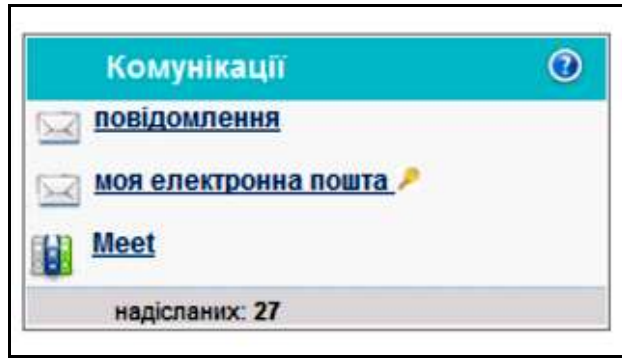


Рисунок 2.8 – Сервіси модуля «Комунікації»

Сервіс «Повідомлення» призначений для обміну короткими текстовими повідомленнями між студентами та викладачами.

Сервіс «Meet» є штатним сервісом Google і призначений для організації і проведення он-лайн відео-зустрічей, наприклад дистанційних лекцій, консультацій, захисту курсових, бакалаврських чи магістерських робіт, іспитів, заліків тощо.

Для авторизованих користувачів системи «JetIQ», тобто для викладачів та студентів, доступні також інші сервіси Google, наприклад «Google Drive» («Google Диск») та «Google Docs» («Google Документи»).

Сервіс "Google Документи" дозволяє завантажувати й закачувати різні файли. Так, при імпорті документів можна відкривати й редагувати файли DOC, DOCX, ODT, TXT, RTF і HTML. При експорті можна зберігати документи у форматі DOCX, EPUB, RTF, TXT, PDF або ODT, а також у вигляді веб-сторінки (HTML у форматі ZIP).

Створені "Google Документи" можна зберігати на хмарному сервері через сервіс «Google Диск». До збережених файлів і папок можна надавати доступ для конкретних авторизованих користувачів системи «JetIQ» (наприклад викладач може надати той чи інший вид доступу до окремого файлу чи папки для конкретного студента). Тобто над файлами й папками, які зберігаються на «Google Диску», можна працювати разом з іншими авторизованими користувачами. Відкриваючи доступ до файлів на «Google

Диску», викладач може вирішувати, що з ними можна робити іншим конкретним користувачам: редагувати, коментувати або тільки переглядати. На спільний доступ до матеріалів на «Google Диску» поширюються встановлені у системі «Правила програми».

Тепер на основі описаних вище виявлених функцій (сервісів) системи «JetIQ» ВНТУ спроектуємо на їх основі архітектуру організаційно-комунікаційного середовища нового НЗ, яке дозволить в ході виконання студентом відповідного дослідження ЖЦ СА, з одного боку, здійснювати ефективну інформаційну взаємодію між студентом та викладачем – куратором практикуму, з іншого боку, організовувати викладачу індивідуальне проходження практикуму кожним студентом.

На рисунку 2.9 та в додатку Б наведений результат цього архітектурного проектування. Індивідуальні завдання для дослідження того чи іншого життєвого циклу викладач (куратор практикуму) розробляє за допомогою сервісу «Jet-book"» системи «JetIQ» і зберігає їх у формі електронної книги у форматі HTML. Кожне індивідуальне завдання складається з кількох HTML – файлів, кожен з яких містить завдання для окремого етапу дослідження. Такий формат індивідуальних завдань дозволяє, по-перше, легко переглядати їх студентом, користуючись звичайним Інтернет – браузером, по-друге, дозволяє викладачу (куратору практикуму) розробляти ці завдання поетапно (не треба зразу мати комплект повних завдань для всіх студентів академічної групи) та поступово видавати ці завдання студенту по мірі того, як він виконує попередні етапи (враховується фактор часу та повнота виконання завдань).

Після того, як викладач розробить навіть неповний комплект індивідуальних завдань (кожне з яких може стосуватися тільки першого етапу дослідження), він може вже опубліковувати їх, тобто видавати кожному студенту групи. Для цього викладач (куратор практикуму) використовує сервіс «Google Drive», за допомогою якого на своєму віртуальному диску створює потрібну кількість особових папок студентів



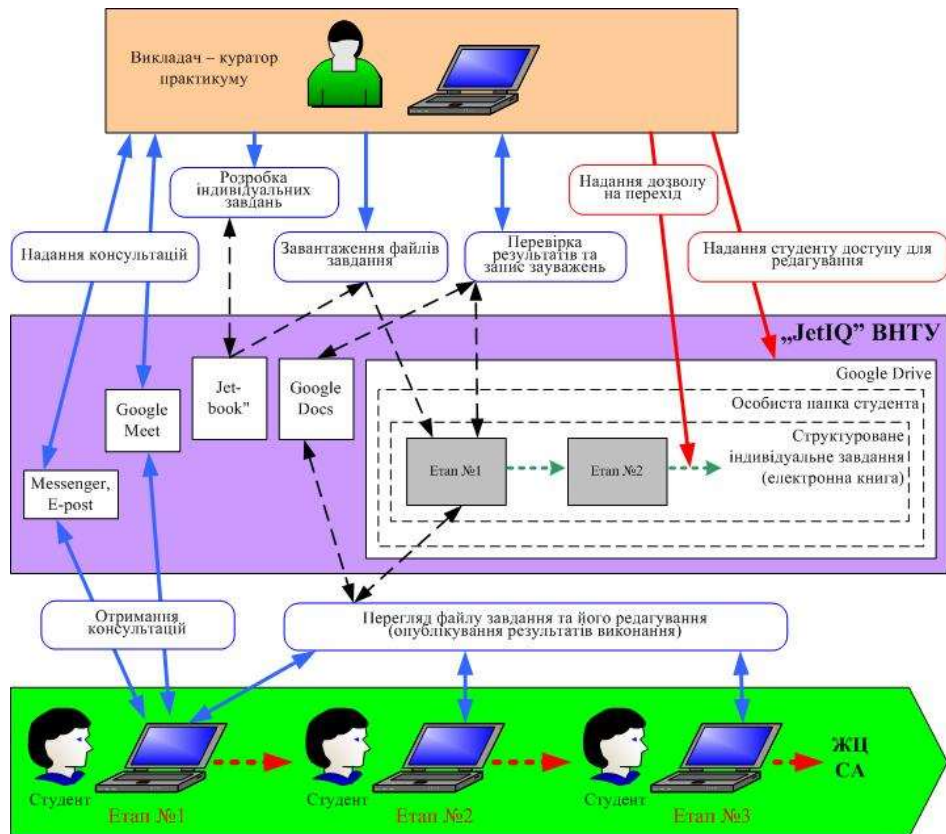


Рисунок 2.9 – Архітектура організаційно-комунікаційного середовища нового НЗ

(назви папок можуть включати або прізвища студентів, або використовувати якійсь інші ідентифікатори). Після цього викладач (куратор практикуму) зберігає у кожній з цих папок файл відповідного індивідуального завдання для етапу №1 та надає кожному студенту відповідний доступ до файлів його особової папки. Цей доступ повинен дозволяти не тільки переглядати ці файли, але і редагувати їх.

Студент, у свою чергу, отримавши від викладача дозвіл на роботу з відповідною папкою на «Google Drive» (для сповіщення студента про це можуть використовуватися такі сервіси як «Messenger, E-post» системи «JetIQ») переглядає видане йому індивідуальне завдання через Інтернет – браузер свого домашнього ПК чи телефону, виконує це завдання, а після отримання потрібних результатів опубліковує їх у тому ж самому файлі, що зберігається в його особовій папці на «Google Drive». Для редагування такого

файлу завдання студент може використати сервіс «Google Docs», доступний в режимі он-лайн для авторизованих користувачів системи «JetIQ». Після такого редагування файлу індивідуального завдання студент зберігає зроблені зміни у файлі і очікує на реакцію від викладача (куратора практикуму). Щоб сповістити викладача (куратора практикуму) про виконане індивідуальне завдання, студент може скористатися відповідними сервісами «Messenger, E-post».

Викладач (куратор практикуму) для перевірки виконаного студентом індивідуального завдання може також використати звичайний Інтернет – браузер. Якщо ж у нього будуть зауваження до результатів студента, або виникнуть додаткові завдання, то викладач (куратор практикуму) може також за допомогою сервісу «Google Docs» вписати їх у файл індивідуального завдання з надісланими результатами студента, що знаходиться на «Google Drive».

Якщо індивідуальне завдання для поточного етапу дослідження виконане студентом якісно і у повному об'ємі, то викладач (куратор практикуму) завантажує у особисту папку студента на «Google Drive». Файл завдання для наступного етапу. Далі все відбувається аналогічно.

В ході виконання індивідуальних завдань студенту може знадобитися консультація з боку викладача (куратора практикуму). Для її отримання студент може використати різні сервіси системи «JetIQ» - або сервіси текстового обміну інформацією «Messenger, E-post», або сервіс он-лайн відео – зустрічі «Google Meet», користуючись при цьому тим же посиланням на цю зустріч, що викладач (куратор практикуму) вказує в відповідному ННР системи «JetIQ».

Таким чином, виконуючи поступово індивідуальні проєктні завдання, що відповідають реальним етапам життєвого циклу СА, студент як би рухається у часі в рамках цього життєвого циклу. Тобто НЗ підсилює відчуття реальності процесу проєктування якоїсь з досліджуваних систем автоматизації – або типу СА І3.0, або екземпляру СА І3.0, або типу СА І4.0).

## 2.6 Висновки до розділу

В результаті виконання дослідницьких та проектних робіт у даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи на основі концептуальних рішень нового НЗ та вимог технічного завдання на науково-дослідну роботу були спроектоване відповідна архітектурне рішення цього навчального засобу. Розробка архітектури НЗ була виконана окремо для кожного дослідження життєвого циклу промислової СА, що досліджується в новому НЗ, а саме, для дослідження життєвого циклу типу СА за концепцією І3.0, для дослідження життєвого циклу екземпляру СА за концепцією І3.0, для дослідження життєвого циклу типу СА за концепцією І4.0,

Для виконання такого архітектурного проектування нового НЗ був детально досліджений функціонал інженерного ПЗ «Siemens TIA Portal», яке повинно лежати у основі програмного забезпечення нового НЗ.

Архітектура нового НЗ для кожного з зазначених видів дослідження життєвого циклу СА включає обов'язкове організаційно-комунікаційне середовище, що призначене для дистанційної інформаційної взаємодії студента та викладача-куратора практикуму, та будується на основі функціоналу (сервісів) системи автоматизованого управління даними освітнього процесу та документообігу «JetIQ» ВНТУ. Тому для розробки оптимальної архітектури цього середовища був детально досліджений існуючий функціонал (сервіси) цієї системи.

Отримані результати даного розділу дозволяють перейти до проектування функціоналу нового НЗ для усіх зазначених досліджень життєвого циклу СА.

## 3 ПРОЄКТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛУ НЗ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ПРОМИСЛОВОЇ СА ІЗ.0

### 3.1 Визначення алгоритму виконання дослідження

У попередньому розділі було спроектоване архітектурне рішення нового НЗ, який має забезпечити тривалий процес дослідження студентом життєвих циклів різних станів промислової СА, а саме, стану «тип СА за концепцією ІЗ.0», стану «екземпляр СА за концепцією ІЗ.0» та стану «тип СА за концепцією І4.0».

Згідно з референтною архітектурною моделлю RAMІ 4.0 [1-3] кожний з означених життєвих циклів поділяється на дві укрупнені стадії, які при проєктуванні промислової СА повинні виконуватися за конкретним алгоритмом. Тому для подальшого проєктування нового НЗ треба обов'язково визначити такі алгоритми для тих стадій життєвих циклів СА, які пов'язані з проєктною діяльністю студента в ході навчального дослідження.

Так, у життєвому циклі для типу промислової СА за моделлю RAMІ 4.0 першою стадією є «Розробка» («Development»), яка, без сумніву, передбачає виконання проєктних робіт для даного стану промислової СА, побудованої за концепцією ІЗ.0. Процес «Розробка» зазвичай виконується за стандартним алгоритмом, який також поділяється на окремі стадії [19-21]. У таблиці 3.1 наведені стандартні стадії створення промислової СА та їх цілі [19].

Таблиця 3.1 – Стадії створення СА згідно з ДСТУ ISO/IEC 15288:2005

Стадія життєвого циклу	Ціль	Схема рішень
Задум	Визначити потреби правовласників Дослідити задуми Запропонувати життєздатні рішення	Варіанти рішення: -виконати наступну стадію;
Розробка	Уточнити вимоги до системи Створити опис рішень Створити систему Провести верифікацію і валідацію системи	-продовжити дану стадію; -повернутись до попередньої стадії; -призупинити проєкт;
Виробництво	Виробити систему Проконтролювати і перевірити	-завершити проєкт;

Більш детально послідовність формування описів проєктних рішень СА означається у іншому міждержавному стандарті [20, 21]. Згідно з цим стандартом розробка СА виконується за такими стадіями:

1. Формування вимог до СА.
2. Розробка концепції СА.
3. Технічне завдання.
4. Ескізний проєкт.
5. Технічний проєкт.
6. Робоча документація (робочий проєкт).
7. Реалізація СА (монтаж, введення у дію та випробовування).
8. Супровід СА (обслуговування при використанні).

При цьому перші три стадії 1-3 є такими, що передують проєктуванню, а стадії 4-6 є безпосередньо проєктними.

На стадії «Ескізний проєкт» визначаються: функції СА, концепція інформаційної бази, функції СУБД, склад обчислювальної системи, функції та параметри основних програмних засобів.

Стадія «Технічний проєкт» має такі етапи: розробка проєктних рішень СА в цілому та її частин, розробка документації на СА в цілому та на її частини і т.д. В результаті формуються проєктні рішення СА та її частин, функціонально-алгоритмічної структури СА, функцій персоналу та організаційної структури, структури технічних засобів, алгоритмів рішень задач та використовуваних мов, організації та ведення інформаційної бази, системи класифікації та кодування інформації, програмного забезпечення. Усі отримані результати проєктування далі відображаються у стандартній технічній документації.

Стадія «Робоча документації (робочий проєкт) складається з таких етапів: розробка робочої документації на СА в цілому та на її частини (документація розробляється згідно із діючими стандартами), розробка або адаптація програмного забезпечення. На другому етапі розробляються програми та програмні засоби СА, здійснюється вибір, адаптація та/або прив'язка програмних засобів до наявного обладнання, , виготовляється відповідна програмна документація, оформлена згідно з діючими стандартами.

З урахуванням описаних вище стандартних стадій та етапів створення промислових СА можна запропонувати для нового НЗ відповідний алгоритм виконання студентом дослідження життєвого циклу для типу СА, побудованої за концепцією І3.0 (рисунок 3.1).

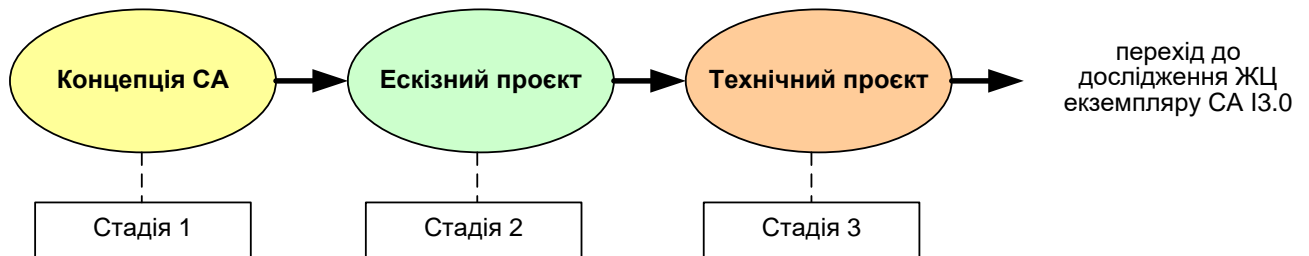


Рисунок 3.1 – Послідовність дослідження стадії «Розробка» ЖЦ типу СА І3.0

Першу стадію дослідження студент виконує в рамках самостійної роботи з дисципліни «Проектування систем автоматизації», використовуючи при цьому технічну та навчально-методичну документацію, підготовлену викладачем – куратором практикуму. Результатом проектування є опис концепції побудови конкретного типу СА. На наступних 2 та 3 стадіях дослідження, які студент виконує в рамках вказаної дисципліни у її лабораторному й практичному курсах, а також під час самостійної роботи, деталізуються такі проєктні рішення СА:

- схема функціональної структури СА;
- узагальнена структура комплексу технічних засобів (КТЗ) СА;
- концепція інформаційної бази СА;
- архітектура програмного забезпечення СА;
- функціонал НМІ для АРМ операторів, диспетчера та управлінців;
- вибір програмних інструментів для подальшого проектування та реалізації СА;
- функціонально-алгоритмічна структура СА;
- деталізована структура комплексу технічних засобів (КТЗ) СА;
- алгоритмічне забезпечення СА;
- схема мережних інформаційних потоків СА.

Розглянемо тепер алгоритм дослідження ЖЦ екземпляру СА, побудованої за концепцією ІЗ.0. Для цього ЖЦ за моделлю RAMІ 4.0 першою стадією є «Виробництво» («Production»), яка по відношенню до системи автоматизації, яка створюється під конкретні умови деякого промислового підприємства, без сумніву, передбачає і виконання відповідних проєктних робіт. Ці проєктні роботи також повинні виконуватися за окремими стандартними стадіями, які описані вище. На рисунку 3.2 показані ті стандартні стадії проєктування СА, які доцільно реалізувати у новому НЗ при дослідженні ЖЦ екземпляру СА ІЗ.0.

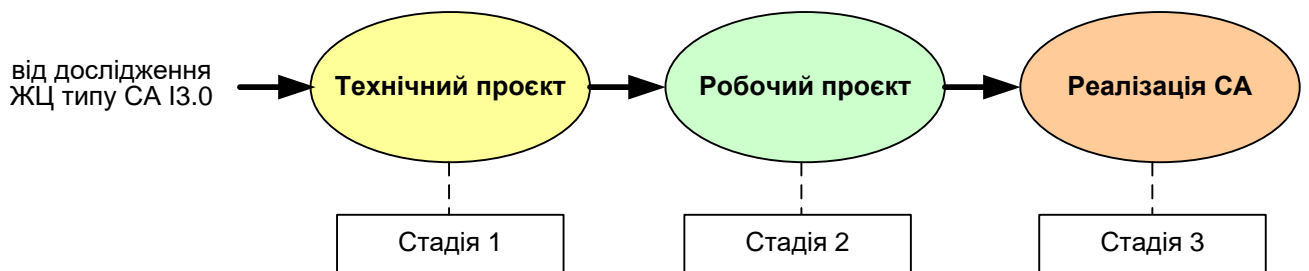


Рисунок 3.2 – Послідовність дослідження стадії «Виробництво» ЖЦ екземпляру СА ІЗ.0

Як було зазначено у розділі 2, в ході даного дослідження в якості об'єкту автоматизації застосовується лабораторна імітація хімічного виробництва, яка складається з набору різноманітних моделей технологічних/технічних процесів та лабораторної КІСУ, зібраної на основі реальних зразків промислових ТЗА. Тому проєктування екземпляру СА для такого об'єкту автоматизації вимагає від студента обов'язково враховувати властивості як цих лабораторних моделей, так і наявних промислових зразків ТЗА.

Тому на першій стадії дослідження студент повинен уточнити такі проєктні рішення, що вже були ним розроблені для типу даної СА:

- функціонально-алгоритмічна структура екземпляру СА;
- деталізована структура КТЗ екземпляру СА;
- алгоритмічне забезпечення екземпляру СА;
- схема мережних інформаційних потоків екземпляру СА.

На другій стадії студент розробляє робочу документації на екземпляр СА ІЗ.0 (на систему в цілому та на її окремі частини), а також розробляє його програмне забезпечення, адаптуючи при цьому ті програмні рішення, які були ним отримані при проєктуванні ПЗ для типу даної СА (наприклад здійснюється вибір, адаптація та/або прив'язка програмних засобів до наявного лабораторного обладнання). За результатами виконання цієї стадії дослідження студент оформлює відповідну програмну документацію.

На третій стадії студент повинен здійснити в навчальній лабораторії монтаж, пусконаладжувальні роботи та поточні випробування екземпляру СА, також продемонструвати викладачу – куратору практикуму дослідну експлуатацію працюючого екземпляру СА.

Усі означені дослідження студент повинен виконувати в рамках дисципліни «Стандарти та проєктування комп'ютерно-інтегрованих систем управління» під час лабораторного й практичного курсів, а також самостійної роботи.

### 3.2 Функціонал НЗ для дослідження ЖЦ типу промислової СА

Для виконання студентом даного дослідження на новому НЗ викладач – куратор проєктного практикуму повинен розробити та надати студенту відповідну технічну та навчально-методичну документацію, наприклад, детальний опис реального виробничого процесу та його окремих технологічних/технічних процесів [22-30], опис основних положень міжнародного стандарту ІЕС-62264 (ISA 95) щодо комп'ютерно-інтегрованого управління виробництвом [11], опис концептуального рішення функціональної структури інтегрованої СА даним реальним виробничим процесом та інші.

Так, на рисунку 3.3 показана стандартна модель управління операціями основного періодичного виробництва, яку треба використовувати студенту в якості каркасу для побудови своєї інтегрованої СА. Показану модель можна сприймати як бажану структуру функцій управління реальним виробництвом.



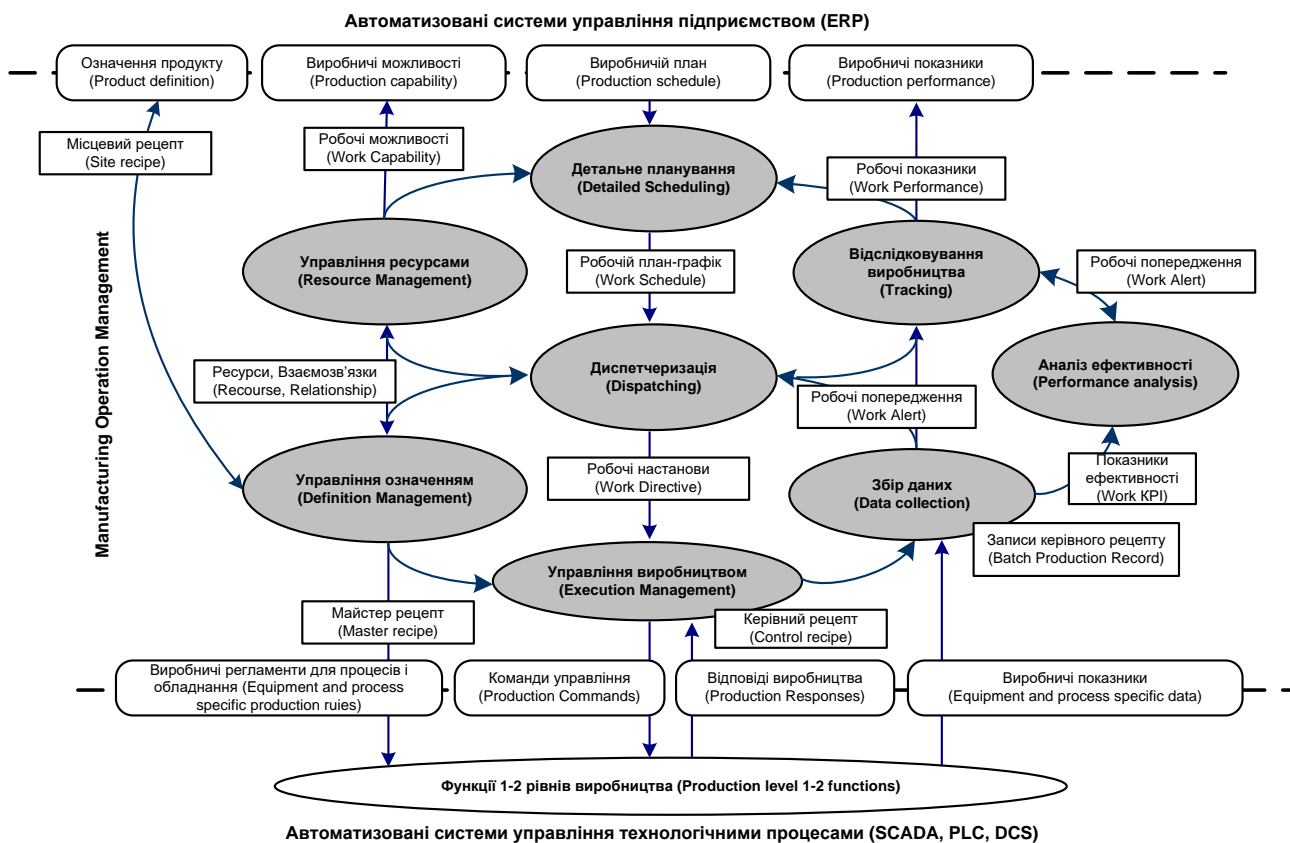


Рисунок 3.3 – Структура функцій комп’ютерно-інтегрованого управління реальним виробництвом

Концептуальне рішення функціональної структури типу СА, яку має проектувати студент при дослідженні її життєвого циклу, надає викладач як вихідну інформацію на початку проектного практикуму. На рисунку 3.4 показаний можливий варіант такої концепції. Наприклад, можна запропонувати для управління реальним виробництвом організаційну структуру, яка складатиметься з п’яти управлінських підрозділів. Управлінська діяльність цих підрозділів повинна бути автоматизованою (наприклад у вигляді відповідних автоматизованих робочих місць, АРМ). Крім того, може бути застосований окремий сервер виробничих даних, який в даному типі СА здійснюватиме таку функцію управління, як «Збір даних (Data collection)», що зазначена у зазначеному вище стандарті ІЕС-62264 комп’ютерно-інтегрованого управління періодичним виробництвом.

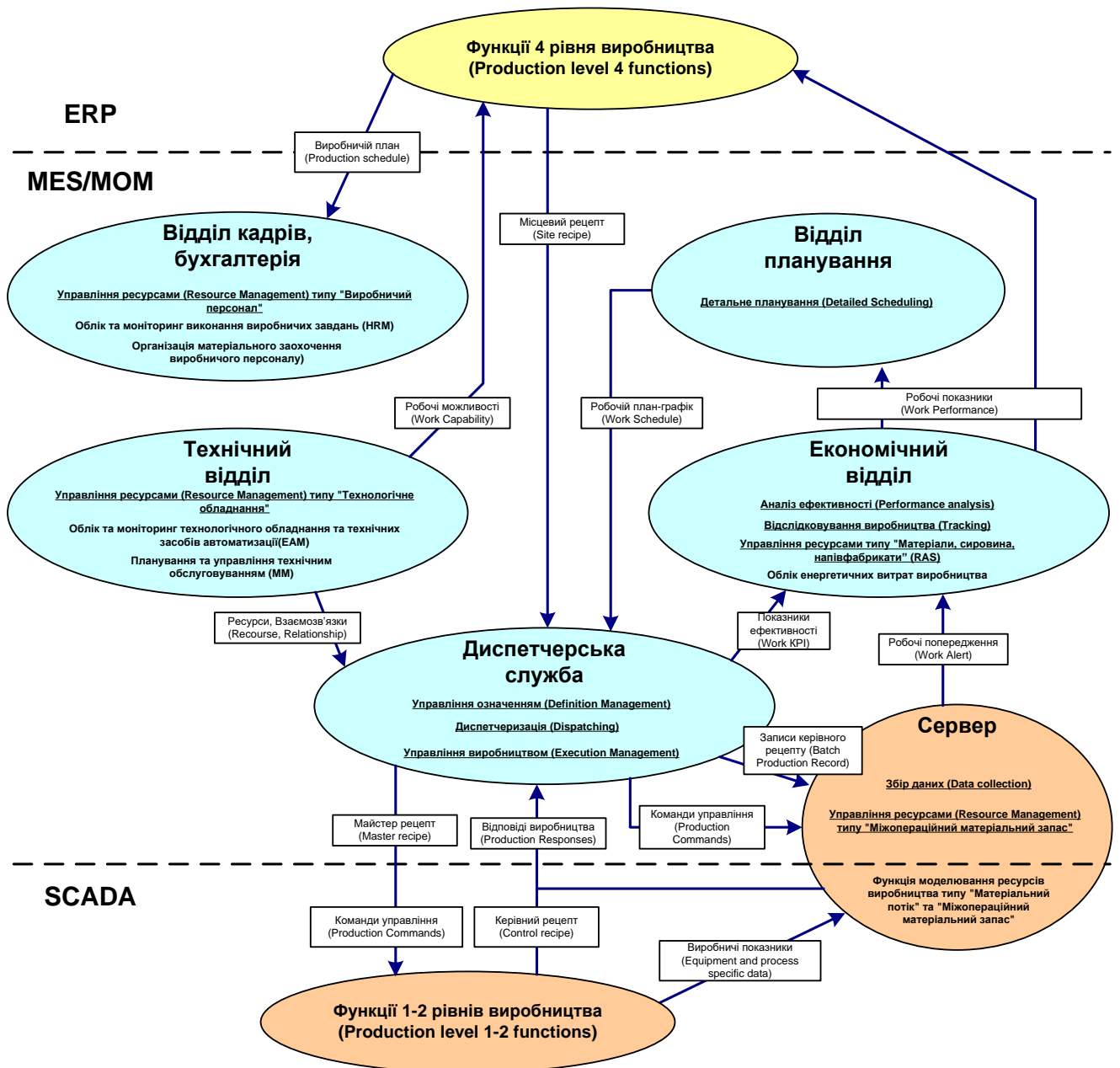


Рисунок 3.4 – Варіант концепції вихідної функціональної структури типу СА І3.0

На основі цієї концепції функціональної структури типу СА І3.0 студент може тепер спроектувати концепцію відповідної структури комплексу технічних засобів (КТЗ) для реалізації означених функцій. Наприклад, студент може спочатку розробити перелік усіх необхідних технічних засобів без зазначення конкретного їх типу. Приклад такого списку наведений у таблиці 3.1.

Призначення і загальні характеристики мають описувати основне призначення технічного засобу в рамках визначених вище функцій проєктованого типу СА І3.0.

Таблиця 3.1 – Технічні засоби для побудови типу СА І3.0

Поз. позначення	Вид технічного засобу	Призначення, загальна характеристика
Dev1	ПЛК №1	...
Dev2	ПЛК №2	...
Dev3	ПЛК №3	...
Dev4	ПЛК №4	...
Dev5	ПЛК №5	...
Dev6	АРМ оператора №1	...
Dev7	АРМ оператора №2	...
Dev8	АРМ оператора №3	...
Dev9	АРМ оператора №4	...
Dev10	АРМ оператора №5	...
Dev11	АРМ диспетчера	...
Dev12	АРМ бізнес-менеджера	...
Dev13	Сервер	...

На основі такого концептуального рішення апаратної частини проєктованого типу СА студент на стадії ескізного проєктування може тепер розробити по-перше, узагальнену структурну схему КТЗ для даного типу СА, по-друге, загальний проєкт електричного монтажу усіх його технічних засобів (ТЗ) у реальному виробничому приміщенні.

На рисунку 3.5 показаний можливий варіант виконання узагальненої структурної схеми КТЗ у звичайному графічному редакторі ОС Windows. Усі ТЗ даної схеми КТЗ являють собою обчислювальні вузли, на яких покладається програмне виконання певних управлінських функцій. Тому для цих ТЗ далі треба буде вибрати відповідне програмне забезпечення – загальне та спеціальне. Такий вибір програмних засобів також виконується на стадії ескізного проєктування.

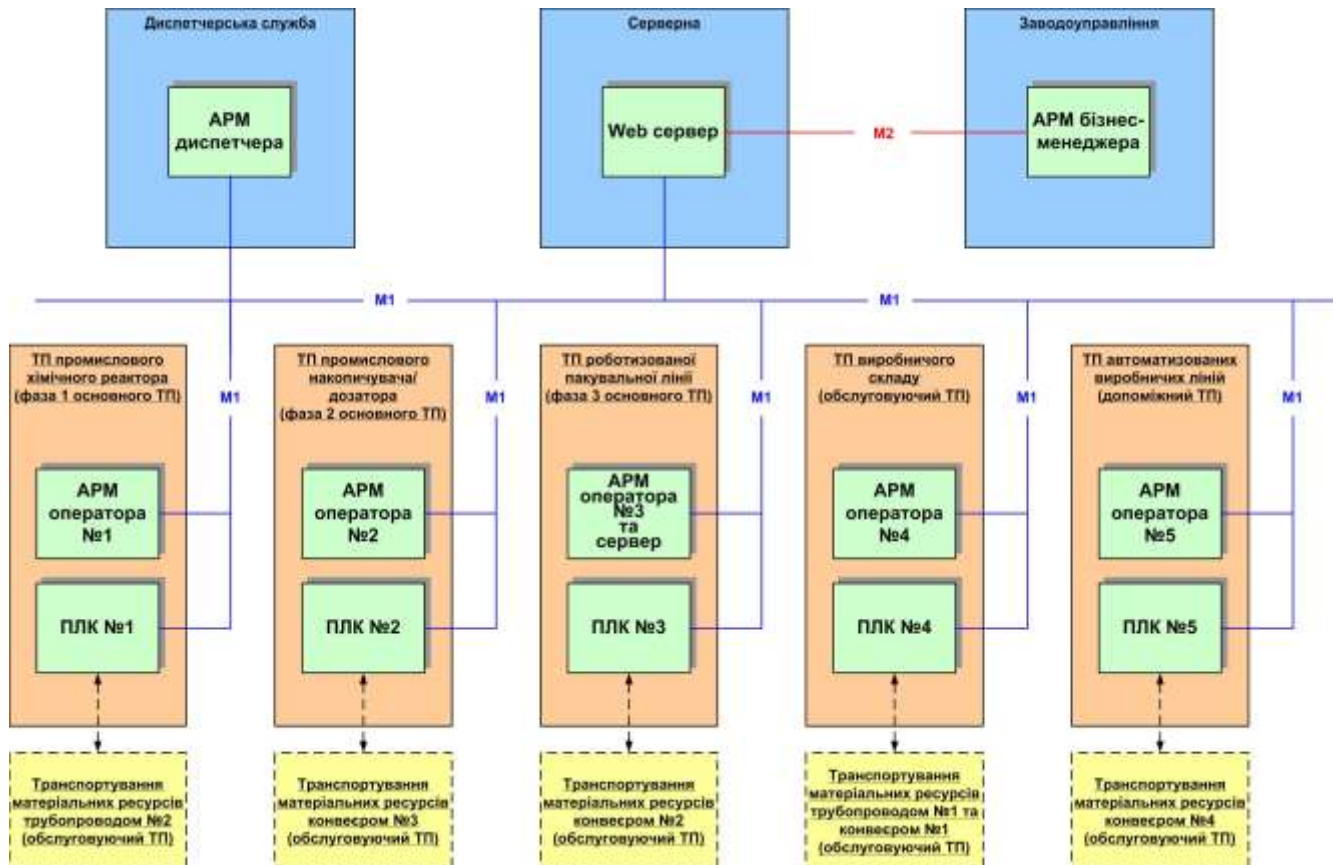


Рисунок 3.5 – Приклад виконання узагальненої структурної схеми КТЗ

На основі такої схеми та з урахуванням вихідної функціональної структури, наданої викладачем – куратором практикуму, студент на стадії ескізного проектування може розробити схему функціональної структури даного типу СА. Ця схема повинна відображати розподіл усіх функцій, зазначених на функціональній структурі, між окремими обчислювачами даного типу СА, тобто між тими ТЗ, що показані на узагальненій структурній схемі КТЗ (див. рисунок 3.5).

Приклад виконання студентом схеми функціональної структури даного типу СА показаний на рисунку 3.6. В даному прикладі схема за вимогами діючих стандартів [11] розділена на три частини, тобто на окремі рівні управління реальним виробництвом: ERP, MES/MOM та SCADA. В рамках кожної з цих частин доцільно виділити ті програмні області, що виконуються в системі на окремих обчислювальних ресурсах, означених на узагальненій структурній схемі КТЗ даного типу СА.

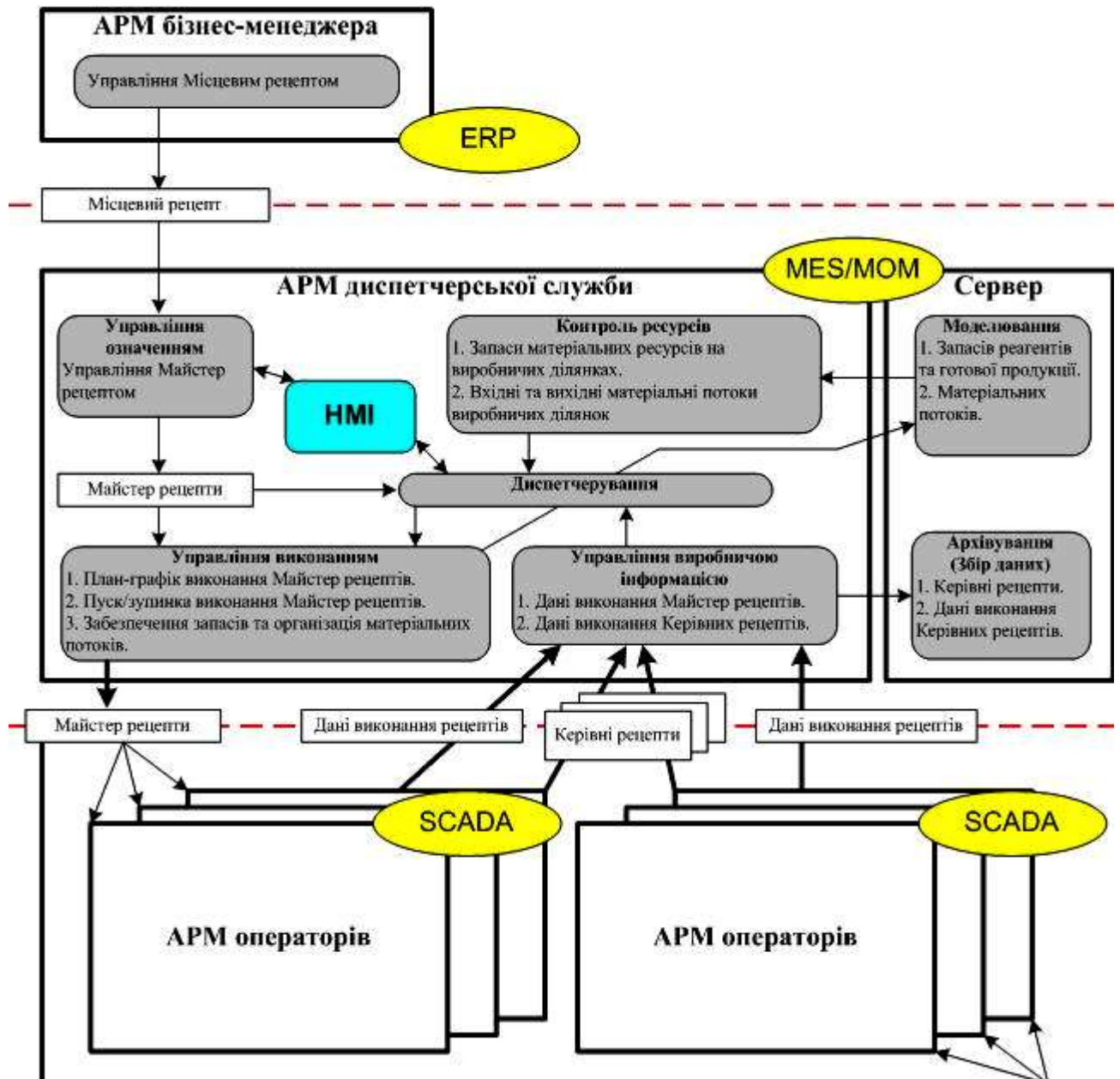


Рисунок 3.6 – Схема функціональної структури проєктованого типу СА

Як було зазначено вище, на стадії ескізного проєктування типу СА можна виконувати вибір загального та спеціального ПЗ для обчислювачів, показаних на схемі функціональної структури, тобто для промислових контролерів, АРМ операторів, диспетчера, управлінців та сервера.

В таблиці 3.2 наведений зразок можливого виконання специфікації такого ПЗ для технічних засобів, показаних на схемі функціональної структури проєктованого типу СА (див. рисунок 3.7). В нашому випадку загальним ПЗ є операційна система та IDE «Siemens TIA Portal», спеціальним – прикладне ПЗ..

Таблиця 3.2 – Специфікація ПЗ проєктованого типу СА

Технічний засіб	Загальне ПЗ	Спеціальне ПЗ
АРМ диспетчера	OS Windows 10, IDE «Siemens TIA Portal»	Прикладна програма управління
АРМ бізнес-менеджера	OS Windows 10, IDE «Siemens TIA Portal»	Прикладна програма управління
АРМ оператора №1	OS Windows 10, IDE «Siemens TIA Portal»	Прикладна програма управління
ПЛК №1	Runtime soft	Прикладна програма управління
АРМ оператора №2	OS Windows 10, IDE «Siemens TIA Portal»	Прикладна програма управління
ПЛК №2	Runtime soft	Прикладна програма
АРМ оператора №3 та сервер	OS Windows 10, IDE «Siemens TIA Portal», MS Industrial SQL Server	Прикладна програма управління, база виробничих даних реального часу
ПЛК №3	Runtime soft	Прикладна програма управління
АРМ оператора №4	OS Windows 10, IDE «Siemens TIA Portal»	Прикладна програма управління
ПЛК №4	Runtime soft	Прикладна програма управління
АРМ оператора №5	OS Windows 10, IDE «Siemens TIA Portal»	Прикладна програма управління
ПЛК №5	Runtime soft	Прикладна програма управління

Після того, як студент визначиться з ескізним проєктним рішенням технічної частини даного типу СА, він може переходити до проєктування його програмної частини. Спочатку проєктується інформаційна структура системи – масиви даних та інформаційні зв'язки між ними. Для проєктування інформаційних зв'язків на цій стадії проєктування використовуються різні інструменти, наприклад графові модель інформаційних потоків (рисунок 3.7. Така модель являє собою потоковий орієнтований граф, у якого вершинами є

програмні функції, виконувані окремими обчислювачами СА (контролерами, комп'ютерами АРМ, серверами), а дугами – інформаційні потоки. Напрямок дуг вказує напрямок передачі відповідних даних. Якщо вказана двостороння дуга, то це означає об'єднання інформаційних потоків протилежного напрямку.

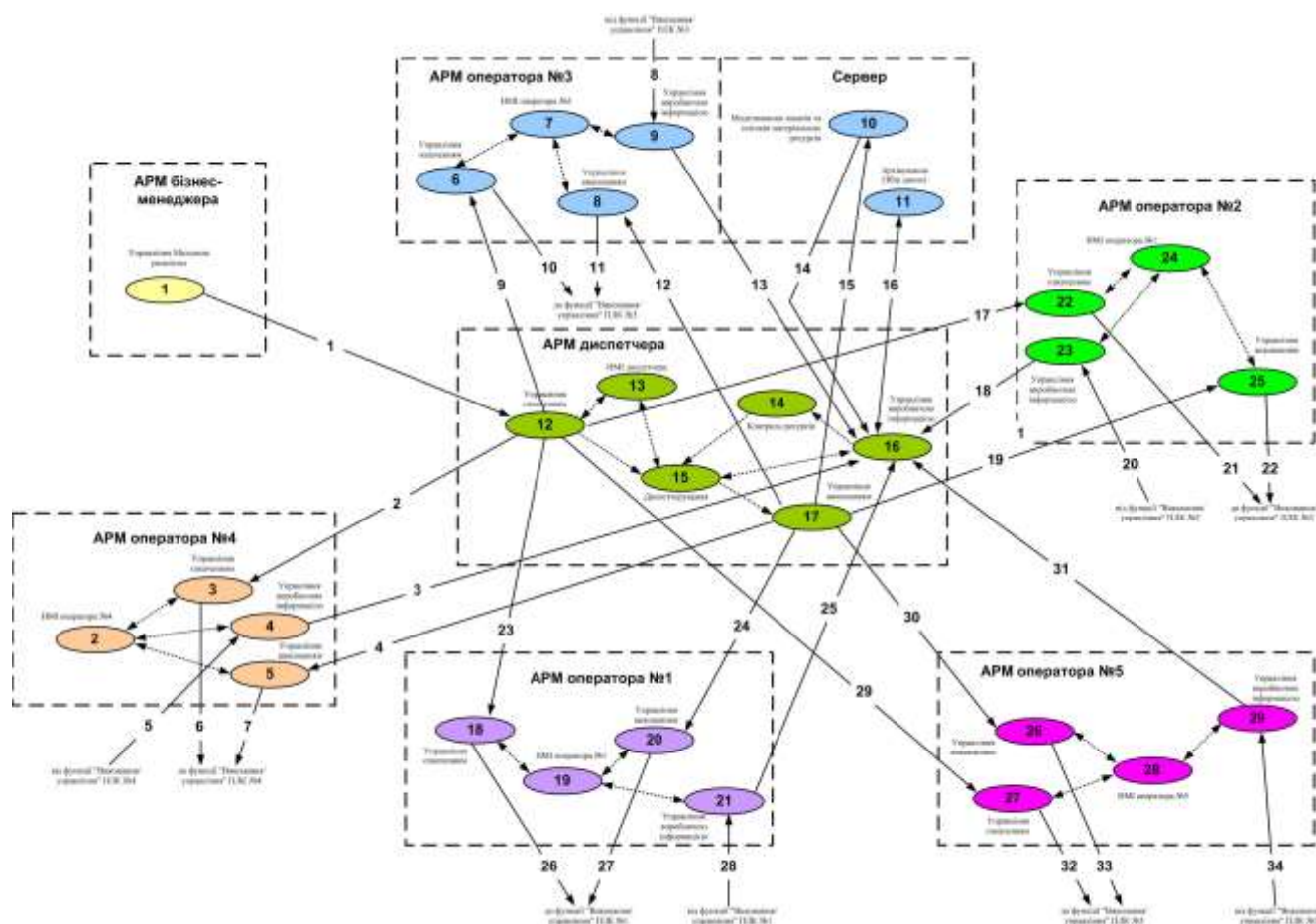


Рисунок 3.7 – Приклад виконання графової моделі інформаційних потоків

Графова модель описується у відповідному текстовому документі, де вказуються усі програмні функції кожного обчислювача та зміст його вхідних та вихідних інформаційних потоків. В таблиці 3.3 наведений фрагмент такого опису для програмних функцій типу СА, який проєктує студент на новому НЗ. В таблиці 3.4 наведений фрагмент опису для відповідних інформаційних потоків проєктованого типу СА.

Перелічені в таблиці 3.3 функції проєктованого типу СА повинні за певною логікою взаємодіяти між собою через відповідні інформаційні потоки,

перелічені в таблиці 3.4, з метою виконання даним типом СА своїх основних управлінських задач. Тому крім опису функцій та інформаційних потоків студент повинен оформити і відповідний опис логіки вказаних інформаційних взаємодій.

Таблиця 3.3 – Специфікація функцій проєктованого типу СА

Номер	Опис функції
1	2
1	Управління Місцевим рецептом (АРМ бізнес-менеджера)
2	НМІ оператора №4 (АРМ оператора №4)
3	Управління означенням (АРМ оператора №4)
4	Управління виробничою інформацією (АРМ оператора №4)
5	Управління виконанням (АРМ оператора №4)
...	...

Таблиця 3.4 – Специфікація інформаційних потоків проєктованого типу СА

Номер	Опис інформаційного потоку
1	2
1	Дані Місцевого рецепту
2	Дані Майстер рецепту для ТП виробничого складу
3	Звіт про виконання Майстер рецепту ТП виробничого складу, аварійні повідомлення
4	План-графік виконання Майстер рецепту ТП виробничого складу, команди пуску/зупинки ТП
5	Поточні параметри роботи технічного устаткування виробничого складу, повідомлення про виконання апаратурного Керівного рецепту та аварійні події
...	...

При проєктуванні інформаційної структури даного типу СА студент повинен описати і зміст інформації, яка формується і передається між програмними функціями системи. Так, при стандартному управлінні періодичним



виробництвом обов'язково використовується інформація у формі електронного рецепту, який може бути таких видів [31]:

- «Загальний рецепт» (General recipe) для всього підприємства;
- «Місцевий рецепт» (Site recipe) для окремої виробничої площадки;
- «Майстер рецепт» (Master recipe) – шаблонний рецепт для технологічної комірки, наприклад, виробничої ділянки;
- «Керівний рецепт» (Control recipe) – конкретний екземпляр рецепту для кожної партії/ порції продукту.

Файл кожного рецепту формується за певною структурою. Наприклад, для «Майстер рецепт» вона має бути такою:

Стандартний зміст такого рецепту обов'язково має включати такі інформаційні розділи (частини):

- заголовок (Header) з загальною інформацією про даний рецепт;
- формула (Formula), де вказуються параметри та кількісні характеристики сировини та інших видів ресурсів, які потрібні для виготовлення хімічним реактором порції продукту;
- вимоги до обладнання (Equipment Requirements), де наведені характеристики та тип хімічного реактора, що здатний виробляти даний вид продукту;
- процедура (Procedure), де описується «технологічна програма» виготовлення порції продукту, тобто послідовність технологічних операцій та їх параметрів, що буде використане для реалізації системою рецептурного процедурного управління хімічним реактором.

Після проектування інформаційної структури даного типу СА студент виконує ескізне проектування спеціального ПЗ (прикладні програми управління) для окремих технічних засобів системи (промислові контролери, комп'ютери АРМ управлінців, сервери). Ці ескізні проекти надалі будуть використовуватися студентом на стадії технічного проекту для більш детального проектування цього ПЗ за допомогою інструментів IDE «Siemens TIA Portal» (загальне ПЗ системи).

Так, для промислового контролера, що застосовується у даному типі СА, проектування прикладної програми можна почати з опису алгоритму її роботи (рисунок 3.8).

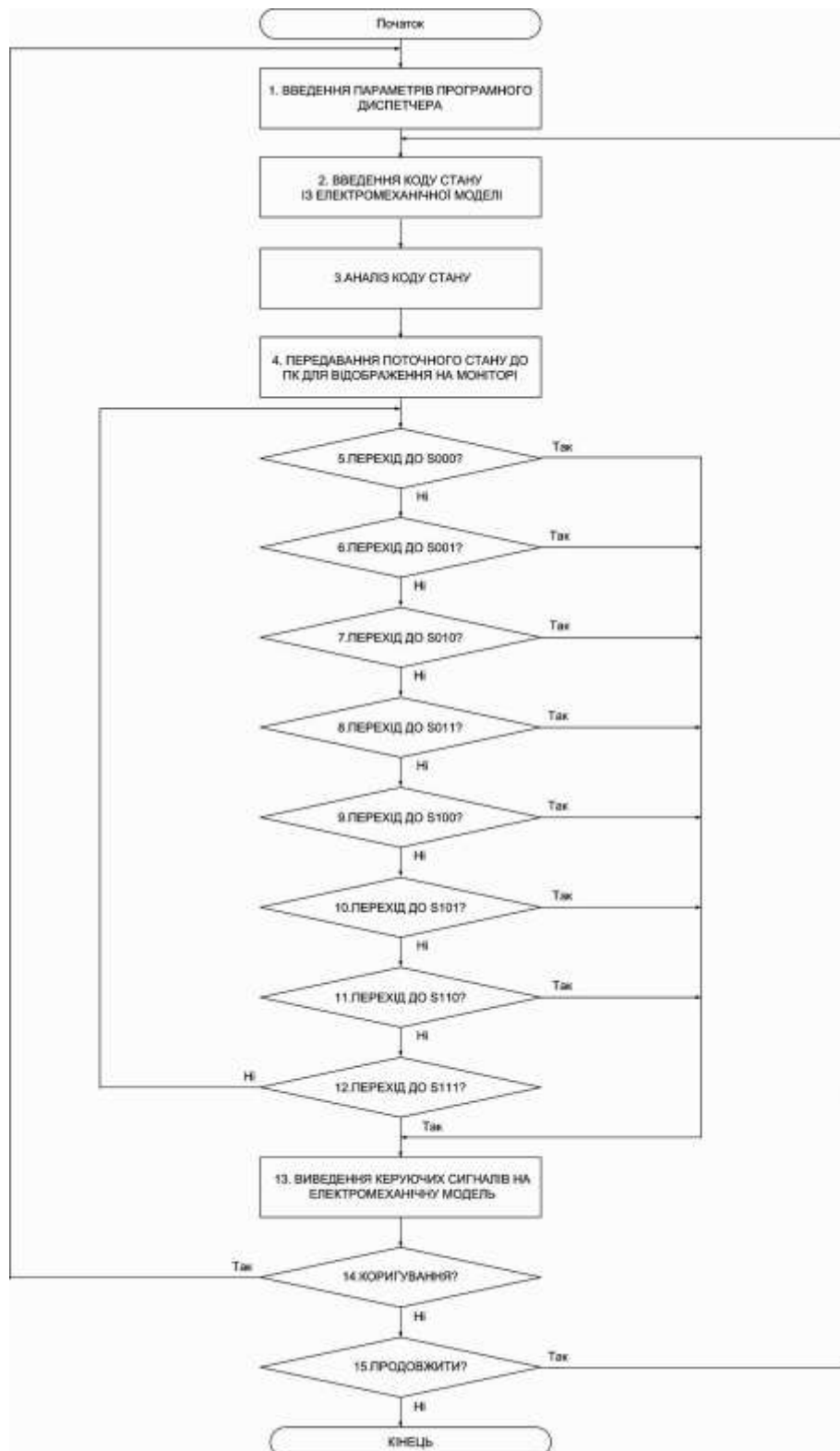


Рисунок 3.8 – Приклад схеми основної програми промислового контролера

Для комп'ютера АРМ оператора прикладну програму на стадії ескізного проекту можна спроектувати у вигляді схеми даних (рисунок 3.9).

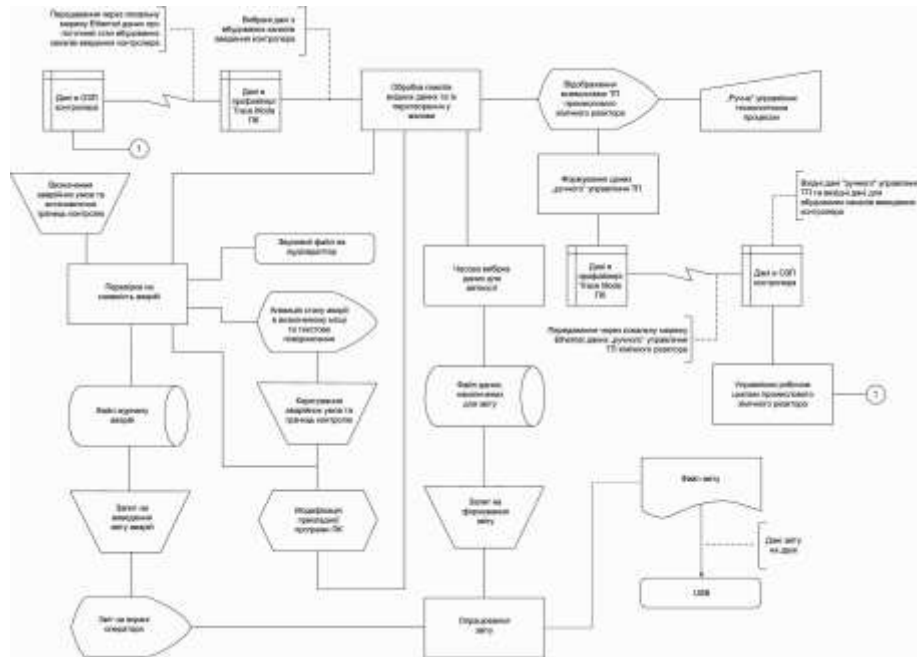


Рисунок 3.9 – Приклад схеми даних комп'ютера АРМ оператора

У середовищі IDE «Siemens TIA Portal» прикладну програму промислового контролера розробляють за допомогою програмного інструмента «Step 7».

Спочатку доцільно спроектувати її блочну структуру. Відповідний приклад наведений на рисунку 3.10.

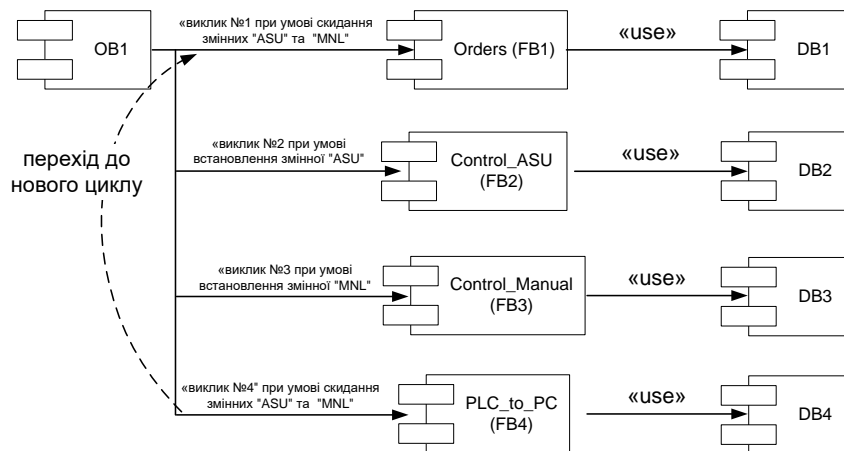


Рисунок 3.10 – Приклад блочної структури прикладної програми контролера

Потім в редакторі «Step 7» можна визначити те обладнання контролера, для якого буде проектуватися ПЗ. Таке обладнання являє собою апаратну станцію, що складається зі стійки (стійок) вибраного типу ПЛК. Центральна стійка (rack) ПЛК містить процесорний модуль (CPU) та модуль живлення, до яких при необхідності додаються сигнальні модулі. Якщо ж станція буде складатися з кількох стійок, то додається і інтерфейсний модуль для зв'язку з підпорядкованими стійками даної апаратної станції. Склад стійки (стійок) апаратної станції визначається кількістю вхідних та вихідних сигналів, які повинен обробляти контролер для реалізації конкретної прикладної задачі.

Після створення та комплектації потрібної апаратної станції, наприклад «PLC\_2», структура проекту у «Step 7» буде виглядати як на рисунку 3.11.

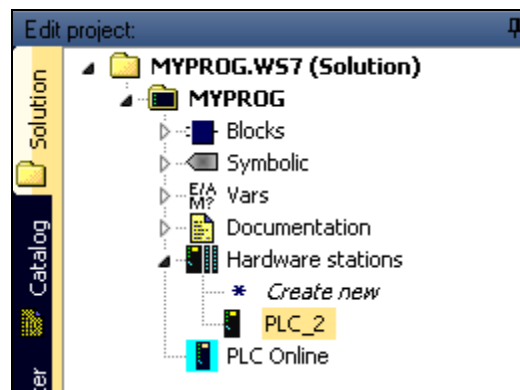


Рисунок 3.11 – Структура проекту в редакторі «Step 7»

Далі в редакторі «Step 7» можна створити блочну структуру прикладної програми, яка буде відповідати рисунку 3.10. Приклад наведений на рисунку 3.12. З рисунку видно, що створена блочна структура програми відображається у папці "Blocks", що містить відповідні розділи «OB» та «FB».

Крім прикладного ПЗ промислових контролерів студент на стадії ескізного проектування даного типу СА проектує і прикладне ПЗ комп'ютерів системи (АРМ операторів, АРМ диспетчера, АРМ управлінців і т.п.). Вище вже був показаний один із результатів такого проектування – схема даних (див. рисунок 3.9).

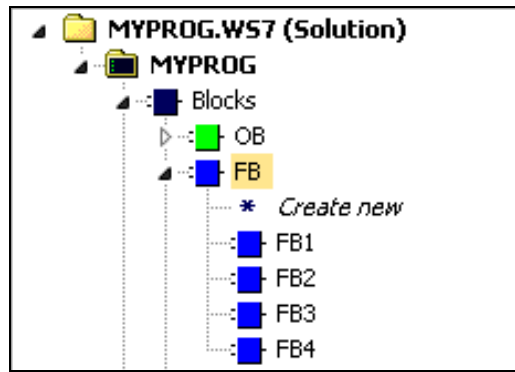


Рисунок 3.12 – Дерево блочної структури прикладної програми контролера

Крім цієї схеми, студент може спроектувати загальну структуру графічних інтерфейсів (ЛМІ, НМІ) цих АРМ. На рисунку 3.13 показаний приклад проектування структури такого інтерфейсу для АРМ оператора.

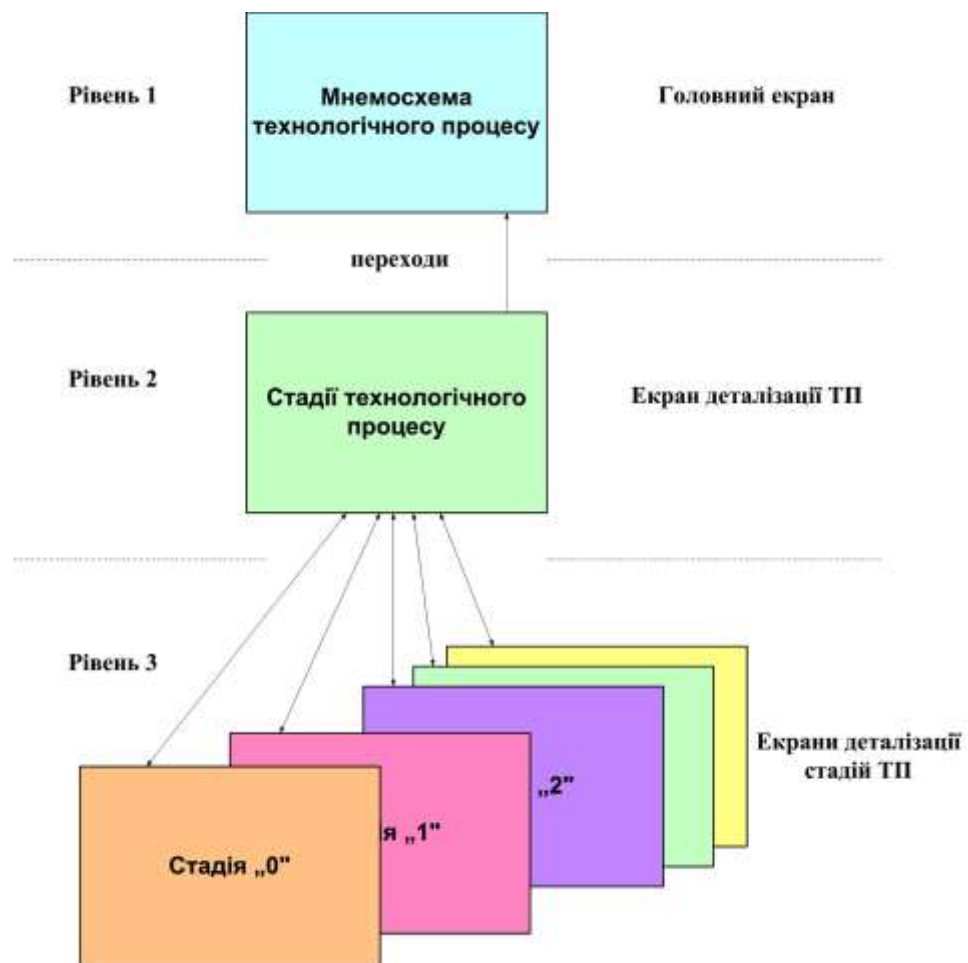


Рисунок 3.13 - Структура графічного НМІ для АРМ оператора

Така структура обов'язково описується щодо виконання даним НМІ основних функцій. Ці функції забезпечуються прикладною програмою відповідного АРМ. В нашому випадку це ПЗ детально проєктується в середовищі «Siemens TIA Portal» за допомогою такого інструменту як «WinCC». На рисунку 3.14 для прикладу показана структура таких програмних процедур у відповідному редакторі «WinCC».



Рисунок 3.14 – Каталог програмних процедур проекту в редакторі «WinCC».

Після виконання усіх описаних робіт для даного типу СА на стадії «Ескізний проєкт» студент переходить до виконання проєктних робіт на стадії «Технічний проєкт». Огляд змісту та результатів цих проєктних робіт буде зроблений нижче при описі виконання стадії «Технічний проєкт» для екземпляру СА І3.0.

### 3.3 Функціонал НЗ для дослідження ЖЦ екземпляру промислової СА

Життєвий цикл екземпляру СА І3.0 досліджується студентом на новому НЗ у послідовності, що визначена вище (див. рисунок .3.2). Дослідження починається

зі стадії «Технічний проєкт», вихідними даними для якої служать ті результати технічного проєктування типу цієї СА ІЗ.0, що отримані студентом при попередньому дослідженні його ЖЦ.

При цьому відмінність виконання технічного проєктування для екземпляру системи полягає в тім, що проєкт будується на конкретних типах ТЗ (контролери, персональні комп'ютери, промислові датчики і виконавчі пристрої, цифрові мережі) лабораторної КІСУ «віртуальним» виробництвом, яке утворене на основі різних моделей технологічних та технічних процесів.

Тому студент на початку проєктування екземпляру СА розробляє уточнений перелік усіх технічних засобів системи з зазначенням конкретного їх типу. Приклад такого списку наведений у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Перелік технічних засобів СА технологічного процесу

Виробничий об'єкт	Технічний засіб	Об'єкт КІСУ	Функц. група
1	2	3	4
Фаза 1 основного ТП	Контролер VIPA	ТО №1	ПЛК
	Витратомір МІК-5NA		КВПіА
	Рівнемір UA 18CLD08AGTR		КВПіА
	Реле рівня LVM20A240 (3 шт.)		КВПіА
	Е/м клапан D201 (2 шт.)		КВПіА
	Електричний насос КТ-21Д		КВПіА
	Персональний комп'ютер	АРМ оператора №1	ПК
	Панель оператора VIPA		ПК
...	...	...	...

На основі такого списку та з урахуванням узагальненої структурної схеми КТЗ для даного типу СА, що розроблена під час попереднього дослідження (див. рисунок 3.5), студент може, по-перше, розробити структуру КТЗ для екземпляру СА, по друге, на основі такої структури розробити вже електричну структурну схему екземпляру СА. На рисунку 3.15 показаний варіант виконання технічного проекту структури екземпляру СА.

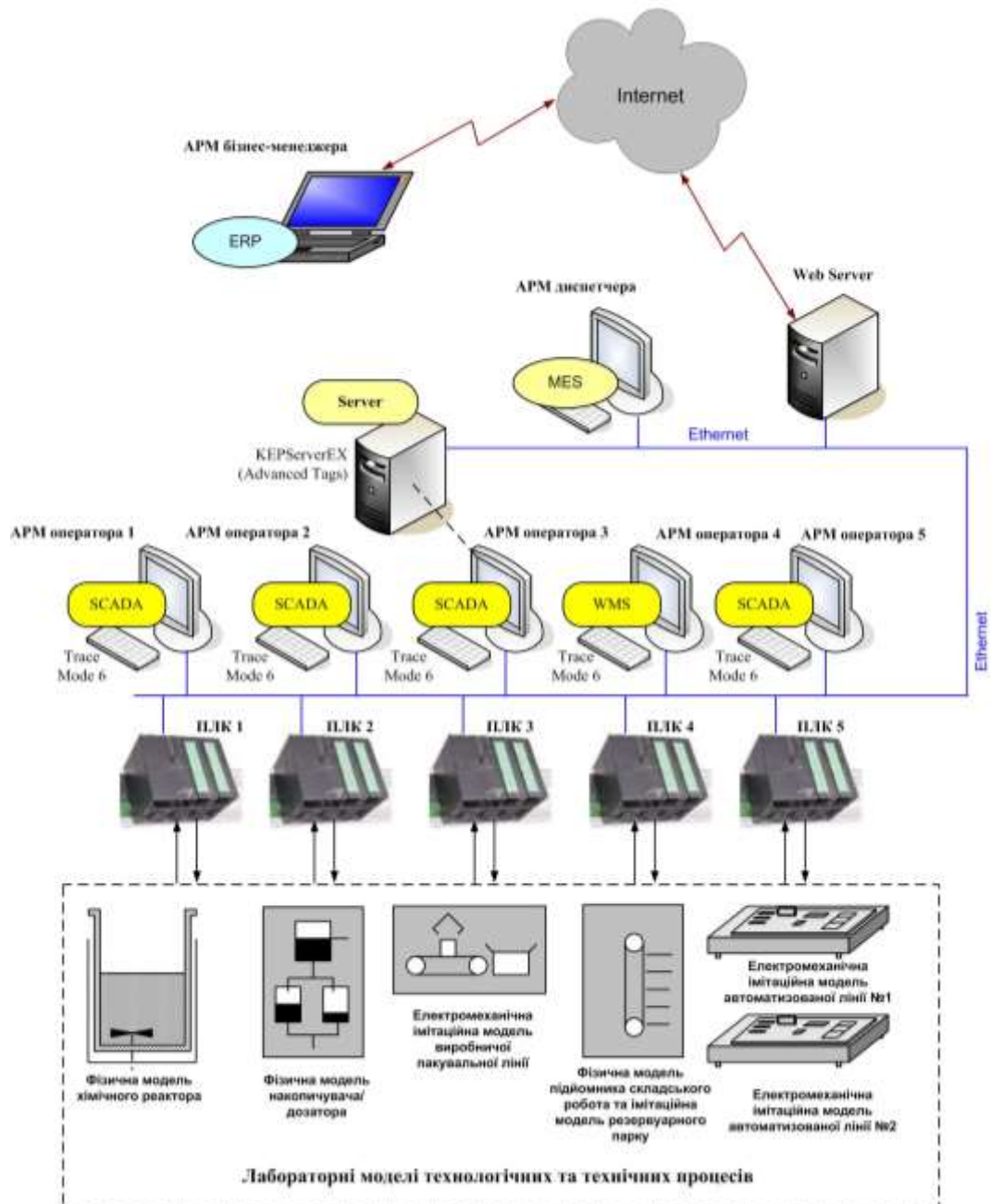


Рисунок 3.15 – Варіант виконання технічного проекту структури екземпляру СА



Для окремої лабораторної моделі ТП на основі цієї структури можна розробити електричну структурну схему відповідного екземпляру СА. Приклад такої схеми, що містить і існуючі блоки лабораторної моделі ТП, показаний на рисунку 3.16.

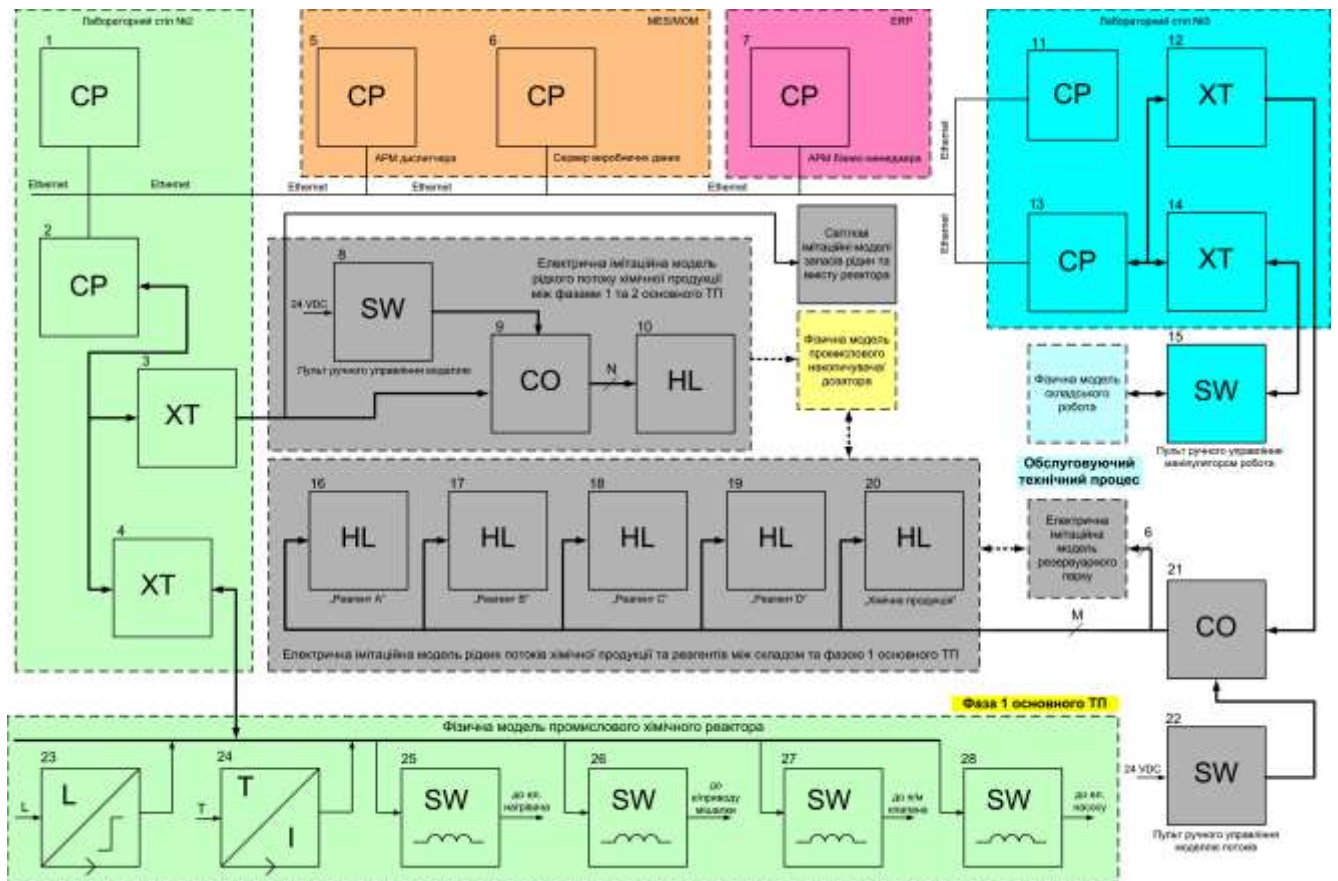


Рисунок 3.16 – Приклад виконання електричної структурної схеми екземпляру СА

Опираючись на схему функціональної структури даного типу СА та його графову модель інформаційних потоків, що були розроблені під час попереднього дослідження ЖЦ для типу даної СА (див. рисунки 3.6 та 3.7), студент може деталізувати проєкт інформаційної структури екземпляру СА. Наприклад, для поза-машинної інформаційної бази системи, де інформація передається між її структурними частинами відповідними інформаційними потоками, ці структурні частини можуть бути і приймачами, і джерелами інформації. Тому для технічного проєктування цієї інформаційної бази треба обов'язково розробити систему класифікації та кодування інформації що передається мережею.

Наприклад, можна ввести таку класифікацію інформації:

- «Сигнал» (дискретна інформація, що має два значення – «одиниця/нуль», «true/false», «on/off»);
  - «Дані» (цифрова інформація обсягом один чи кілька байтів, що передає значення фізичних величин – виробничих/технологічних параметрів);
  - «Документ» (інформація, яка міститься у файлі документа OS Windows).
- Систему же кодування краще зробити символно-цифровою.

Тоді можна описати у технічному проекті усю інформацію, яка передається мережею між окремими частинами проєктованого екземпляру СА. В таблиці 3.6 наведений фрагмент такого опису для АРМ диспетчера.

Таблиця 3.6 – Перелік вхідної інформації типів «Сигнал» та «Дані»

Символьно-цифрове позначення	Зміст інформації
1	2
Інформація, що пов'язана з СА фази 1 основного ТП (код «1»)	
#1_ALARM	Сигнал аварії, надісланий даною СА
#1_SV_START	Сигнал пуску процесу оператором СА
#1_SV_STOP	Сигнал зупинки процесу оператором СА
...	...

При технічному проєктуванні інформаційної структури даного екземпляру СА студент повинен більш детально описати зміст окремих типів інформації. Наприклад, для такої інформації як електронний рецепт, яка відноситься до типу «Документ», можна розробити текстовий шаблон, використовуючи доступний додаток ОС Windows. Для прикладу на рисунку 3.17 показаний такий шаблон для Місцевого рецепту (Site Recipe) у форматі текстового файлу. Назва цього файлу формується у відповідності до системи кодування інформації, що розроблена вище. (наприклад «SR\_000234», де 000234 – ID конкретного Місцевого рецепту).

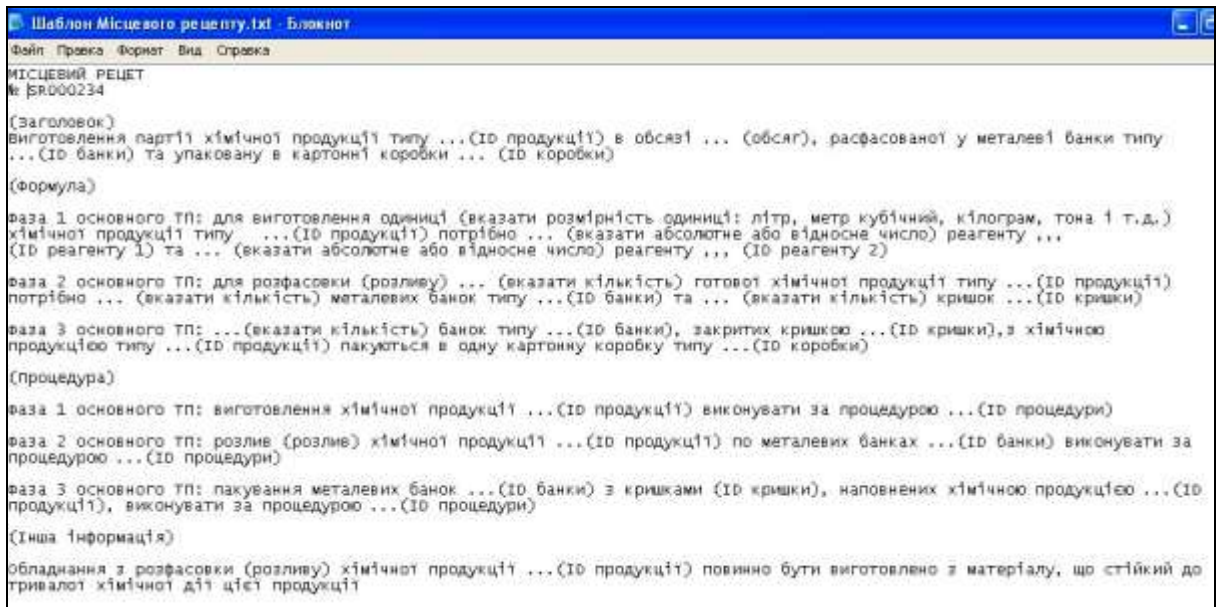


Рисунок 3.17 – Текстовий шаблон Місцевого рецепту для даного екземпляру СА

У свою чергу, графова модель інформаційних потоків, що була розроблена на стадії ескізного проєкту типу даної СА, на стадії технічного проєкту деталізується у вигляді схеми мережних інформаційних потоків. Приклад виконання такої схеми показаний на рисунку 3.18.

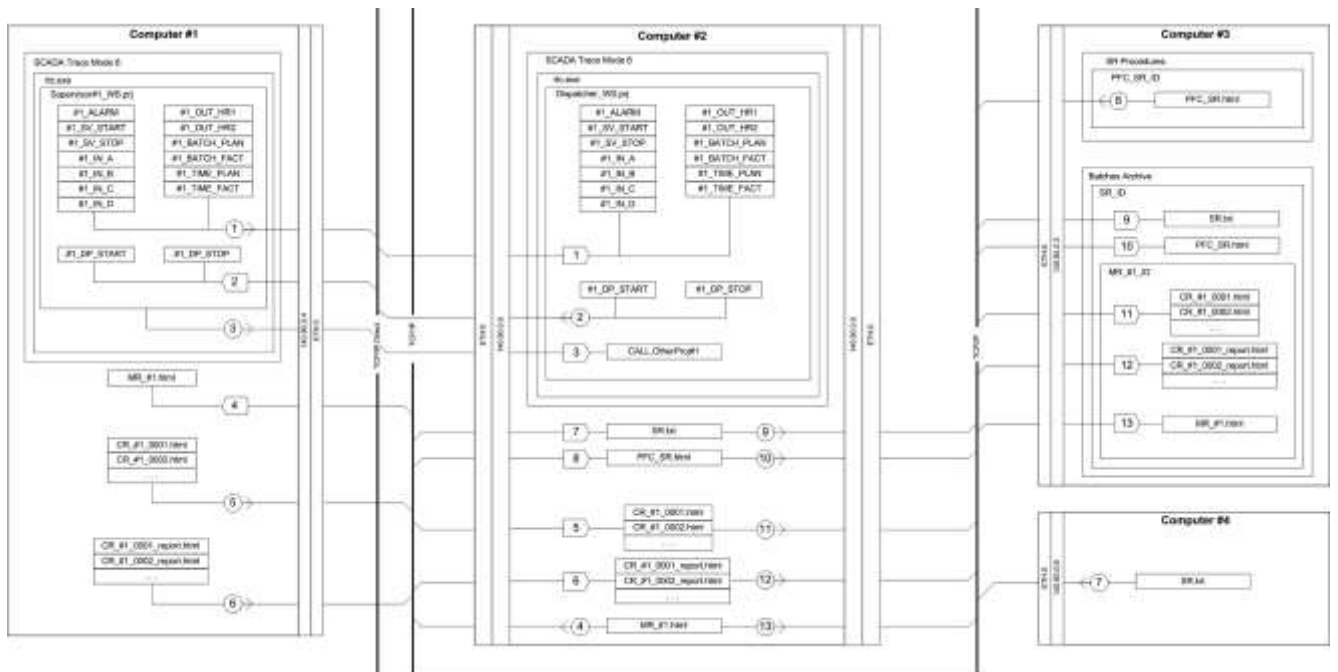


Рисунок 3.18 – Приклад виконання схеми мережних інформаційних потоків

До основних графічних елементів цієї схеми можна віднести такі: масив даних, інформаційний потік, мережний протокол, внутрішній канал обчислювального вузла мережі (контролера, комп'ютера, сервера) та текстовий/символьний опис інформаційного потоку.

Масиви даних означають інформацію різних типів («Сигнал», «Дані», «Документ»), які формуються та зберігаються на вузлах мережі, а при необхідності передаються від одного вузла до іншого.

Після технічного проєктування інформаційної структури даного екземпляру СА студент виконує технічне проєктування спеціального ПЗ (прикладні програми управління) як для даного екземпляру СА в цілому, так і для окремих технічних засобів даного екземпляру СА – для промислових контролерів та комп'ютерів АРМ управлінців. Технічний проєкт ПЗ всієї системи в цілому може бути виконаний у вигляді архітектурної моделі. На рисунку 3.19 показаний приклад виконання такої моделі.

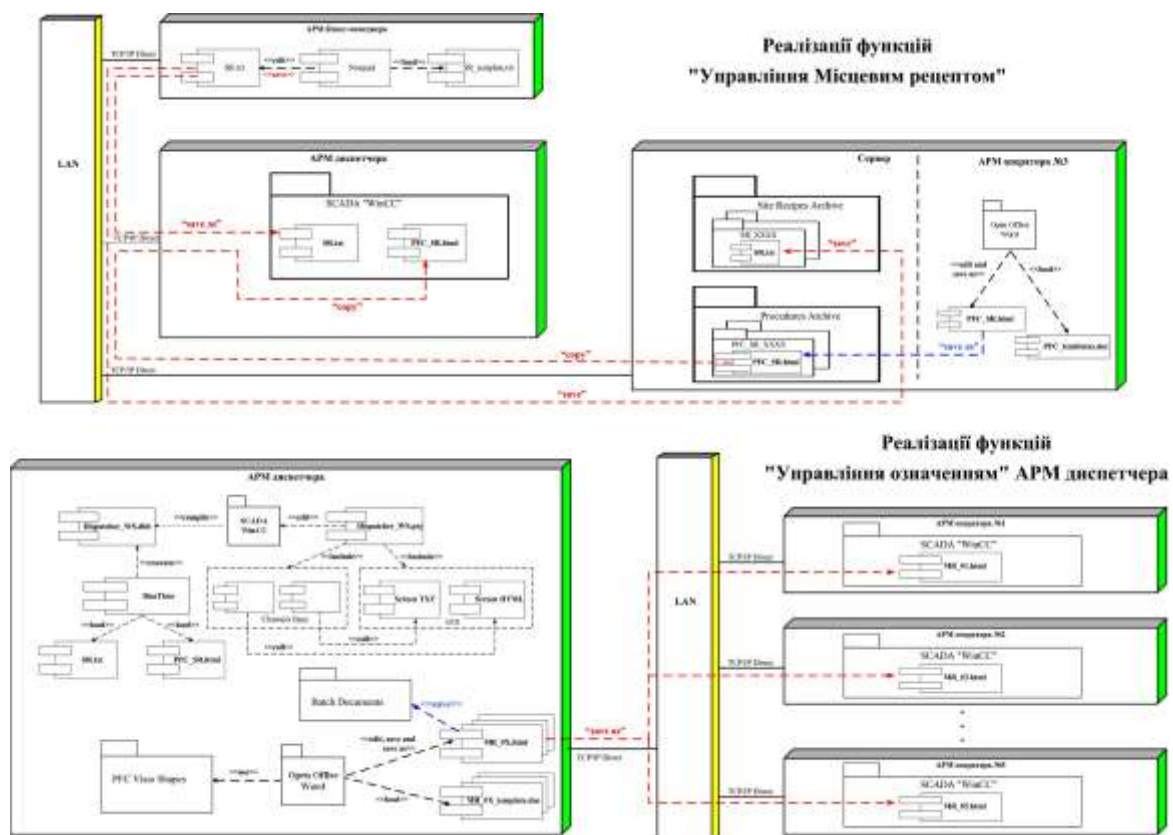
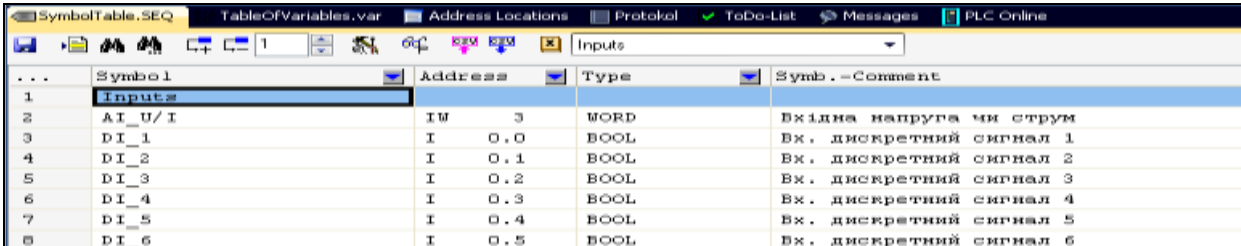


Рисунок 3.19 – Приклад виконання архітектурної моделі ПЗ екземпляру СА

Подальше проектування спеціального ПЗ для окремих технічних засобів системи студент виконує за допомогою інструментів IDE «Siemens TIA Portal».

Так, для конкретного типу промислового контролера, що застосовується у даному екземплярі СА, технічне проектування прикладної програми виконується в редакторі «Step 7». По-перше, означається точна конфігурація даного контролера (апаратної станції): центральна стійка (rack) ПЛК з конкретним типом процесорного модуля (CPU), конкретний тип модуля живлення, конкретні типи сигнальних модулів. Далі в редакторі «Step 7» створюється блочна структура прикладної програми, яка враховує наявне периферійне обладнання (датчики, виконавчі пристрої, цифрові мережі, комп'ютери АРМ управлінців). Після цього студент для означеної структури програми описує усі її змінні та константи, враховуючи вміст відповідного масиву даних із схеми мережних інформаційних потоків (див. рисунок 3.18). На рисунку 3.20 для прикладу показана частина таблиці символів, що створена у редакторі «Step 7» для змінних, які зв'язані з фізичними входами вибраного типу контролера.



The screenshot shows the Symbol Table window in Siemens TIA Portal. The window title is 'SymbolTable.SEQ'. The table has four columns: 'Symbol', 'Address', 'Type', and 'Symb.-Comment'. The 'Symbol' column contains 'Inputs' (row 1) and 'AI\_U/I' (row 2). The 'Address' column contains 'IW 3' (row 1) and 'I 0.0' through 'I 0.5' (rows 3-8). The 'Type' column contains 'WORD' (row 1) and 'BOOL' (rows 3-8). The 'Symb.-Comment' column contains 'Вхідна напруга чи струм' (row 1) and 'Вх. дискретний сигнал 1' through 'Вх. дискретний сигнал 6' (rows 3-8).

Symbol	Address	Type	Symb.-Comment
Inputs	IW 3	WORD	Вхідна напруга чи струм
AI_U/I			
DI_1	I 0.0	BOOL	Вх. дискретний сигнал 1
DI_2	I 0.1	BOOL	Вх. дискретний сигнал 2
DI_3	I 0.2	BOOL	Вх. дискретний сигнал 3
DI_4	I 0.3	BOOL	Вх. дискретний сигнал 4
DI_5	I 0.4	BOOL	Вх. дискретний сигнал 5
DI_6	I 0.5	BOOL	Вх. дискретний сигнал 6

Рисунок 3.20 – Приклад таблиці символів вхідних змінних програми контролера

Крім прикладного ПЗ промислових контролерів студент на стадії технічного проектування даного екземпляру СА продовжує розробку прикладного ПЗ для комп'ютерів системи (АРМ операторів, АРМ диспетчера, АРМ управлінців і т.п.). Так, на основі загальної структури графічного інтерфейсу (ЛМІ, НМІ) окремого АРМ студент може розробити її деталізований варіант, де буде показаний зміст та дизайнерське рішення окремих екранів. На рисунку 3.21 показаний приклад такої деталізованої структури НМІ для АРМ оператора.

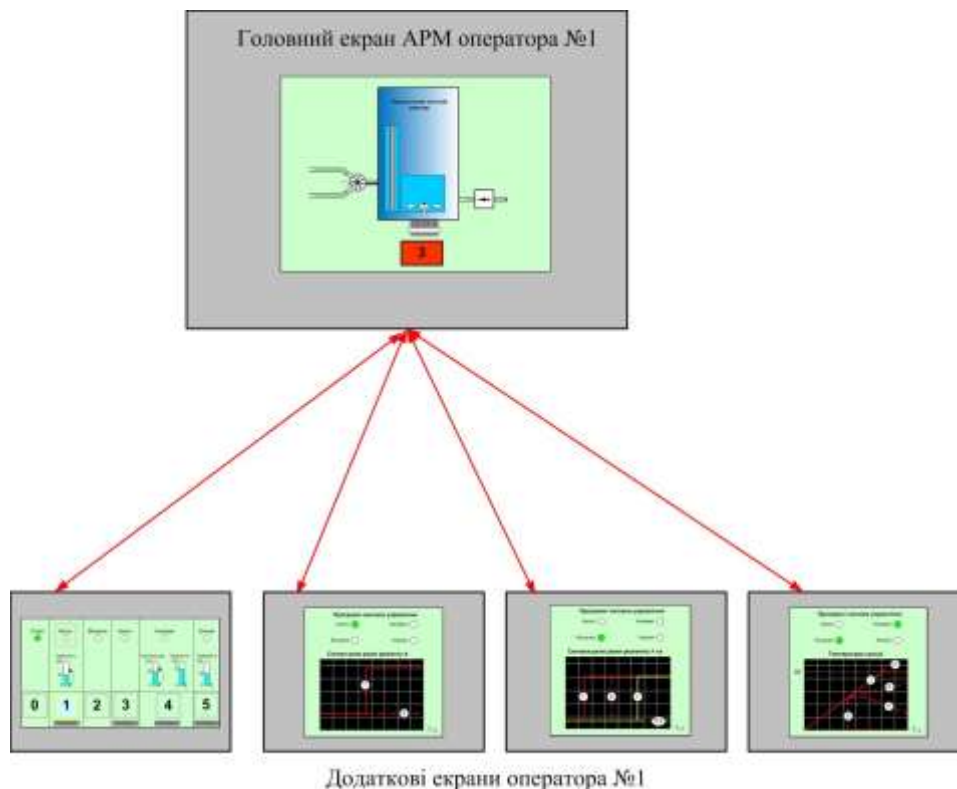


Рисунок 3.21 – Технічний проєкт структур НМІ для АРМ оператора

Далі така деталізована структура обов'язково описується студентом щодо логіки роботи такого НМІ та виконання ним своїх основних функцій. Ці функції НМІ, а також інші управлінські функції, покладені на конкретний АРМ, забезпечуються його прикладною програмою. В нашому випадку ця прикладна програма детально проєктується в середовищі «Siemens TIA Portal» за допомогою такого інструменту як «WinCC».

На стадії технічного проєктування можна за допомогою вказаного інструменту розробити внутрішньо-машинну інформаційну базу конкретного АРМ, а також розробити шаблони усіх екранів, які показані на рисунку 3.21.

Для прикладу на рисунку 3.22 показана структура інформаційної бази АРМ диспетчера для даного екземпляру СА, яка має бути створена у спеціальному редакторі «WinCC» для забезпечення роботи відповідних екранів НМІ диспетчера. Ця структура стосується тільки тих функцій НМІ диспетчера, які відповідають за відображення на екранах даного НМІ головних та деталізованих параметрів виконання Майстер рецептів локальними СА ТП.

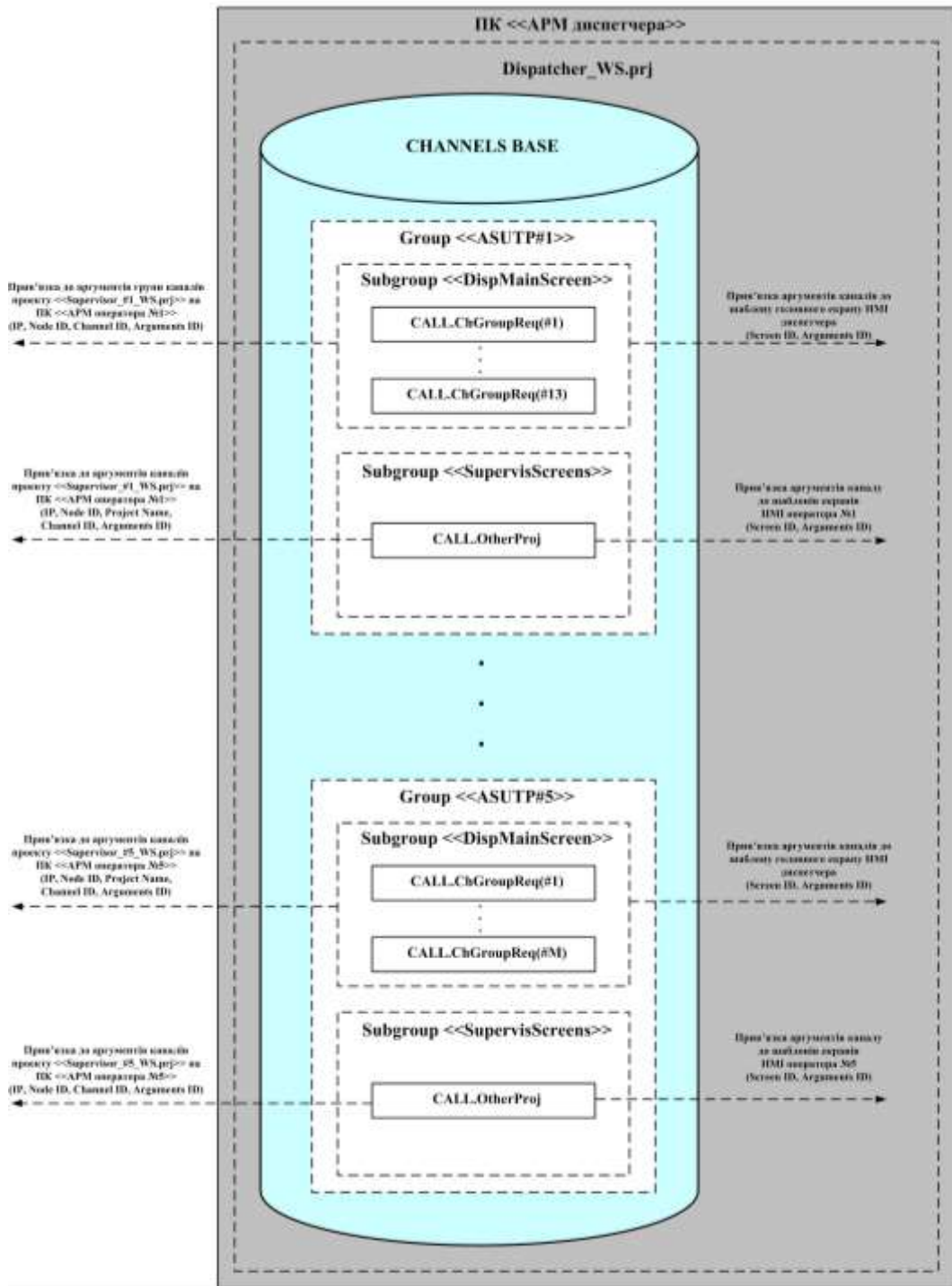


Рисунок 3.22 – Структура інформаційної бази НМІ диспетчера

Після виконання усіх описаних робіт для даного типу СА на стадії «Технічний проєкт» студент переходить до виконання проєктних робіт на стадії «Робочий проєкт». Основні проєктні роботи на цій стадії полягають у остаточній розробці інструментами «Siemens TIA Portal» прикладних програм для усіх технічних засобів даного екземпляру СА (контролерів та АРМ управлінців).

### 3.4 Висновки до розділу

В результаті виконання дослідницьких та проєктних робіт у даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи на основі архітектурного рішення нового НЗ був спроектований алгоритм виконання студентом на цьому НЗ як дослідження життєвого циклу типу СА, побудованої за концепцією «Індустрія 3.0», так і життєвого циклу екземпляру даної СА. Для кожного з цих досліджень обґрунтований перелік проєктних робіт, виконуваних студентом в рамках основних стадій відповідного життєвого циклу системи.

Був спроектований функціонал НЗ для дослідження життєвого циклу типу СА, побудованої за концепцією «Індустрія 3.0». Він включає функції концептуального, ескізного і технічного проєктування студентом типу конкретної СА. Такі проєктні роботи студент має виконувати під час лабораторних і практичних занять з дисципліни «Проєктування систем автоматизації» (бакалаврській рівень підготовки спеціальності 151), а також під час самостійної роботи.

Також був спроектований функціонал НЗ для дослідження життєвого циклу екземпляру СА, побудованої за концепцією «Індустрія 3.0». Він включає функції технічного та робочого проєктування студентом екземпляру конкретної СА на основі обладнання лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка» кафедри АІТ. Такі проєктні роботи студент має виконувати під час лабораторних і практичних занять з дисципліни «Стандарти та проєктування комп'ютерно-інтегрованих систем управління» (магістерський рівень підготовки спеціальності 174), а також під час самостійної роботи.



## **4 ПРОЄКТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛУ НЗ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ТИПУ ПРОМИСЛОВОЇ СА І4.0**

### **4.1 Визначення алгоритму виконання дослідження**

У попередньому розділі був спроектований функціонал нового НЗ, який дозволяє забезпечити тривалий процес навчального дослідження студентом життєвих циклів двох станів промислової СА, побудованої за концепцією І3.0, а саме, ЖЦ стану «тип СА за концепцією І3.0» (тип СА І3.0) та ЖЦ стану «екземпляр СА за концепцією І3.0» (екземпляр СА І3.0). Тепер спроектуємо необхідний функціонал нового НЗ для дослідження ще одного стану промислової СА, який був означений вище як стан «тип СА за концепцією І4.0» (тип СА І4.0).

Згідно з референтною архітектурною моделлю RAMІ 4.0 [1-3] цей життєвий цикл поділяється на дві укрупнені стадії - «Розробка» («Development») та «Обслуговування/Використання» («Maintenance/Usage»). Перша стадія такого ЖЦ, без сумніву, передбачає виконання певної послідовності проектних робіт для даного стану промислової СА. У попередньому розділі магістерської роботи була вже обґрунтована така послідовність проектних робіт в ході навчального дослідження студентом життєвого циклу типу СА І3.0 (див. рисунок 3.1). Така послідовність проектних робіт, виконуваних студентом, ґрунтується на рекомендаціях міждержавного стандарту «Інформаційна технологія. Комплекс стандартів на автоматизовані системи. Автоматизовані системи. Стадії створення» [20, 21], і складається з таких стадій:

1. Концепція СА.
2. Ескізний проєкт.
3. Технічний проєкт.

При цьому для навчального проєктування типу СА І3.0 були відкинуті такі обов'язкові стандартні стадії як «Формування вимог до СА» та «Технічне завдання», які обов'язково мають виконуватися перед початком основних проектних стадій. Це було зроблено тому, що вихідна інформація для початку процесу проєктування, яка у реальності формується саме на цих двох стадіях, у

навчальному проєктному практикумі вже надається студенту у готовому вигляді, наприклад, в індивідуальному завданні, що розробляє викладач (куратор практикуму).

Проте, для проведення навчального дослідження життєвого циклу типу СА І4.0, коли студент повинен спроектувати на основі рекомендацій концепції «Індустрія 4.0» новий тип системи, яка буде більш досконалою у порівнянні з попереднім її станом І3.0, вихідна інформація для початку проєктних робіт повинна надаватися не викладачем (куратором практикуму) у готовому вигляді, а формуватися в ході навчального дослідження самим студентом шляхом детального аналізу тих існуючих недоліків попереднього стану цієї системи, а саме стану «Тип СА І3.0».

Тому, враховуючи вказану особливість даного навчального дослідження, можна запропонувати для нового НЗ і відповідний оптимальний алгоритм виконання студентом дослідження життєвого циклу для типу СА І4.0, який показаний на рисунку 4.1.

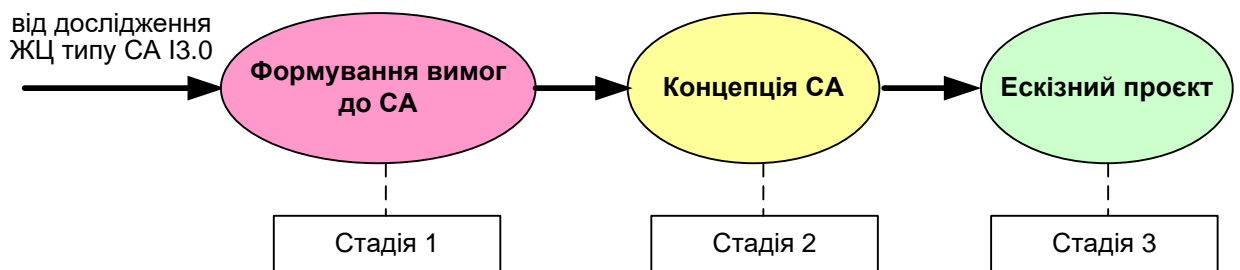


Рисунок 4.1 – Послідовність дослідження стадії «Розробка» ЖЦ типу СА І4.0

Першу стадію дослідження студент виконує в рамках самостійної роботи з дисципліни «Промисловий Інтернет речей» (перший курс магістерської підготовки), використовуючи при цьому ті результати технічного проєктування типу СА І3.0, які він отримав при виконанні попередніх навчальних досліджень на новому НЗ. В ході цієї стадії студент повинен проаналізувати існуюче рішення типу СА І3.0, порівнюючи його з рекомендаціями концепції «І4.0», і сформулювати вимоги щодо вдосконалення цього рішення до стану системи «Тип СА І4.0».

Результатом навчального дослідження, що студент проводить на другій стадії, є опис концепції побудови конкретного типу СА І4.0. На наступній стадії студент повинен деталізувати концептуальне рішення даного типу СА, довівши його, наприклад, до рівня архітектури ПЗ та структури технічної частини.

Розглянемо тепер детальніше першу стадію навчального дослідження, яка є такою, що передре основним проєктним стадіям, але є дуже важливою, бо її результат у великій мірі визначає якість та повноту проведення проєктних робіт на наступних стадіях.

Якщо прийняти до уваги суть виконання проєктних робіт в рамках даного навчального дослідження ЖЦ типу СА І4.0, то цей процес можна вважати процесом цифрової трансформації попереднього стану системи «Тип СА І3.0» у більш досконалий її стан «Тип СА І4.0» [32-36]. У світовій практиці процес цифрової трансформації промислових систем автоматизації виконується за певною стратегією (рисунок 4.2), що включає декілька обов'язкових стадій:

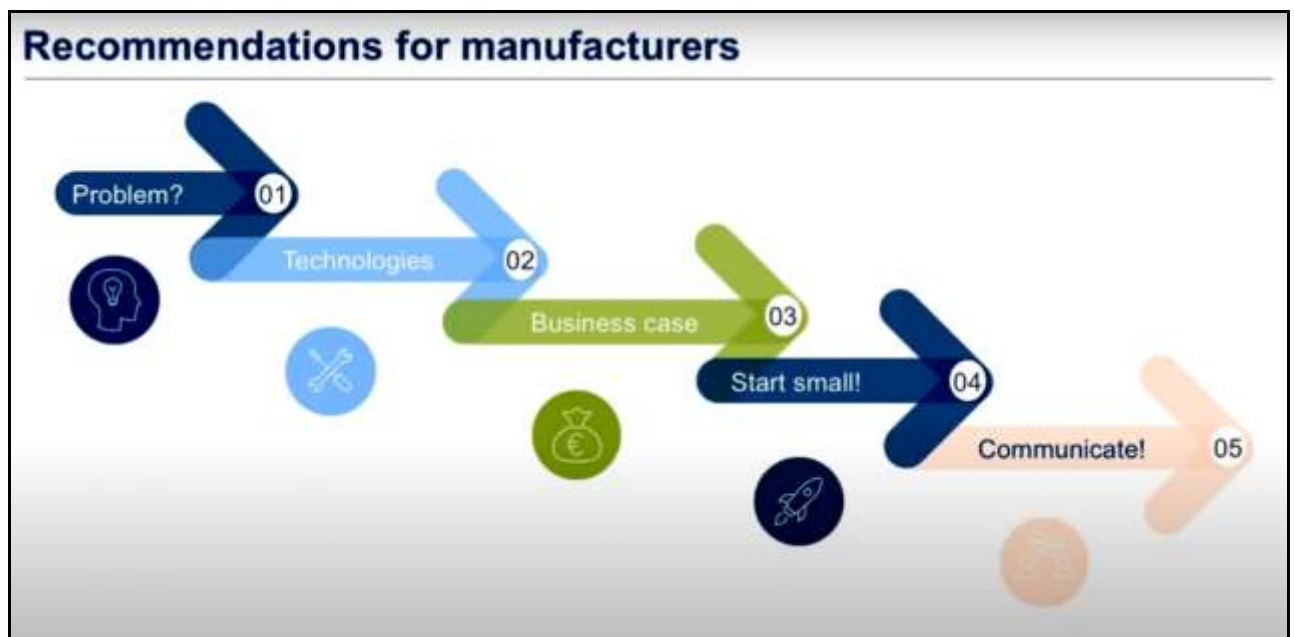


Рисунок 4.2 – Стратегія цифрової трансформації промислової СА

- виявлення проблеми існуючої промислової СА;
- вибір тих сучасних цифрових технологій, які здатні вирішити цю

проблему;

- розроблення бізнес-плану щодо потрібних інновацій у вдосконалення СА (у її цифрову трансформацію);
- виконання проєкту цифрової трансформації існуючої СА, його впровадження та отримання позитивного результату;
- оприлюднення для всіх працівників підприємства досягнутих позитивних результатів, що заохотить їх до виконання подальших кроків цифрової трансформації існуючої промислової СА.

Враховуючи позитивний світовий досвід застосування даної стратегії цифрової трансформації промислових СА, застосуємо її для розробки алгоритму виконання стадій навчального дослідження ЖЦ типу промислової СА І4.0.

Тоді загальний алгоритм процесу формування вимог до цього типу СА, що має виконуватися на початку процесу цифрової трансформації, буде виглядати так, як показано на рисунку 4.3 і в додатку Б.

На попередній стадії навчального дослідження життєвого циклу типу СА І3.0 студент має розробити повний комплект технічної документації даного типу СА, в результаті чого у студента сформується і повне уявлення про його будову та принцип дії.

На поточній стадії «Дослідження ЖЦ типу СА І4.0» студент поступово повинен формувати вимоги до цього типу СА шляхом порівняння властивостей вже існуючого технічного рішення типу СА І3.0 (будова та принцип дії, повний комплект технічної документації ) з властивостями цифрового «розумного» виробництва (з точки зору принципів його автоматизації). Аналізуючи далі результат такого порівняння, студент складає перелік тих недоліків існуючого рішення типу СА І3.0, які далі можна буде усунути шляхом впровадження в СА новітніх цифрових технологій і спроектувати вдосконалений тип СА І4.0.

Порівнювальний аналіз може виконуватися і за участі викладача, наприклад, при наданні студенту відповідних консультацій або у підготовці інформації про властивості цифрового «розумного» виробництва (у вигляді відповідних навчально-методичних матеріалів).

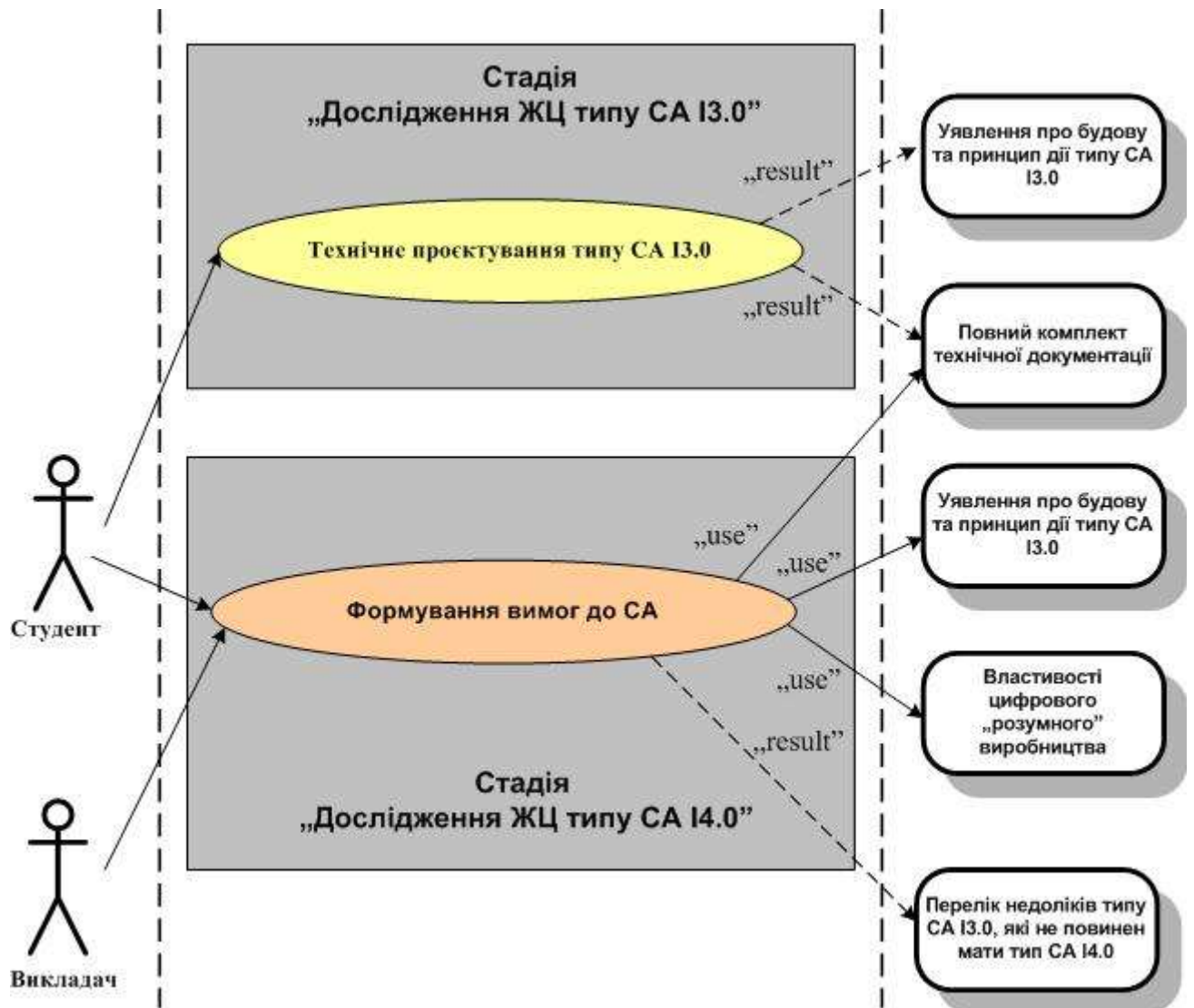


Рисунок 4.3 – Загальний алгоритм формування вимог до типу СА І4.0

Треба відмітити, що на сьогодні остаточно ще не сформоване визначення поняття цифрове «розумне» виробництво, де б перелічувались усі його основні властивості. Тому цю інформацію треба формувати шляхом відповідного дослідження предметної області такого виробництва. Таке дослідження має самостійно виконувати студент, бо це лише сприятиме кращому розумінню ним процесу цифрової трансформації. Проте, для економії часу студента готувати таку інформацію може і викладач, хоча це і зменшуватиме ефективність навчального проєктного практикуму студента. Результат дослідження властивостей цифрового «розумного» виробництва можна представити у вигляді відповідного переліку його основних властивостей (ознак).

Розробимо тепер алгоритм проведення студентом зазначеного вище аналізу властивостей існуючого рішення типу СА І3.0 у порівнянні з властивостями цифрового «розумного» виробництва, що вже автоматизоване на основі відповідного рішення типу СА І4.0.

Для такого аналізу можна спочатку врахувати ті основні бізнес-задачі цифрової трансформації, заради яких у світі здійснюється перехід економіки на рейки 4-ої промислової революції, тобто до цифрового «розумного» виробництва. Таких бізнес-задач є п'ять [32]:

- прискорити вивід нового продукту на ринок;
- збільшити безпеку й надійність виробництва;
- забезпечити високу гнучкість виробничого процесу;
- покращити якість готової продукції;
- збільшити ефективність виробництва.

Тому при аналізі існуючого рішення типу СА І3.0 студент може шукати відповіді саме на такі питання:

1). «Чи забезпечує існуючий тип СА І3.0 швидкий вивід нового продукту на ринок?».

2). «Чи забезпечує існуючий тип СА І3.0 високу безпеку виробництва (для працівників, для зовнішнього середовища)?».

3). «Чи забезпечує існуючий тип СА І3.0 високу надійність виробництва (окремих агрегатів та апаратів, технологічного та виробничого процесу в цілому)?».

4). «Чи має існуючий тип СА І3.0 високу гнучкість виробничого процесу (випуск широкого асортименту продукції)?».

5). «Чи забезпечує існуючий тип СА І3.0 високу якість продукції (які є джерела виникнення браку)?».

6). «Чи забезпечує існуючий тип СА І3.0 високу ефективність виробництва, тобто збільшення продуктивності та зменшення витрат?».

Кожна негативна відповідь на ці питання вважатиметься недоліком існуючого типу СА І3.0, а її усунення є вимогою до типу СА І4.0.

Можна запропонувати більш складний алгоритм виконання аналізу існуючого рішення типу СА ІЗ.0. В даному випадку це існуюче рішення треба буде розбити на складові компоненти, враховуючи фізичні вісі референтної моделі RAMІ 4.0, а після цього аналізувати кожний з цих компонентів так само, як і у попередньому випадку (рисунок 4.4 і в додатку Б).

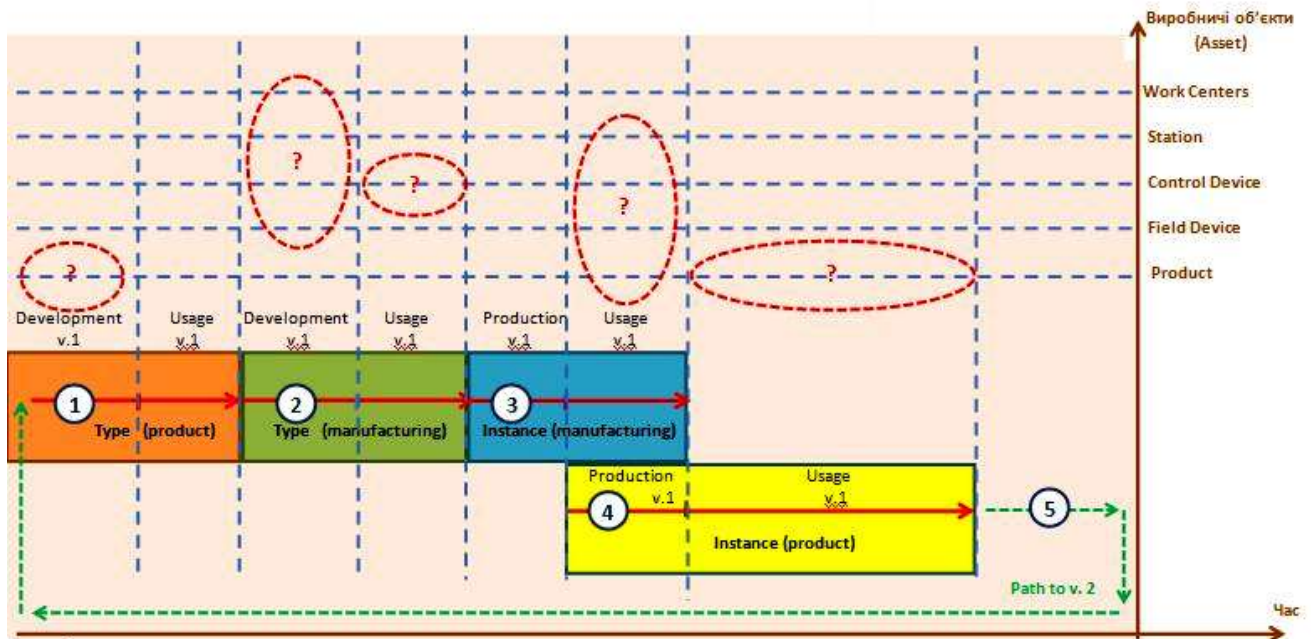


Рисунок 4.4 – Спосіб структурування існуючого рішення типу СА ІЗ.0

На цьому рисунку показані дві вісі моделі RAMІ 4.0 – вісь часу (Life Cycle @ Value Stream) та вісь виробничих об'єктів (Asset). Цифрами на рисунку позначено: «1» – життєвий цикл типу продукту версії 1, «2» – життєвий цикл типу виробництва версії 1 для виготовлення типу продукту версії 1, «3» – життєвий цикл екземпляру виробництва версії 1 для виготовлення екземплярів продукту версії 1, «4» – життєвий цикл екземпляру продукту версії 1, «5» – перехід до випуску оновленого продукту версії 2. Червоними еліпсами на рисунку показані області виділення окремих груп фізичних компонентів існуючого рішення СА ІЗ.0 для їх подальшого аналізу та порівняння за допомогою того ж самого списку контрольних питань (дивись вище), додавши до нього ще одне – «Чи забезпечує існуючий тип СА ІЗ.0 підтримку показаних на рисунку життєвих циклів?».

На рисунку 4.5 та в додатку Б наведений алгоритм виконання студентом стадії формування вимог до типу СА І4.0 шляхом ще більш детального аналізу існуючого рішення типу СА І3.0, що дозволяє виявити більшу кількість його недоліків.

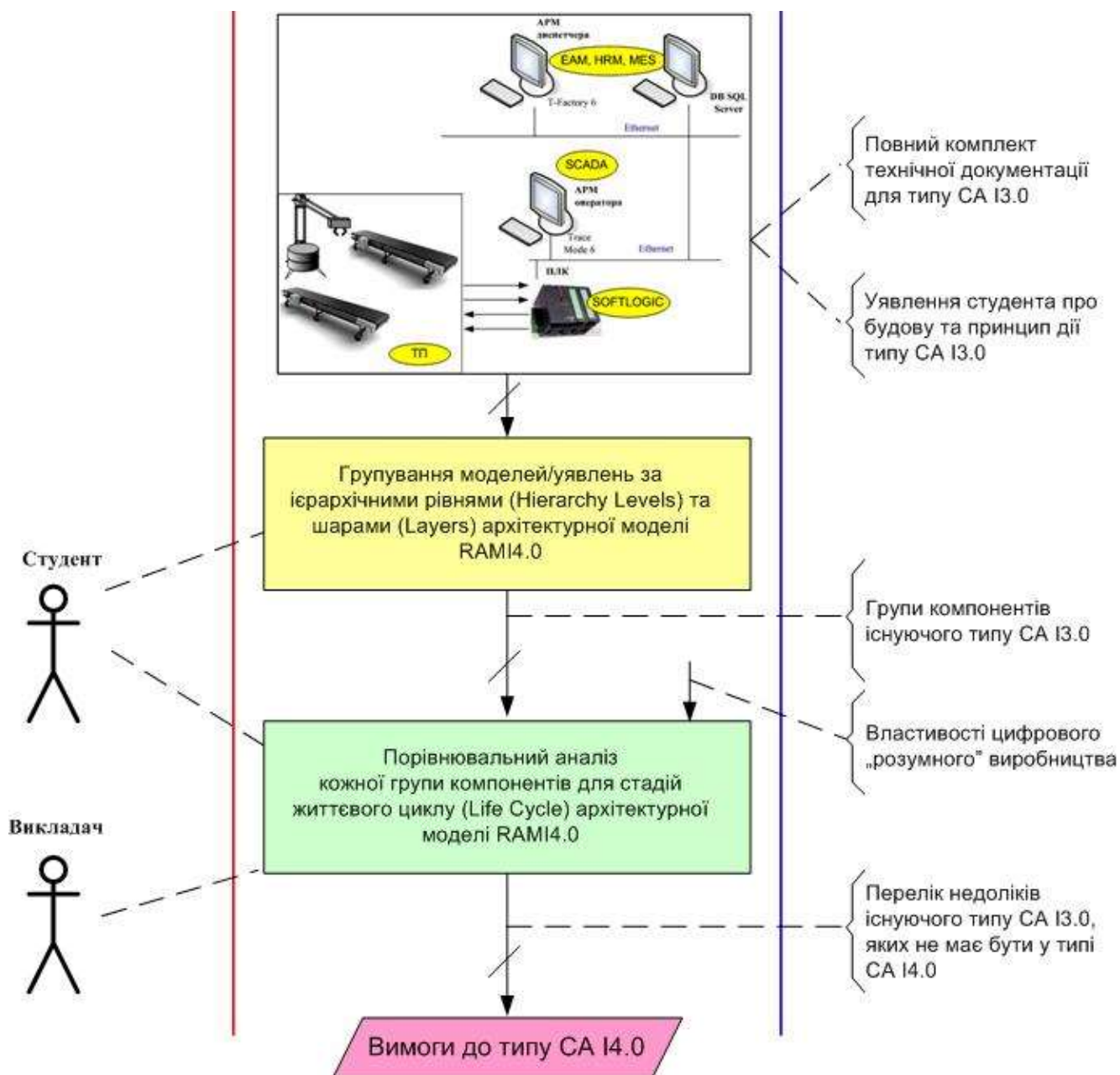


Рисунок 4.5 – Алгоритм поглибленого виконання студентом навчального дослідження на стадії «Формування вимог до СА»

Як видно з рисунку, такий алгоритм може виконуватися і за участі викладача (куратора практикуму).



Як було вже відмічено вище, студент починає виконувати дану стадію навчального дослідження, маючи вже готовий повний комплект технічної документації для типу СА ІЗ.0 та сформоване особисте уявлення про його будову та принцип дії. На першому етапі студент повинен згрупувати усі наявні в існуючому рішенні типу СА ІЗ.0 компоненти по двох висях архітектурної моделі RAMI4.0 – по вісі «Ієрархічні рівні» (Hierarchy Levels) та по вісі «Шари» (Layers). В результаті він отримає комплект з кількох груп компонентів існуючого рішення типу СА ІЗ.0, при цьому кожна з цих груп компонентів має своє функціональне призначення (роль) у даній СА. На наступному етапі студент послідовно розглядає кожний компонент у кожній з цих груп на різних стадій його життєвого циклу (Life Cycle) і для кожної з цих стадій виконує порівняння або властивості даного компоненту, або властивості, що цей компонент надає існуючому типу СА ІЗ.0, з відповідними властивостями цифрового «розумного» виробництва в цілому чи з властивостями його аналогічного компоненту (наприклад властивості компоненту «Керуючий пристрій» у типі СА ІЗ.0 порівнюється з рекомендованими властивостями такого ж самого компоненту «Керуючий пристрій» у СА цифрового «розумного» виробництва). В результаті такого ретельного аналізу усіх компонентів та їх груп у існуючому типі СА ІЗ.0 формується досить великий перелік недоліків цього типу СА, які легко перетворити у вимоги до типу СА І4.0, де цих недоліків не повинно бути.

#### 4.2 Приклад виконання стадії «Формування вимог до СА» для означення основних функцій НЗ

Розглянемо приклад використання запропонованого вище алгоритму поглибленого виконання студентом навчального дослідження на стадії «Формування вимог до СА» з метою окреслення тих функцій, які повинен забезпечувати новий НЗ. Візьмемо довільний фрагмент існуючого рішення типу СА ІЗ.0 для технічного процесу роботизованого пакування готової продукції (фаза 3 основного ТП реального виробництва хімічної продукції) [25]. Ізометрична

модель цього автоматизованого ТП показана на рисунку 4.6. Вона відображує виконання роботизованої технічної операції, яка полягає у знятті пакувальним роботом повної та закритої банки типу 1 чи 2 з конвеєра, коли ця банка досягає робочої зони робота. Такі банки до робота транспортний конвеєр переміщує з попереднього ТП дозування у тому порядку, як вони були поставлені на конвеєр його робочими.

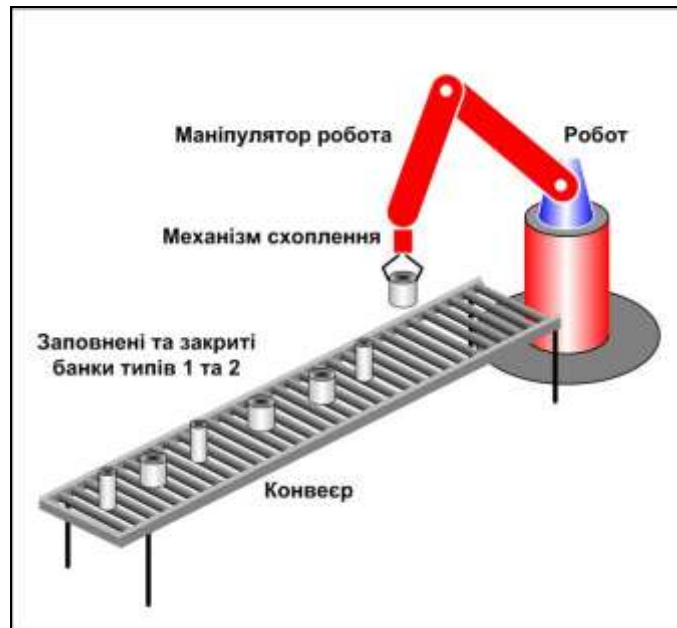


Рисунок 4.6 – Фрагмент реального ТП у існуючому рішенні для типу СА І3.0

Спочатку, згідно з описаним вище алгоритмом, виділимо усі складові компоненти даного фрагменту існуючого автоматизованого ТП – пакувальний робот, що здійснює дану технологічну операцію (Робот), маніпулятор пакувального робота, який забезпечує потрібний набір рухів (Маніпулятор робота), механізм, який забезпечує спроможність робота схоплювати і утримувати банки (Механізм схоплення), транспортний конвеєр автоматичної подачі банок до робочої зони робота (Конвеєр) та два типи готової продукції – повна та закрита банка типу 1 (Продукція\_тип 1) та повна та закрита банка типу 2 (Продукція\_тип 2). Тепер розподілимо ці компоненти по групах у відповідності з ієрархічними рівнями (Hierarchy Levels) моделі RAMI4.0, як це показано на рисунку 4.7.

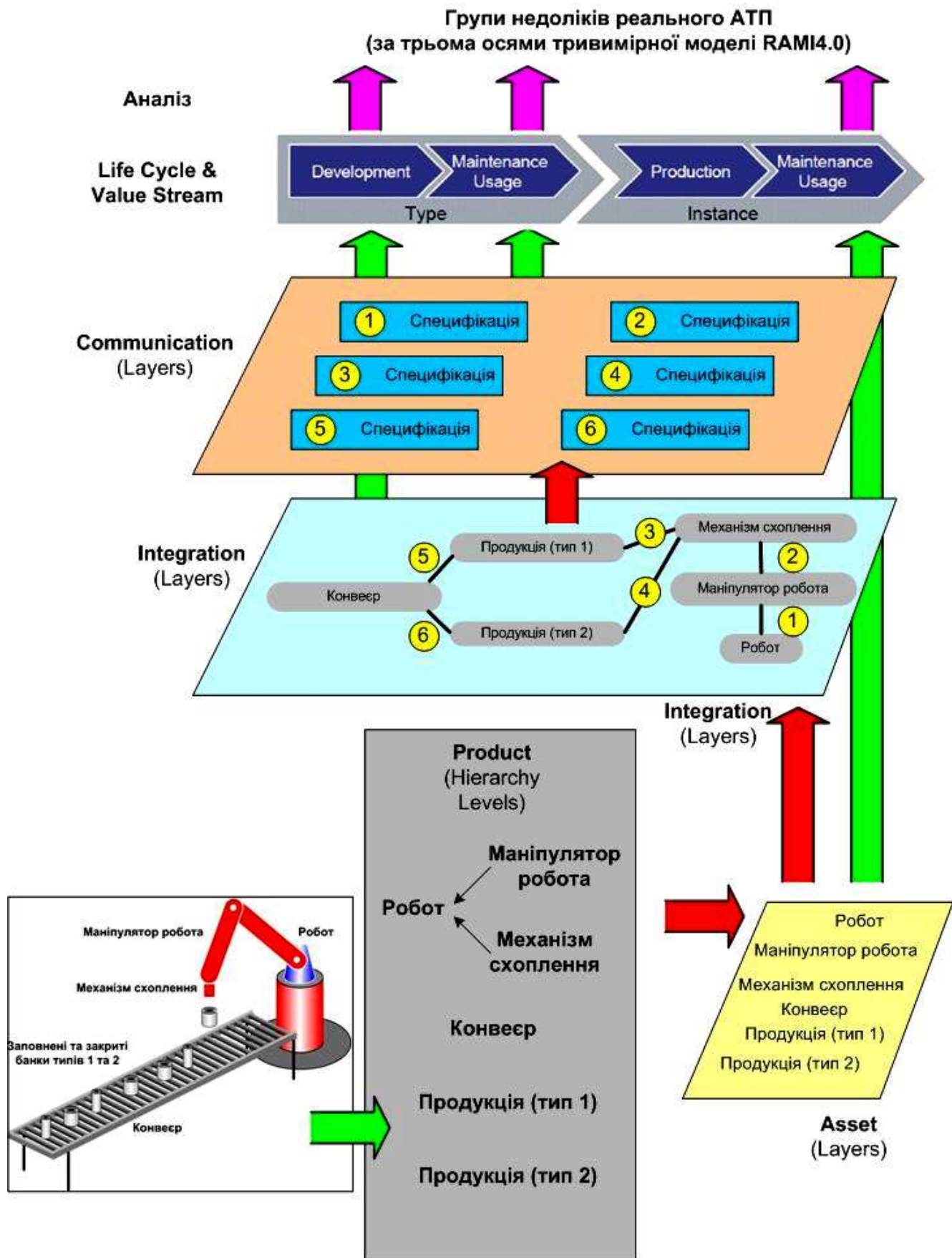


Рисунок 4.7 – Приклад виконання порівнювального аналізу для фрагмента реального ТП у існуючому рішенні типу СА І3.0

В нашому прикладі усі виділені вище компоненти відносяться до одного рівня – «Product» (продукція, виробниче встаткування та виробничі системи).

Далі переходимо до вісі «Layers» моделі RAMI4.0, означуючи на ній відповідні активи/ресурси існуючого рішення СА ІЗ.0, які важливі для ІТ - відображення будови СА. Тут треба відмітити, що для нашого прикладу, беручи до уваги саме навчальну мету цих дій, ми вказуємо у шарі «Asset» вісі «Layers» тільки ці шість компонентів з ієрархічного рівня «Product». Якщо б в нашому прикладі був присутній компонент рівня «Control Device», який, наприклад, керує транспортним конвеєром або роботом, то в шарі «Asset» ми повинні були означити ще і ті цифрові дані, які використовує цей пристрій управління. Проте, в нашому прикладі такого керуючого пристрою немає, тому і не потрібно в шарі «Asset» вказувати такий актив/ресурс як цифрові дані.

Переходимо далі по вісі «Layers» у шар «Integration». Тут можна означити ті об'єднання компонентів (інтеграційні зв'язки), які важливі для функціонування даного фрагменту існуючого рішення типу СА ІЗ.0. В нашому випадку важливі шість об'єднань вказаних компонентів:

– «Робот» та «Маніпулятор робота», що позначено як «1» (забезпечує потрібний ступінь свободи рухів);

– «Маніпулятор робота» та «Механізм схоплення», що позначено як «2» (забезпечує можливість заміни механізму у випадку кардинальної зміни типу продукції);

– «Механізм схоплення» та «Продукція (тип 1)», що позначено як «3» (забезпечує можливість надійного схоплення даного типу продукції та можливість адаптуватися до кардинальної зміни цього типу продукції);

– «Механізм схоплення» та «Продукція (тип 2)», що позначено як «4» (забезпечує можливість надійного схоплення даного типу продукції та можливість адаптуватися до кардинальної зміни цього типу продукції);

– «Конвеєр» та «Продукція (тип 1)», що позначено як «5» (забезпечує можливість розміщення на конвеєрі даного типу продукції та надійне її переміщення з заданою швидкістю, тобто без падіння та перекидання, до

пакувального робота;

– «Конвеєр» та «Продукція (тип 2)», що позначено як «б» (забезпечує можливість розміщення на конвеєрі даного типу продукції та надійне її переміщення з заданою швидкістю, тобто без падіння та перекидання, до пакувального робота.

Слід відмітити, що у реальному проектуванні у шарі «Integration» для СА І4.0 цифрового «розумного» виробництва повинні відобразитися зовсім інші об'єднання, а саме, інтеграція даної СА з віддаленими у мережі Інтернет іншими СА «розумного» виробництва або з засобами НМІ працівників. Тобто за визначенням модель RAMІ4.0 не призначена для опису існуючого рішення типу СА І3.0. Але ми, виходячи тільки з навчально-методичних міркувань, свідомо змінюємо призначення даного шару моделі RAMІ4.0 для того, щоб створити умови для подальшого виконання порівнювального аналізу існуючого рішення типу СА І3.0.

Тепер перейдемо у шар «Communication», де опишемо тим чи іншим способом властивості вказаних вище шести інтеграційних зв'язків – «1 Специфікація», «2 Специфікація», «3 Специфікація» і т.д.

В результаті всіх цих дій ми сформуємо такі групи компонентів існуючого рішення типу СА І3.0 для проведення їх аналізу у порівнянні з властивостями цифрового «розумного» виробництва:

– «Робот», «Маніпулятор робота», «Механізм схоплення», «Конвеєр», «Продукція (тип 1)» та «Продукція (тип 2)» (компоненти ієрархічного рівня «Product» існуючого рішення типу СА І3.0);

– «Робот», «Маніпулятор робота», «Механізм схоплення», «Конвеєр», «Продукція (тип 1)» та «Продукція (тип 2)» (компоненти шару «Asset» вісі «Layers» ІТ – представлення існуючого рішення типу СА І3.0);

– «1», «2», «3», «4», «5» та «6» (компоненти шару «Integration» вісі «Layers» ІТ – представлення існуючого рішення типу СА І3.0);

– «1 Специфікація», «2 Специфікація», «3 Специфікація», «4 Специфікація», «5 Специфікація» та «6 Специфікація» (компоненти шару

«Communication» вісі «Layers» IT – представлення існуючого рішення типу СА І3.0).

Проведемо далі порівнювальний аналіз властивостей компонентів кожної з цих груп для окремих стадій їх життєвого циклу, складаючи при цьому перелік недоліків існуючого рішення типу СА І3.0. Порівняння властивостей вказаних компонентів треба робити по відношенню до властивостей (ознак) цифрового «розумного» виробництва, сформованих з точки зору його автоматизації. Для прикладу у таблиці 4.1 наведений варіант переліку таких властивостей (ознак).

Таблиця 4.1 – Основні властивості (ознаки) цифрового «розумного» виробництва» І4.0

Ознака	Коротка характеристика
1	2
<b>Економічні ознаки (бізнес-ознаки)</b>	
Висока виробнича ефективність (КПЕ)	Конкуренція й споживчий попит впливають на показники ефективності та продуктивності виробництва. Одне з "простих" рішень підвищення ефективності – ощадливе виробництво, або швидкий вивід нової продукції на ринок. Більш складні рішення – зниження ризиків, удосконалювання процесів і прогнозування показників продуктивності за допомогою об'єднання потужних можливостей віртуального середовища й реального світу, де люди використовують машини для трансформації виробництва. Тобто для безперервного вдосконалювання виробництва потрібна постійна його оптимізація. При цьому недостатньо самого прагнення до безперервного вдосконалювання, а необхідні ресурси й технології для досягнення цієї мети.
Нові бізнес-моделі управління виробництвом	Засновані на тім, що цінність визначається не тільки самим виробом, але й знаннями й ноу-хау, які пов'язані із цим виробом. Успішними стають ті компанії, які оперативно впроваджують знання й ноу-хау серед своїх співробітників і в ланцюжках створення цінності. При цьому ці ланцюжки мають розгортатися у мережі, які об'єднуюватимуть можливості реального й віртуального світів для розробки, впровадження й спільного використання стійких інновацій, а також для безперервного вдосконалювання цих можливостей за допомогою аналітики користувальницького досвіду (горизонтальна інтеграція структурної моделі бізнесу – value networks).

Продовження таблиці 4.1

1	2
Висока якість продукції	Комплексне управління якістю в реальному часі в масштабі всього підприємства. Цифрова підтримка забезпечення якості, відстеження й доступу до історичних цифрових даних про деталі, процеси й ресурси. 3. Забезпечення швидких дій по усуненню неполадок і проблем з якістю.
<b>Технічні/функціональні ознаки</b>	
Цифрова виробнича система	Поєднує обладнання, системи, площадки, клієнтів і партнерів. В ній зібрані цифрові дані про розробку, навчання, виготовлення й торгівлю. Вона охоплює всі галузі економіки й суспільства. Цифровізація – це засіб одержання бажаного результату, а саме гнучкого виробництва, що приносить клієнтам відмінний результат, а власникам – більш високий прибуток. Наприклад, аналіз цифрових даних (поточних чи накопичених в системі) алгоритмами штучного інтелекту (AI) веде до поглиблення знань про виробничу систему та, як наслідок, до її подальшого вдосконалення.
Віртуалізація виробничого середовища	Віртуальне виробниче середовище, як правило, створюється й управляється на основі інфраструктури спеціальної віртуальної платформи. Ця інфраструктура дозволяє візуалізувати і контролювати у віртуальному середовищі те, що неможливо фізично побачити в реальному світі, - єдину промислову екосистему. При цьому новітні цифрові технології забезпечують можливість ефективної роботи у віртуальному виробничому середовищі.
Абсолютна гнучкість виробничих процесів	Споживчий попит може раптово змінитися, нові технології миттєво стають революційними і тому виробничі процеси повинні бути більш гнучкими й такими, що налаштовуються у відповідності зі змінами. При цьому оперативність - локальна або глобальна - стає вкрай важливою. Наприклад, швидкий вивід нової продукції на ринок є запорукою отримання максимальних прибутків. Знання типових потреб користувача й можливість адаптації до них продуктів і потоків операцій у реальному часі дають чимало переваг.
Децентралізація (Decentralization)	Перенесення децентралізованого та автономного прийняття рішень до машин та кіберфізичних систем, в тому числі, і до автономних системних елементів (модулі, системи обробки матеріалу та продукту), що розміщені де завгодно на рівні виробництва. Головною метою є надати кіберфізичним системам можливість приймати рішення без втручання централізованого управління (людини чи машини).

Продовження таблиці 4.1

1	2
Здатність до взаємодії (Interoperability)	Означає можливість розповсюдження технічної інформації поза (або між) системними компонентами «розумного виробництва». Така бізнес інформація може бути далі розповсюджена між виробничими підприємствами, постачальниками та покупцями (споживачами). Таким чином, «розумне виробництво» повинно легко підключатися до глобальної мережі аналогічних виробничих систем та цифрових ланцюгів поставок.
Висока стійкість (надійність)	Розвинені функції раннього попередження аварійних/нештатних виробничих подій та й прогнозного обслуговування виробничих активів.
Здатність до безперервної й нескінченної самооптимізації	Розвивається з метою адаптації до змінюваних бізнес-цілей організації. Наприклад, впроваджує адитивне виробництво, яке дає можливість самостійно виробляти унікальні компоненти й деталі, з меншими витратами. Кіберфізичні системи (Cyber-physical systems, CPS) відіграють ключову роль в цій постійній зміні технології і процесу. Вони надають додаткових можливостей фізичним системам завдяки злиттю можливостей комп'ютерних обчислень і зв'язку з фізичними процесами. Наприклад, вони дають можливість реалізувати у фізичному світі значно складніші виробничі процеси.
Функціональна безпечність	У міру усе більш широкого впровадження нових технологій і мереж, все більшої інтеграції розумних підприємств, все більшого значення набуває високий рівень кібернетичної безпеки «розумного» виробництва.
<b>Соціальні/суспільні ознаки</b>	
Новий характер людської праці	Щоб використовувати весь потенціал Індустрії 4.0, необхідні зміни на ринку праці відповідно до мінливих вимог і, як результат, у концепціях навчання, тому що саме люди - ключовий фактор успіху. Конвергенції інформаційних (ІТ) і операційних технологій (ОТ) вимагає наявності висококваліфікованих фахівців – системних інтеграторів, які здатні продемонструвати свої уміння та знання в конкретних аспектах «підключеного підприємства». Хоча Industry 4.0 замінює більшість робочих місць автоматизацією, проте, вона також і створює багато робочих місць, але з іншим характером праці.
Екологічна безпечність	Скорочення кількості браку й відходів, що сприяє екологічно безпечнішій діяльності підприємства. Застосування більш екологічно безпечних процесів, що оптимально споживають енергоресурси й зменшують забруднення навколишнього середовища



Продовження таблиці 4.1

1	2
Ергономічна безпечність	Повне усунення людської праці з небезпечних та тяжких процесів виробництва; надання працівникам вдосконалених засобів захисту від дії небезпечних виробничих факторів, комплексного моніторингу середовища та попереджувальної сигналізації.
Принципово нові продукти (продукція)	Створення та швидкий вивід на ринок товарів, що використовують або нові технології (літаючі такси, окуляри доповненої реальності), або вдовольняють новим потребам користувачів (електричні автомобілі, цифрові екскурсоводи, цифровий метавесвіт), або вимагають використання при виготовленні нових технологій (3D-принтери металом або цифрове моделювання процесів).

Далі для прикладу наведемо тільки окремі з виявлених недоліків існуючого рішення типу СА І3.0.

Спочатку розглянемо компоненти «Робот», «Маніпулятор робота» та «Механізм схоплення» рівня «Product» існуючого рішення типу СА І3.0. Порівнюючи їх для стадії використання (Usage) життєвого циклу можна виявити, що у порівнянні з властивістю/ознакою «Цифрова виробнича система» для І4.0 вони мають такий недолік – не обладнанні потрібними цифровими датчиками діагностики їх стану у реальному часі, що унеможлиблює своєчасне проведення профілактичних чи ремонтних робіт, а також прогнозування можливих збоїв у їх роботі.

Якщо ж розглянути ті ж самі компоненти «Робот», «Маніпулятор робота» та «Механізм схоплення», але тепер у шарі «Asset» вісі «Layers» ІТ – представлення існуючого рішення типу СА І3.0, то для стадії проектування (Development) їх життєвого циклу можна виявити, що у порівнянні з властивістю/ознакою «Віртуалізація виробничого середовища» для І4.0 вони мають такий недолік – при проектуванні пакувального робота та його частин не використовувались цифрові моделі цих компонентів, що не дало змоги далі моделювати дії робота в режимі реального часу з прив'язкою до віртуального виробничого середовища, оптимізуючи ці дії або пристосовуючи їх до різних

типів готової продукції на транспортному конвеєрі.

Далі, розглянувши інтеграційний зв'язок цих трьох компонентів, що відображений у шарі «Integration» вісі «Layers» IT – представлення існуючого рішення типу SA I3.0, то для стадії використання (Usage) життєвого циклу та у порівнянні з властивістю/ознакою I4.0 «Абсолютна гнучкість виробничих процесів» вони також характеризуються суттєвим недоліком – не мають модульну конструкцію для легкої та швидкої їх заміни при впровадженні на підприємстві кардинальної зміни або самого процесу пакування, або типу готової продукції, або виду тари, у яку ця продукція має пакуватися. У певній мірі цей недолік є наслідком попереднього виявленого недоліку для стадії проектування цих компонентів, а саме, відсутність їх цифрових моделей та неможливість відповідного імітаційного моделювання дій робота у різних виробничих ситуаціях.

Якщо ж розглянути тепер такі компоненти як «Конвеєр», «Продукція (тип 1)» та «Продукція (тип 2)», то для стадії проектування (Development) їх життєвого циклу можна виявити, що у порівнянні з властивістю/ознакою «Віртуалізація виробничого середовища» для I4.0 вони також мають той недолік, що при їх проектуванні не використовувались цифрові моделі цих компонентів, що не дає змоги далі моделювати, наприклад, переміщення готової продукції транспортним конвеєром на різних швидкостях, виявляючи при цьому умови, при яких продукція або зміщується на стрічці конвеєра, або перекидається, або взагалі падає з конвеєра. Цей недолік можна було б виявити і при порівнянні існуючого рішення типу SA I3.0 з властивістю I4.0 «Абсолютна гнучкість виробничих процесів», тому що відсутність цифрових моделей при проектуванні нових типів продукції не дає можливість перевірки спроможність вже встановленого обладнання (транспортний конвеєр, пакувальний робот) взаємодіяти з цією новою продукцією, а значить при переході на нову продукцію можуть виникнути непередбачувані проблеми в ході наладки нового виробничого процесу.

Усі перелічені недоліки конкретного фрагменту існуючого рішення типу SA I3.0 насправді складають невелику частку тих недоліків, які можна було б виявити шляхом ретельного порівнювального аналізу усіх його компонентів за

описаним вище алгоритмом. Тобто навчальний потенціал даної стадії навчального дослідження є дуже значним.

#### 4.3 Функціонал НЗ для дослідження ЖЦ типу промислової СА І4.0 в ході основних проєктних стадій

Як було визначено вище, в ході навчального дослідження життєвого циклу типу СА І4.0 студент за допомогою нового НЗ повинен послідовно виконувати дві такі проєктні стадії – «Концепція СА» та «Ескізний проєкт» (див. рисунок 4.1).

На першій з цих стадій студент, враховуючи виявлений недолік існуючого рішення типу СА І3.0, має запропонувати своє загальне бачення (концепцію) вдосконаленого типу СА, побудованого за вимогами концепції «Індустрія 4.0, який не буде мати цього недоліку. Розробка концепції зазвичай не передбачає використання якогось спеціального промислового ПЗ, тобто в нашому випадку на цій стадії недоречно використовувати функціонал інженерного ПЗ «IDE Siemens TIA Portal», яке лежить в основі архітектури нового НЗ (див. розділ 2). Проте при розробці загального бачення (концепції) побудови типу СА І4.0 студент повинен орієнтуватися саме на наявний функціонал інженерного ПЗ «IDE Siemens TIA Portal», щоб на наступних проєктних стадіях використовувати цей функціонал у проєктних рішеннях.

Для прикладу виконання стадії «Концепція СА» на новому НЗ візьмемо в якості вихідних даних один з недоліків існуючого рішення типу СА І3.0, який виявлений у попередньому прикладі. Так, при аналізі компонентів «Робот», «Маніпулятор робота» та «Механізм схоплення» рівня «Product» існуючого рішення типу СА І3.0 у порівнянні з властивістю/ознакою «Цифрова виробнича система» для І4.0 вони мають такий недолік – промислове устаткування не обладнане потрібними цифровими датчиками діагностики їх стану у реальному часі, що унеможливує своєчасне проведення профілактичних чи ремонтних робіт, а також прогнозування можливих збоїв у їх роботі.

Запропонуємо тепер можливе концептуальне рішення для типу СА І4.0,

яке усуне цей недолік існуючої системи автоматизації. Для подальшої реалізації цього концептуального рішення за допомогою інженерного ПЗ «IDE Siemens TIA Portal» виберемо з переліку його функцій ті, які можуть бути нам корисними для нового типу СА. Повний огляд функціоналу «IDE Siemens TIA Portal» був зроблений у підрозділі 2.1 даної магістерської кваліфікаційної роботи. Так, на наш погляд, до таких потенційно корисних функцій інженерного ПЗ можна віднести наступні.

Функція «Комплексна діагностика машин і устаткування», або «SIMATIC Pro Diag», яка забезпечує у «Siemens TIA Portal»:

- моніторинг у типах даних ПЛК;
- впровадження нових іконок для інтуїтивно зрозумілої навігації;
- введення у функції фільтра;
- введення «спеціальних текстових полів», що редагуються;
- адресація текстових списків у користувальницькій програмі.

«SIMATIC Pro Diag» - це повністю інтегроване рішення для діагностики машин і устаткування. Воно усуває необхідність програмування процедур діагностики в центральному процесорі (ЦП) ПЛК на етапі проектування й забезпечує підтримку при пошуку й усуненні несправностей за допомогою НМІ.

Функція «Підключення до Mind Sphere», або «TIA Portal Project Server and Multiuser», яка у «Siemens TIA Portal» забезпечує:

- зберігання локальних сесій на мережних дисках;
- розширення експорту й імпорту на сервер проєкту «TIA Portal»;
- розширення підтримки відкритості;
- багатокористувальницьке введення в експлуатацію (асинхронне введення в експлуатацію);
- скорочений час завантаження;
- фонове завантаження блоків програми F.

Функція «Аналіз стану й оцінка енергоефективності машин», або «Mind Connect Nano/IOT 2040/FB 1500», дозволяє за рахунок використання «Mind Sphere», хмарної відкритої операційної системи IOT від Siemens, зв'язувати

продукти, фабрики, системи й машини й, таким чином, використовувати переваги передових методів аналізу виробничих даних через хмару.

Функція «Мобільне управління й моніторинг, що незалежне від пристрою», або «SIMATIC WinCC/WebUX», була розроблена для незалежного від пристроїв використання - на смартфонах, планшетах, ПК і інших мобільних пристроях, де встановлений браузер з підтримкою HTML 5. Для використання «WebUX» не потрібне установлення функції на боці клієнта.

Такий гнучкий доступ до даних процесу й установки розширює стандартну диспетчерську. Це також дає користувачам можливість тільки контролювати або тільки працювати, залежно від області застосування. Індивідуальний доступ до виробничих даних дає користувачам швидку, недорогу й цільову інформацію про усі дані, що необхідні для їхнього підприємства.

Переваги даної функції такі:

- керування й моніторинг оператора мобільного зв'язку по усьому світі з використанням всіх наявних у продажі мобільних пристроїв;
- гнучкий вибір пристроїв і браузерів;
- цілодобовий гнучкий он-лайн-доступ по усьому світі, 365 днів у році;
- безпечний зв'язок через сертифікати HTTPS і SSL;
- інтегроване управління користувачами з індивідуальними правами доступу для моніторингу або роботи;
- відсутність установки й обслуговування кінцевих пристроїв (клієнтів);
- короткий час виходу на ринок, тому що не потрібно додаткового налаштування, що займає багато часу;
- єдиний зовнішній вигляд;
- немає початкових витрат, тому що клієнт моніторингу включений у базовий пакет «WinCC»;
- сервер «WinCC» і мобільні клієнти не обов'язково повинні мати ту саму версію.

Функція «WinCC/WebUX» може використовуватися у всіх галузях промисловості, у тому числі для підтвердження аварійних повідомлень при

обслуговуванні, для моніторингу важливих виробничих даних з метою забезпечення якості або для спонтанного перегляду ключових виробничих показників при управлінні. Таким чином, «WinCC/WebUX» задовольняє зростаючу потребу користувачів у можливості віддаленого моніторингу процесів через Інтернет і втручання в ці процеси. Опція «WinCC/WebUX» поставляється з базовою системою «WinCC». Ніякої додаткової установки на клієнтські пристрої не потрібно, повинен бути лише звичайний браузер. «WinCC/WebUX» надає безпечне рішення для управління й моніторингу системи автоматизації з боку мобільного оператора, яке незалежне від пристрою й наявного браузера. Опції «WinCC/WebUX» і «WinCC/Web Navigator» доповнюють один одного й можуть використовуватися одночасно.

Функція «Аналіз стану й оцінка енергетичної ефективності машин», або «S7 Energy Efficiency Monitor», виконує аналіз енергетичних даних на основі умов в «Siemens TIA Portal». Це дозволяє виробникам машин автоматично переносити дані про ефективність своїх машин у документ про приймання й дозволяє операторам ТП вести огляд енергоспоживання машини під час закупівель і в процесі експлуатації. Довгострокова оцінка декількох машин можлива через інтегрований інтерфейс до «SIMATIC Energy Manager PRO»

Функція «Створення сучасних проектів НМІ і функціональна філософія управління» (рисунок 2.3). Шаблони в функції «HMI Template Suite» надають інструменти, необхідні для створення власного рішення НМІ на основі концепції управління, розробленої в співробітництві з експертами по користувальницькому інтерфейсу. Результатом є бібліотека «Siemens TIA Portal», яка підтримує процес його налаштування із широким вибором варіантів робочих екранів, діалогових вікон і повідомлень.

Функція «HMI Template Suite» має модульну архітектуру й може використовуватися з «WinCC Basic / Comfort» і «WinCC Unified» без яких-небудь попередніх знань.

Функція «Одночасна розподілена робота кількох операторських станцій SCADA». Багатокористувальницька система розгортається щораз, коли необхідно

контролювати той самий процес на декількох операторських станціях. Для забезпечення такого рішення служить функція «WinCC Server/ WinCC Client».

Її сервер надає підключеним клієнтам дані процесу й архівні дані, повідомлення, зображення й журнали. Результати дії оператора на одній операторській станції (наприклад, зміна значення або підтвердження повідомлення) негайно доступні всім іншим операторським станціям.

Переваги даної функції такі:

- інтегрована масштабованість від однокористувальницької системи до рішення клієнт/сервер;
- економічне рішення для додатків SCADA підвищеної складності;
- конфігурація розподілених операторських станцій без особливих зусиль.

Сервер установлює з'єднання із системою автоматизації, забезпечує зв'язок і координацію клієнтів, а також виконує все архівування в інтегрованій базі даних «Microsoft SQL». Клієнти «WinCC» прямо звертаються до даних конфігурації сервера. Права доступу використовуються для визначення функцій або розділів установки, доступних користувачеві на операторській станції. Настроєні авторизації залежать від користувача, а не від комп'ютера.

Функція «Реєстрація значень процесів і аварійних сигналів». Реєстрація даних процесу й аварійних сигналів за допомогою функції «WinCC Logging» підтримує збір і обробку даних процесу із промислового підприємства або машини. Потім оцінка зареєстрованих даних процесу надає інформацію про робочий стан під час промислового процесу (виробництво, обробка, процедура й т.д.). послідовності процесів можуть бути задокументовані, використання виробничих потужностей або якість продукції можуть бути відстежені, а також можуть бути надані докази повторюваних несправностей.

Переваги даної функції такі:

- раннє виявлення небезпек і несправностей;
- запобігання простоїв завдяки прогнозній діагностиці;
- підвищення якості продукції й продуктивності за рахунок регулярної оцінки.

Реєстрація значень процесу: значення із зовнішніх і внутрішніх тегів можуть бути збережені в журналах значень процесу. Можна вказати журнал, у якому буде зберігатися кожний тег. Настроєні цикли реєстрації служать для забезпечення безперервного збору й зберігання значень. Ці налаштування можуть бути виконані для кожного тегу індивідуально.

Реєстрація аварійних сигналів «SIMATIC WinCC Logging» також дозволяє реєструвати аварійні сигнали й документувати робочий стан помилок промислового підприємства. Всі тривоги (аларми) у класі тривог (алармів) зберігаються в одному журналі тривог (алармів), що в основному дозволяє призначати той самий журнал декільком класам тривог (алармів). Реєстрація аварійних сигналів може бути автоматичною або керованою оператором.

Вид тренда, що налаштовується, може бути використаний для відображення й аналізу реєстрованих значень процесу при налаштуванні екранів. Зчитування значень полегшується рядком читання.

Функція «Віддалене управління оператором і моніторинг «SIMATIC HMI», або «WinCC Smart Server», дозволяє оператору віддалено управляти й контролювати системи «SIMATIC HMI» через Industrial Ethernet або через Інтранет/Інтернет. Операторам доступні прості механізми зв'язку клієнт/сервер.

Переваги даної функції такі:

- розподілені операторські станції для управління великими машинами, розташованими на великій площі;
- гнучке рішення для доступу до операторських станцій з будь-якого місця;
- персоналу по обслуговуванню й ремонту надається глобальний доступ до машин і установок.

Завдяки концепції «Smart Client» станція може зробити свої екрани доступними для іншої станції. Крім того, можна настановити повноцінну координовану консоль оператора, при якій тільки одна станція має право працювати в будь-який момент часу. В залежності від базового устаткування до п'яти клієнтів можуть одночасно поставлятися оновленими екранами процесів



(для ПК; максимум три клієнти для панелей). Управління фізично розподіленими машинами й установками стає простішим, тому що з концепцією «Smart Client» операторські станції можуть бути налаштованими таким чином, що оператор може управляти й контролювати з різних місць, при цьому потрібно тільки один раз їх настроїти. Для віддаленого управління оператором і моніторингу панелей «SIMATIC» або «WinCC Runtime Advanced», досить стандартного браузера, що дає користувачам доступ до місцевого операторського пристрою через HTML-сторінки операторських станцій. Якщо використовується «Smart Client Viewer», то він відображає не тільки вибраний екран, але й макет локального пристрою. Це дозволяє нормально працювати з панеллю оператора.

Функція «Паралельне управління й моніторинг оператора через Інтернет», або «SIMATIC WinCC Web Navigator», дозволяє постійно контролювати підприємство через Інтернет або Інтранет компанії без необхідності змінювати проєкт «WinCC». На додаток до типового використання в WAN (глобальні мережі) можуть бути реалізованими і недорогі додатки, наприклад, в областях із сильно децентралізованою структурою (водопостачання / водовідведення) або в областях зі спорадичним доступом до інформації про процес (управління будинками). Веб-клієнти також можуть використовуватися як звичайні операторські станції в локальній мережі.

Переваги даної функції такі:

- паралельне управління й моніторинг через Інтернет («MS Internet Explorer»);
- інтегрована конфігурація й управління користувачами / авторизація доступу;
- швидка частота відновлення, наприклад, після зміни значення, зміни екрана;
- мінімальні витрати на обслуговування завдяки централізованому адмініструванню програмного забезпечення;
- високі стандарти Інтернет-безпеки;
- віддалений моніторинг за допомогою безпечного додатка «WinCC Web

Viewer»;

– гнучкі рішення тонких клієнтів для різних платформ (ПК, локальна панель, мобільний КПК);

– ефективна віддалена діагностика за допомогою сервера.

«Web Navigator» можна використовувати для реалізації Веб-рішень. Використовуючи браузер, проєктом «WinCC» можна управляти й відслідковувати його з будь-яких комп'ютерів «Windows», відомих як клієнти «Web Navigator», через Інтранет або Інтернет. Доступ до декількох Веб-серверів і підприємств можна одержати одночасно за допомогою декількох вкладок. Всі операторські Веб-сторінки інтегровані в систему управління користувачами заводу/підприємства. «Web Navigator» підтримує все зазвичай використовувані механізми ІТ - безпеки, такі як маршрутизатори, брандмауери, проксі-сервери шифрування SSL і технології VPN, а також вихід із системи після закінчення хаданого користувачем періоду часу й відключення комбінацій клавіш. ПК із «Windows» з меншою продуктивністю, захищені локальні пристрої (наприклад, тонкі клієнти «SIMATIC») і мобільні клієнти (КПК - персональні цифрові помічники) можуть бути підключені через рішення для тонких клієнтів з «Microsoft Terminal Services». Компанія «Siemens» пропонує надійні промислові тонкі клієнти «SIMATIC» як операторські термінали із широкоформатними сенсорними дисплеями з високим вирішенням. Вони оптимально підходять для використання в суворих промислових умовах.

Клієнт «Web Diagnostics» був розроблений для обслуговування широко розповсюджених підприємств. Він надає обслуговуючому персоналу безпечний доступ до будь-якої кількості підприємств, на яких є сервери «Web Navigator».

Як з'ясувалось, набір потенційно корисних функцій інженерного ПЗ «Siemens TIA Portal» виявився дуже солідним. Проте деякі з цих функцій є інтегральними, тобто об'єднують в собі інші перелічені функції або їх окремі опції. Загальною рисою цих функцій є те, що їх сукупна дія спрямована на забезпечення великого потоку цифрових даних з рівня виробничого устаткування через різного роду мережі до єдиного центру їх оброблення, реалізованого або на граничному сервері підприємства «Industrial Edge», або на хмарному сервері з ОС

«Mind Sphere». Усі програмні додатки, що обробляють цей потік цифрових даних, реалізуються на тому чи іншому сервері, а результати оброблення цифрових даних передаються до різноманітних клієнтів системи через різні відкриті протоколи та на різні пристрої відображення інформації.

Тому можна сміливо запропонувати таке концептуальне рішення для типу СА І4.0, яке показано на рисунку 4.8.

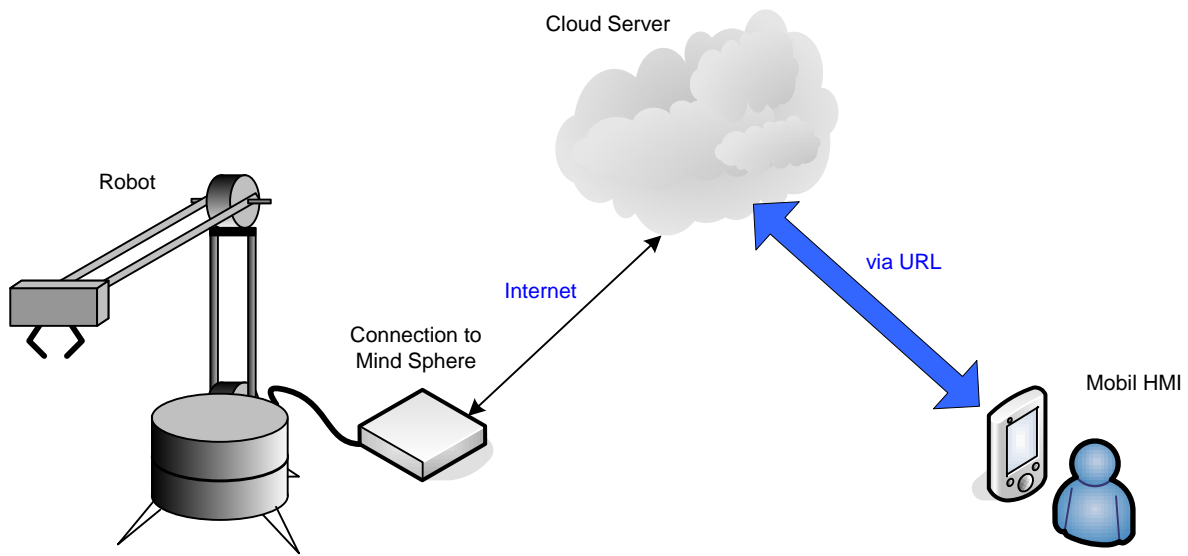


Рисунок 4.8 – Система віддаленого моніторингу промислового робота

Така система використовує пристрій відображення результатів оброблення цифрових даних у вигляді мобільного телефону з відповідним користувацьким інтерфейсом. Контролер промислового робота підключається через Інтернет до користувацького програмного додатка, реалізованого на хмарному сервері з ОС «Mind Sphere». Для доступу до цього додатка в контролері робота реалізована функція «Підключення до Mind Sphere». Мобільний користувацький інтерфейс для відображення результатів обробки цифрових даних від робота розроблений за допомогою функції «HMI Template Suite». А за допомогою функцій «WinCC Server/ WinCC Client» цей HMI стає доступним через Інтернет для відповідного мобільного додатку..

Тепер вирішимо, який вид оброблення цифрових даних можна виконувати

на хмарному сервері з ОС «Mind Sphere».. Так, будь-який промисловий робот у своїй самій узагальненій формі складається з маніпулятора й контролера. Маніпулятор, часто називаний роботизованою рукою, рухається, обертається й виконує різні дії. Контролер пускає промисловий робот в хід і управляє його маніпулятором. Окремі сегменти кожного робота-маніпулятора з'єднані механічними шарнірами, кожний з яких забезпечує вісь руху. Типовий маніпулятор має шість рухливих з'єднань або шість осей руху. Кожна вісь, переміщувана високоточним серводвигуном або кроковим двигуном, обмежена певним діапазоном руху. Крім того, кожна вісь рухається з різною швидкістю, що часто вказується в специфікаціях як градуси переміщення за секунду. Чим більше діапазон рухів і вище максимальна швидкість суглоба, тим вище ступінь точності, необхідної для управління рухом. Необхідність жорсткої координації й високої точності рухів призводить також до різкого збільшення обсягу робочих даних, отримуваних з кожного датчика маніпулятора в режимі реального часу, які і треба реєструвати та аналізувати для виявлення аномалій в діях маніпулятора та прогнозування можливих його поломок..

Для вирішення такої задачі на цифровому «розумному» виробництві зазвичай застосовується відповідна технологія штучного інтелекту (ШІ). Саме ШІ обробляє дані, що надходять з датчиків, і вживає відповідні дії залежно від результату такої обробки даних. На відміну від концепції великих даних (Big Data), де дані збираються для подальшого аналізу, як правило, у віддаленому Центрі обробки даних (ЦОД), прикладні задачі на основі ШІ націлені на те, щоб негайно приймати рішення або надсилати сигнал відповідальному персоналу, ґрунтуючись на поточних висновках моделі. Класичний цикл розробки такої моделі (рисунок 4.9), як правило, передбачає два етапи оцінки достатності її точності на тестових вибірках: валідація й «сліпе» тестування. Задача «сліпого» тестування полягає в тім, щоб переконатися, наскільки точно модель описує поведінку технологічного обладнання і як точно вона розраховує підсумкове значення по заданій метриці.

Для проведення експерименту з моделлю ШІ на промисловому обладнанні необхідно інтегрувати цю модель у виробничий процес і по її

рекомендаціях, наприклад, вживати відповідні заходи. Модель при цьому працює з реальними робочими даними і у режимі реального часу. Проте, якщо у виробничому процесі буде задіяна людина (оператор, робочий), то її можливий вплив на дії технологічного обладнання призводить до зміни даних реального часу, які обробляє модель ШІ, а це може призвести до помилкових її висновків.

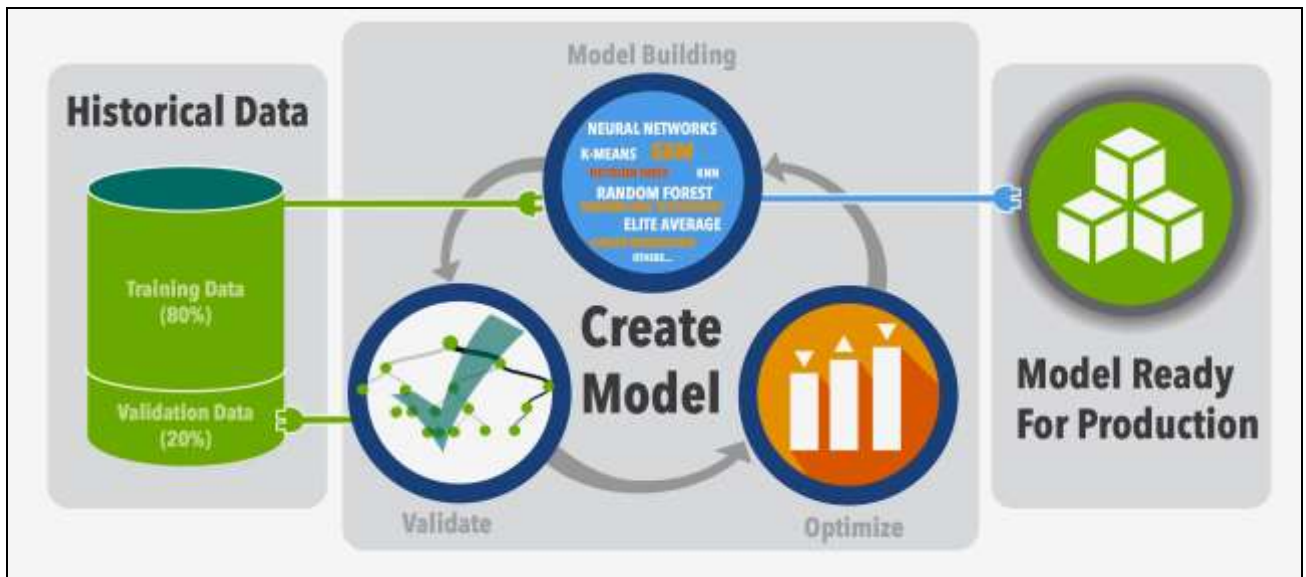


Рисунок 4.9 – Класичний цикл розробки моделі при машинному навчанні

Тому саме експеримент на реальному виробництві і дозволяє визначати вузькі місця у вихідній вибірці даних. Крім того, може виявитися, що одних тільки методів машинного навчання (Machine Learning, ML) недостатньо для обробки всіх масивів даних, пов'язаних з функціонуванням технологічного обладнання у різних режимах. У такому випадку потрібно вміло застосовувати евристичні методи, тобто сполучати фізико-математичні моделі з ML-алгоритмами.

Невеликі натурні експерименти рекомендується регулярно проводити на всіх стадіях проєкту на основі ШІ, оцінюючи реальний обсяг даних, придатних для моделювання, що дозволить максимально швидко перебудовувати процес розробки моделі, концентруючись лише на алгоритмах, застосованих у реальному виробництві.

Важливим питанням при застосуванні ШІ є вибір методу аналітичної

обробки. Є методи різного рівня складності, і часто при рішенні задачі виникає бажання почати відразу із самого складного з них - наприклад, з нейромереж, які є універсальним засобом апроксимації. Однак є дві причини, по яких не треба цього робити. По-перше, прості методи (дерева рішень, випадковий ліс або метод найближчих сусідів) швидше настроюються на даних, що дозволяє швидше одержати перші результати прогнозування. По-друге, прості методи ML легше інтерпретувати - використовуючи більш просту й наочну модель, простіше зрозуміти логіку їхньої роботи й пояснити, чому для кожного набору ознак був отриманий той або інший прогноз. Простота інтерпретації дозволяє краще зрозуміти внутрішні залежності в даних - які типи ознак найбільше впливають на прогноз, який тип цього впливу (лінійний, нелінійний, самостійний або в сукупності з іншими ознаками). Це дозволяє відібрати для прогнозування найбільш значимі ознаки, а потім використати їх у більш складних моделях.

Визначимо тепер ті набори цифрових даних, які можна збирати з пакувального робота існуючого реального АТП та аналізувати тим чи іншим методом ML з метою, наприклад, виявлення аномалій в його роботі. По-перше, на ці дані не повинні впливати будь-які дії людей (працівників), яких в цьому процесі задіяно досить багато. Тому треба аналізувати тільки ті операції, які пакувальний робот виконує самостійно, наприклад, технологічну операцію пакування шару банок у коробку, але починати збір даних треба лише з того моменту, коли банки вже зупинилися конвеєром у робочій зоні робота, а контролер надав команду роботу почати виконувати операцію по їх пакування. По-друге, ці дані повинні спочатку реєструватися (накопичуватися) у контролері робота в ході виконання ним чергової технологічної операції, а вже після закінчення операції, дані мають передаватися через мережу підприємства з контролера до того обчислювача (сервера), де буде виконуватися їх аналіз моделлю ШІ. Тому важливим є не перевантажити контролер надмірною обробкою цих даних. Наприклад, можна задіяти для цього апаратний таймер контролера і фіксувати програмним шляхом тільки ті моменти часу, коли спрацьовують дискретні датчики, що контролюють рухи маніпулятора на протязі всієї технологічної операції. Для прикладу на рисунку 4.10 показаний можливий

варіант такого набору даних, що реєструється в пам'яті контролера за цикл виконання однієї технологічної операції. По вісі абсцис вказані номери дискретних датчиків у порядку їх спрацювання по ходу виконання роботом однієї технологічної операції. По вісі ординат вказані моменти часу спрацювання того чи іншого датчика, починаючи від початку виконання технологічної операції (подача контролером команди на початок виконання роботом поточної операції).

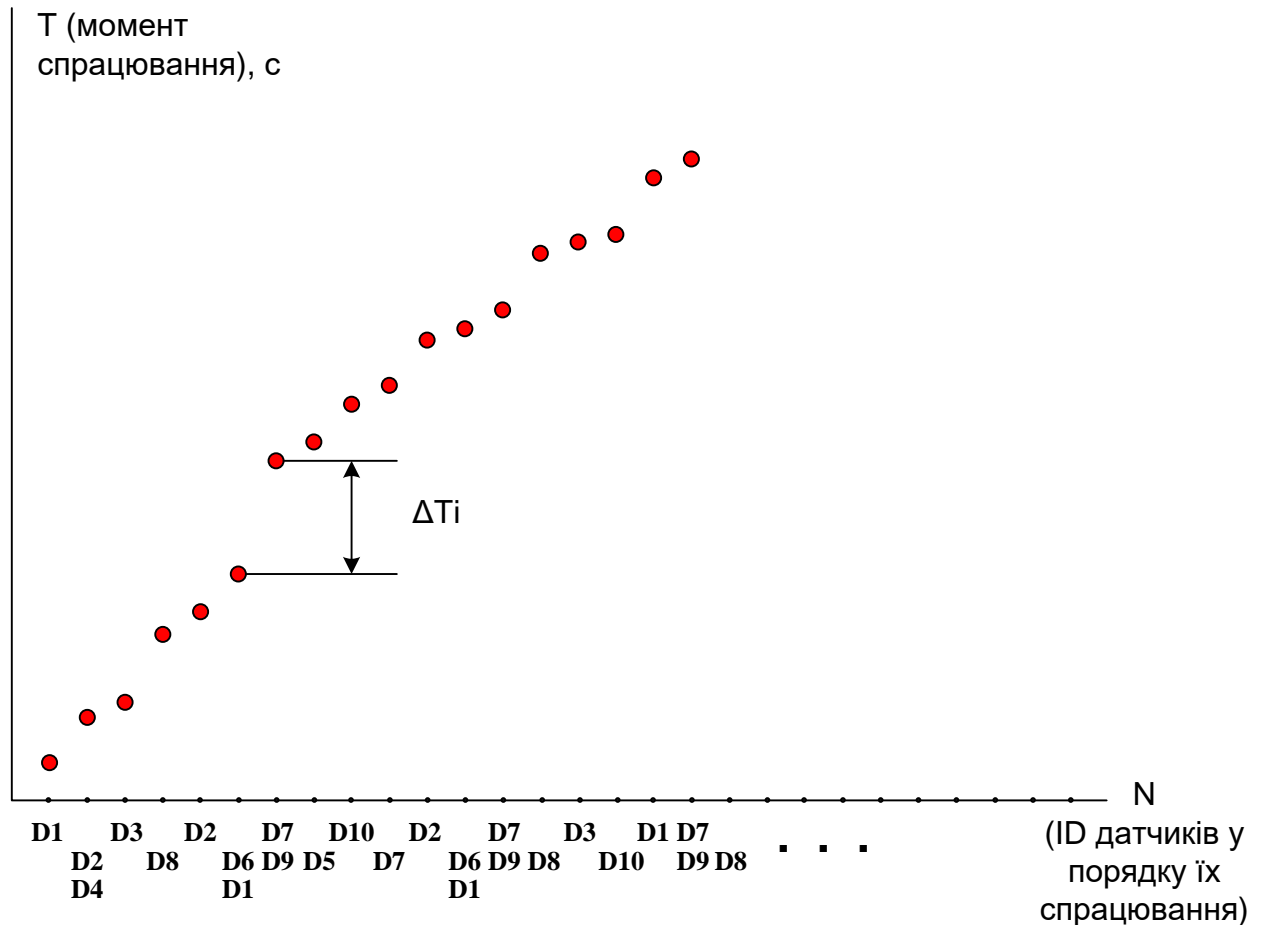


Рисунок 4.10 – Набір даних по одній технологічній операції промислового робота

Для аналізу можна брати набори або абсолютних значень часу почергового спрацювання дискретних датчиків руху маніпулятора, які відмічені на рисунку точками, або часових інтервалів між спрацюваннями, що йдуть один за одним (позначені на рисунку як  $\Delta T_i$ ). Суттєва відмінність у цих наборах буде вважатися аномалією, яка свідчить про ті чи інші порушення в роботі промислового робота, на що має відреагувати відповідальний за це персонал.

Таким чином, ми з'ясували який вид оброблення цифрових даних від промислового робота треба реалізувати у вигляді програмного додатка на хмарному сервері з ОС «Mind Sphere»..

На рисунках 4.11 та 4.12 показані варіанти ще одних концептуальних рішень для типу СА І4.0, які відображають можливе оформлення відповідних Web-сторінок для мобільного НМІ.

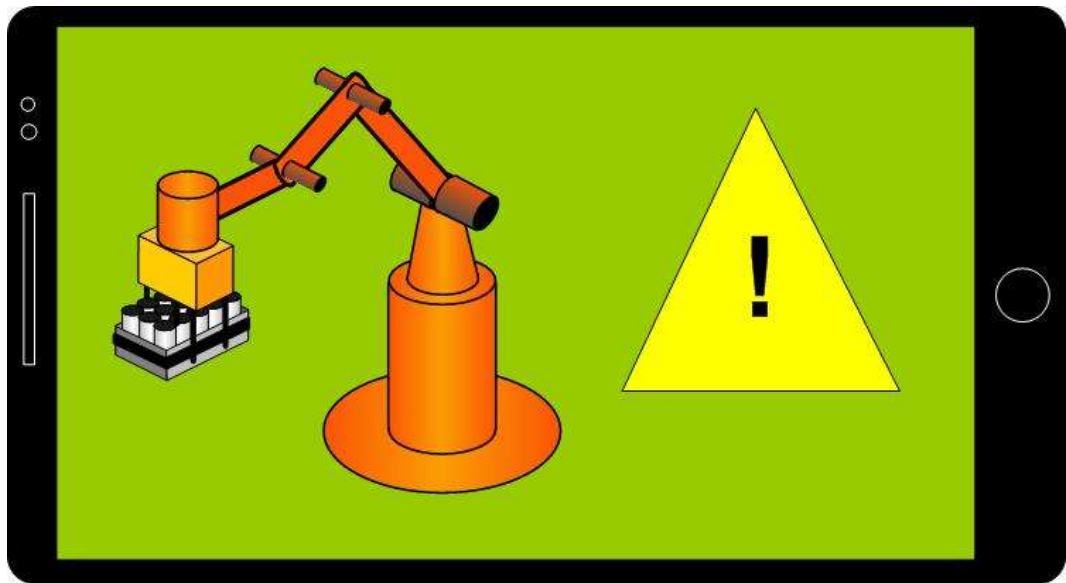


Рисунок 4.11 – Сторінка сповіщення фахівця про виявлення аномалії

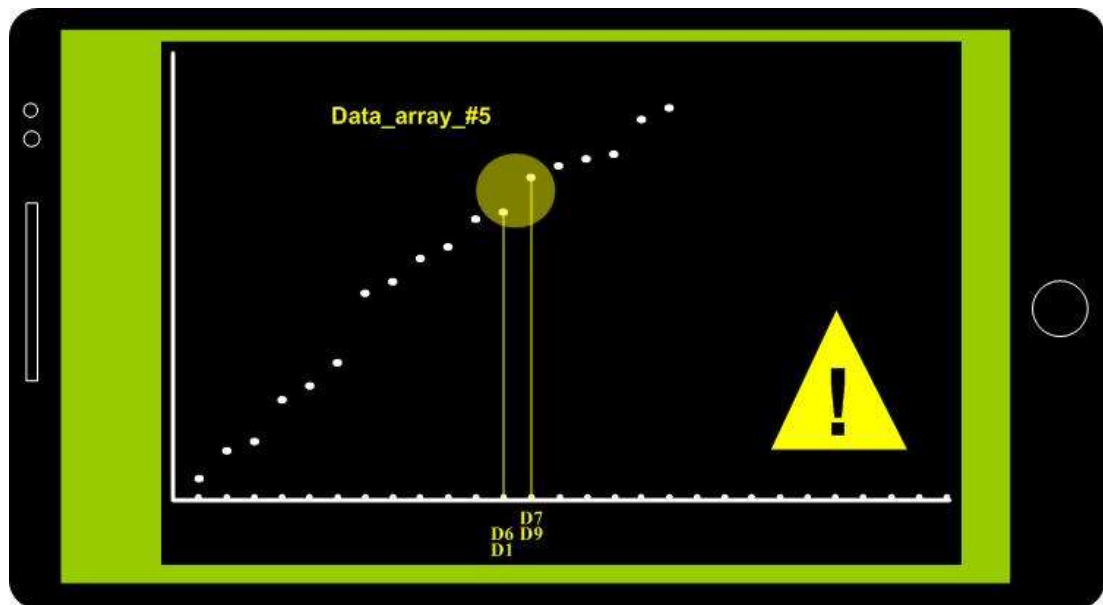


Рисунок 4.12 – Сторінка детальної інформації щодо аномалії



Розглянемо тепер приклад виконання студентом стадії «Ескізний проєкт» навчального дослідження життєвого циклу типу СА І4.0. В якості вихідних даних для його виконання візьмемо ще один з недоліків існуючого рішення типу СА І3.0, який був виявлений у попередньому підрозділі. Так, для групи компонентів існуючого рішення типу СА І3.0, які включає «Робот», «Маніпулятор робота» та «Механізм схоплення», у шарі «Asset» вісі «Layers» ІТ – представлення існуючого рішення типу СА І3.0, для стадії проєктування (Development) їх життєвого циклу у порівнянні з властивістю/ознакою «Віртуалізація виробничого середовища» для І4.0 був виявлений такий недолік – при проєктуванні пакувального робота та його частин не використовується цифрова модель цих компонентів, що не дає змоги далі моделювати дії робота в режимі реального часу з прив'язкою до віртуального виробничого середовища, оптимізуючи ці дії або пристосовуючи їх до різних типів готової продукції на транспортному конвеєрі.

Для ескізного проєктування більш досконалого варіанту типу СА, який не буде мати цього недоліку, виберемо спочатку відповідну функцію інженерного ПЗ «Siemens TIA Portal», яка дозволить в подальшому реалізувати це проєктне рішення. Найкращою такою функцією є функція «PLC SIM Advanced», яка дозволяє виконувати комплексне моделювання функцій СА на етапах конфігурації й проєктування за допомогою «STEP 7» без необхідності використання реального устаткування SIMATIC S7-1500 або ET 200SP. Вона підтримує створення віртуальних контролерів для моделювання реальних контролерів і для комплексного моделювання функцій управління промисловим устаткуванням. Реалістична процедура тестування в «SIMATIC STEP 7» дозволяє раннє виявлення несправностей, а також швидку перевірку функцій управління промисловим устаткуванням. «S7-PLC SIM Advanced» також дозволяє заздалегідь навчати операторів за допомогою віртуальних контролерів і підключеного пристрою HMI або моделювання пристрою HMI.

Переваги даної функції такі:

- якісний проєкт автоматизації на ранній стадії;
- скорочення термінів введення в експлуатацію на об'єкті замовника;

– більш короткий час до виробництва.

Виконання функції має такі опції:

– швидкий запуск «S7-PLC SIM» у компактному режимі й без проєкту моделювання;

– у проєкті моделювання можна обмінюватися пристроями, так що можна просто продовжувати використовувати існуючі таблиці SIM і записи послідовностей;

– записи трасування процесора можуть бути імпортовані у вигляді послідовностей;

– послідовності можуть запускатися автоматично залежно від умови запуску;

– послідовності можна тимчасово відключити;

– пристрої з розподіленим введенням-виведенням можна моделювати в представленні пристрою;

– моделювання й перевірка функцій контролера S7-1500 / EP 200SP, включаючи Веб-сервер, OPC UA, трасування, рух, моделювання карти пам'яті, діагностика процесу й S7-зв'язок;

– блоки, захищені ноу-хау: підтримуються різні екземпляри й, отже, взаємодія декількох ПЛК. Також можна тестувати і перевіряти віртуальні контролери в контексті заводу або машини.

Крім того, для нашого ескізного проєктування можна потенційно використати і інші функції інженерного ПЗ «Siemens TIA Portal».

Наприклад, функція «Використання модельних контролерів зі зворотним зв'язком», або «Target 1500S for Simulink» (Matlab і машинне моделювання в контролері) у «Siemens TIA Portal» забезпечує:

– генерацію коду для «Live Twin Siemens Industrial Edge»;

– «підтримку убудованого кодера Simulink»;

– інтегровані S-функції для з'єднання «S7-PLC SIM Advanced» (для «S7-1500 Runtime»).

Функція дозволяє просто і легко здійснювати перенос з «Matlab Simulink»

результатів моделювання на основі моделі контролера зі зворотним зв'язком і результатів моделювання машин у програмний контролер «SIMATIC S7-1500» або «CPU1518 MFP/ODK». Це дозволяє запускати моделювання навіть без знання мов високого рівня або «ODK».

Виконання даної функції має такі опції:

- розробка структури контролера в «Matlab Simulink»;
- просте моделювання всієї системи;
- просте моделювання в реалістичних умовах;
- автоматичне генерування коду SIMATIC, що виконується;
- моніторинг значень процесу в режимі реального часу;
- швидка й легка перевірка моделі й виправлення відхилення;
- не потрібне знання «ODK» або мов високого рівня;
- симуляція «Software-in-the-Loop» (SiL) з «SIMATIC S7 PLC SIM Advanced» і «Simulink».

Продовжимо ескізне проектування типу СА I4.0, вибравши для цього функцію «PLC SIM Advanced». Треба відмітити, що ця функція підтримує лише промислові контролери SIMATIC S7-1500. Спочатку розробляємо прикладну програму «Transport» для вибраного програмного симулятора конкретного типу процесорного модуля промислового контролера SIMATIC S7-1500. Наприклад., вибираємо тип процесорного модуля CPU 1518F (рисунок 4.13)..



Рисунок 4.13 – Дерево проекту програмної симуляції роботи даного типу СА

Загальний вигляд прикладної програми контролера у вікні відповідного редактора програм «STEP 7» інструменту «S7-PLCSIM Advanced», розробленої на стандартній графічній мові програмування контролерів SFC, наведений на рисунку 4.14.

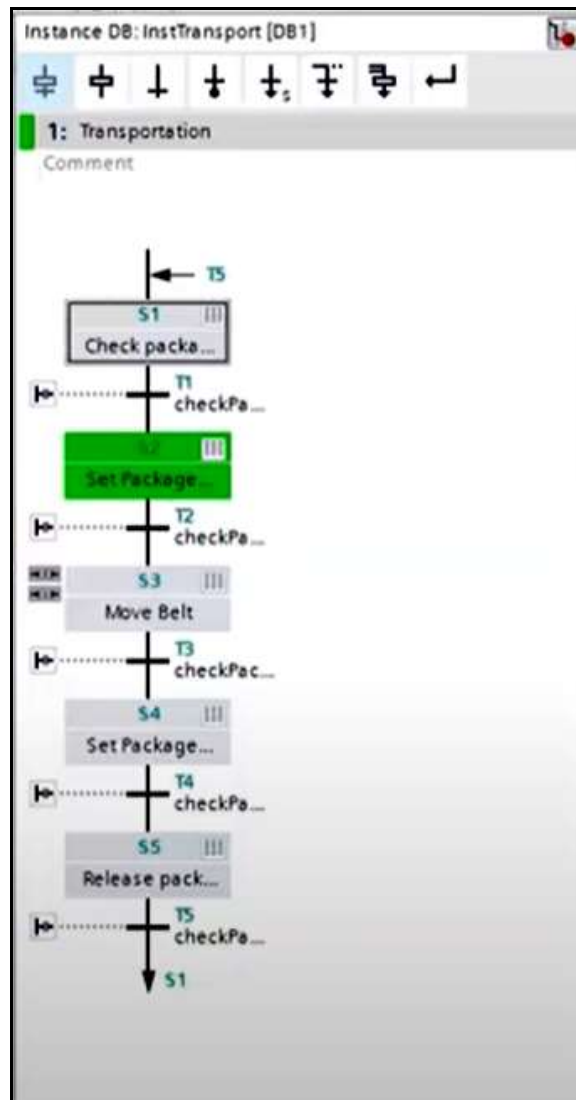


Рисунок 4.14 - Прикладна програма контролера СА на мові SFC

При відтворенні у режимі реального часу роботи промислового контролера під управлінням цієї програми активна процедура виділяється зеленим кольором. Якщо ж у моделі системі відбудеться якийсь збій нормального виконання програми управління, то активна програмна процедура буде зафарбована у червоний колір.

Також за допомогою інструмента «S7-PLCSIM Advanced» у цьому ж проєкті для симулятора реального типу HMI системи створюється відповідна 3D-модель автоматичної виробничої лінії, зібраної на основі конвеєрів та промислових роботів (рисунок 4.15). Кожний з показаних в моделі виробничих об'єктів має свою внутрішню логіку роботи, яка задається відповідним вбудованим ПЗ, на яке можна подавати відповідні керуючі сигнали від інших програмних моделей проєкту, наприклад, від прикладної програми віртуального промислового контролера.

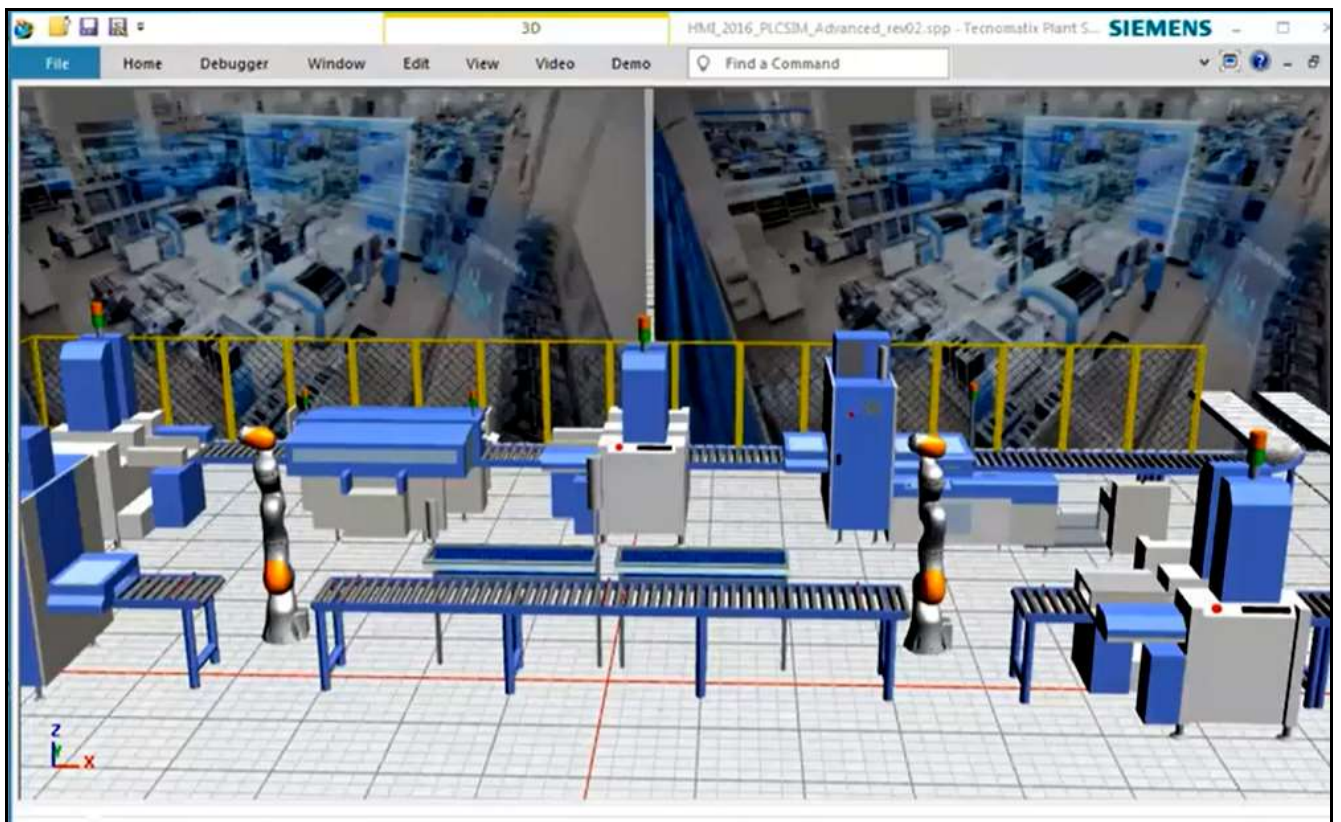


Рисунок 4.15 – 3D-модель автоматичної виробничої лінії для HMI СА

В режимі симуляції такого HMI (рисунок 4.16) у режимі реального часу відтворюється реальна робота усього промислового устаткування автоматичної лінії (конвеєрів та промислових роботів) під управлінням прикладної програми контролера, дія якого також відтворюється засобами цифрової симуляції «S7-PLCSIM Advanced» (імітуються вхідні та вихідні сигнали контролера, які обробляються його прикладною програмою).



Рисунок 4.16 – Панель управління симуляцією НМІ СА

Інформаційна взаємодія прикладної програми віртуального контролера з програмою НМІ, яка відтворює реальну роботу автоматичної лінії і тому виступає в якості об'єкту управління з боку контролера, встановлюється через спеціальну панель (рисунок 4.17).

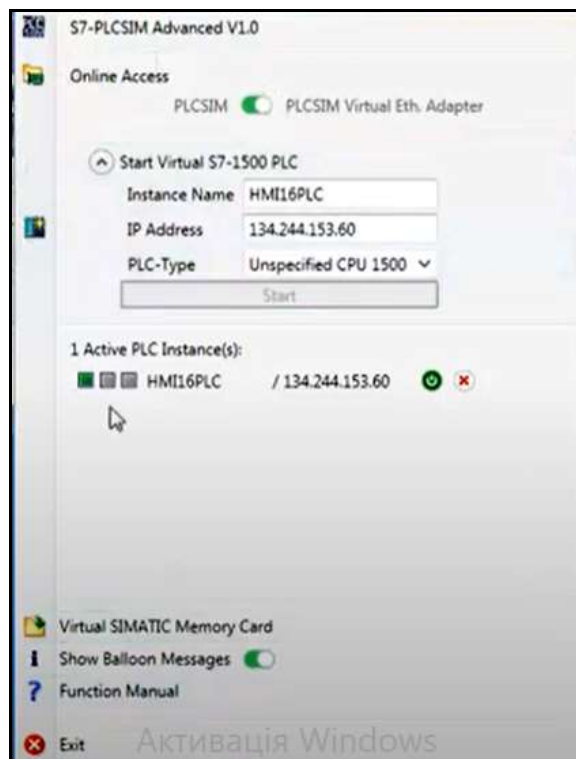


Рисунок 4.17 – Панель управління інформаційним зв'язком між програмою віртуального контролера та НМІ СА

В даному проєкті програмної симуляції конкретного типу СА можна штучно створювати різні нештатні ситуації, якщо логіка програмної моделі їх припускає. Наприклад, на рисунку 4.18 показана одна з таких модельних нештатних ситуацій, коли виріб, що рухається конвеєром, падає з нього.

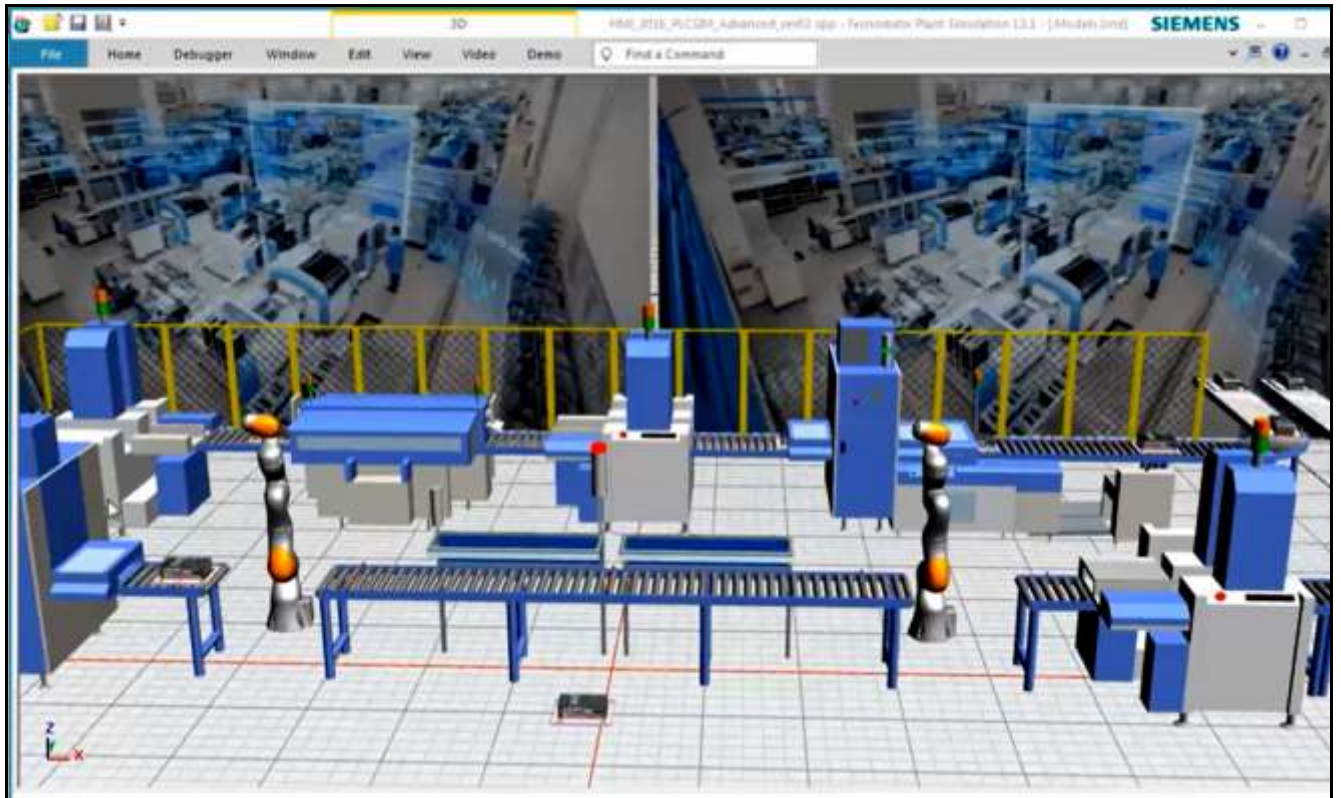


Рисунок 4.18 – Моделювання нештатної виробничої ситуації (події)

Тоді програмна управління конвеєром, що реалізована в контролері, повинна зреагувати на цю подію, наприклад, зупинити рух конвеєра.

У вікні виконання прикладної програми цей збій у роботі конвеєра позначається червоним кольором активної програмної процедури (рисунок 4.19).

А на спеціальному симуляторі панелі НМІ, де відображаються будь-які аварійні події на виробництві, така нештатна ситуація може бути відображена іншим способом (рисунок 4.20). Такий спеціальний НМІ може створюватися для фахівців окремої служби підприємства, наприклад, для фахівців відділу контрольно-вимірювальних приладів та автоматики, які здійснюватимуть на підприємстві моніторинг та налагодження системи автоматизації.

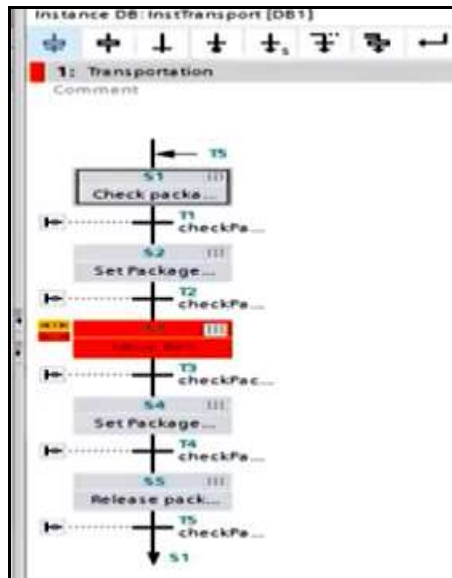


Рисунок 4.19 – Відображення місця збою виконання прикладної програми віртуального контролера

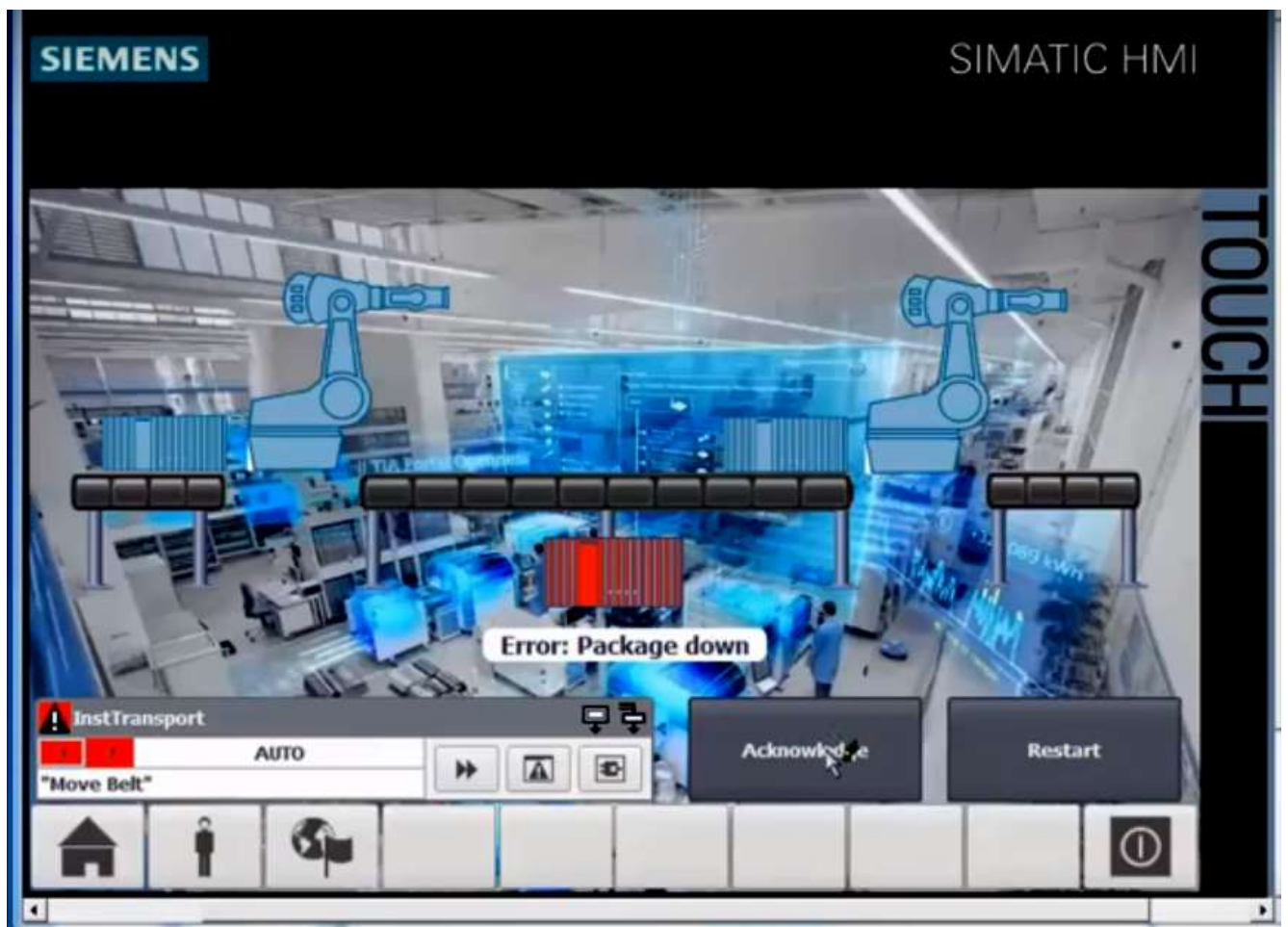
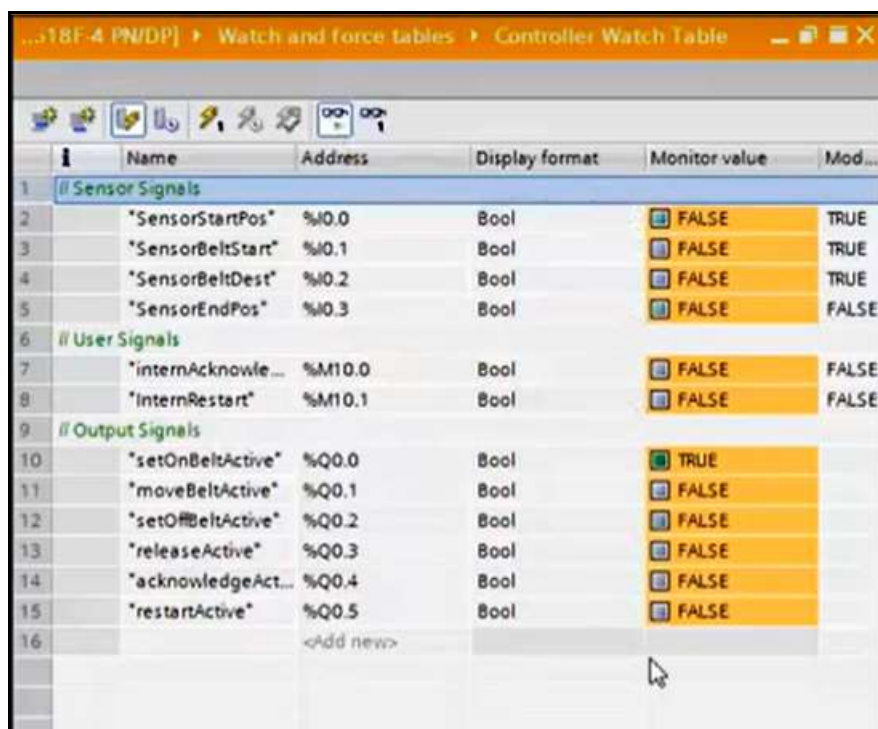


Рисунок 4.20 – Відображення нештатної виробничої події на спеціальному НМІ



За роботою прикладної програми віртуального промислового контролера при моделюванні роботи всієї СА можна спостерігати через спеціальну панель, де відображаються значення усіх змінних цієї програми (рисунок 4.21).



The screenshot shows a software window titled 'Controller Watch Table' with a table of variables. The table has columns for Name, Address, Display format, Monitor value, and Mod... The variables are grouped into three sections: Sensor Signals, User Signals, and Output Signals.

	Name	Address	Display format	Monitor value	Mod...
1	// Sensor Signals				
2	*SensorStartPos	%I0.0	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE	TRUE
3	*SensorBeltStart	%I0.1	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE	TRUE
4	*SensorBeltDest	%I0.2	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE	TRUE
5	*SensorEndPos	%I0.3	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE	FALSE
6	// User Signals				
7	*internAcknowledge	%M10.0	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE	FALSE
8	*internRestart	%M10.1	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE	FALSE
9	// Output Signals				
10	*setOnBeltActive	%Q0.0	Bool	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE	
11	*moveBeltActive	%Q0.1	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE	
12	*setOffBeltActive	%Q0.2	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE	
13	*releaseActive	%Q0.3	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE	
14	*acknowledgeAct...	%Q0.4	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE	
15	*restartActive	%Q0.5	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE	
16		<Add new>			

Рисунок 4.21 – Вікно моніторингу змінних прикладної програми

На цьому можна завершити ескізне проектування типу СА I4.0, який буде відповідати такій властивості цифрового «розумного» виробництва як «Віртуалізація виробничого середовища».

#### 4.4 Висновки до розділу

В результаті виконання дослідницьких та проектних робіт у даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи були розроблені алгоритми як виконання всього навчального дослідження життєвого циклу типу СА I4.0, так і окремих стадій цього дослідження – «Формування вимог до СА», «Концепція СА» і «Ескізний проєкт».

На основі конкретних прикладів виконання цих стадій окреслені основні функції нового НЗ, які він забезпечує для студента в ході навчального дослідження життєвого циклу даного типу СА.

## 5 РОЗДІЛ ЕКОНОМІКИ

### 5.1 Технологічний аудит розробленого навчального засобу для системи автоматизації

Архітектурна модель побудови «розумного підприємства» Reference Model for Industrie 4.0 (RAMI 4.0) є уніфікованою архітектурною референтною моделлю, яка забезпечує колективне розуміння стандартів, що створені для реалізації концепції «Industry 4.0». Тому при створенні перспективних промислових систем автоматизації рівняння на цю референтну модель є надзвичайно корисним, бо вона описує оптимальний каркас для стандартизації відповідних технічних рішень таких систем як для стадії їх розробки, так і для подальших стадій їх інтеграції та практичного використання.

Тому метою нашої магістерської кваліфікаційної роботи було створення для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» нового навчального засобу на основі інструментальної системи Siemens TIA Portal для дослідження способу відображення й обробки цифрового життєвого циклу як типу промислової системи автоматизації, так і її екземпляру.

Для досягнення цієї мети нами було досліджено референтну архітектурну модель «розумного підприємства» RAMI 4.0; досліджено існуючі механізми відображення й обробки цифрового життєвого циклу промислової системи автоматизації; розроблено технічне завдання на науково-дослідну роботу; спроектовано програмно-технічну частину навчального засобу та розроблено відповідне навчально-методичне забезпечення навчального засобу.

Результатом виконаної магістерської кваліфікаційної роботи стало розроблення навчального засобу для дослідження студентами життєвого циклу промислової системи автоматизації.

Для встановлення потенційних можливостей комерційного використання розробленого нами навчального засобу було проведено її технологічний аудит, для чого було запрошено трьох експертів – відомих фахівців у цій галузі знань:

кандидата технічних наук, доцента Гармаша В.В., кандидата технічних наук, доцента Овчинникова К. В. і кандидата технічних наук, доцента Севастьянова В.М.

Технологічний аудит було проведено за критеріями, які зведено в таблиці.  
5.1.

Таблиця 5.1 – Критерії проведення технологічного аудиту будь-якої розробки і їх бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
<b>Технічна здійсненність концепції:</b>					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
<b>Ринкові переваги (недоліки):</b>					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів

Продовження таблиці 5.1

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
<b>Ринкові перспективи</b>					
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
<b>Практична здійсненність</b>					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування

Продовження таблиці 5.1

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промислому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Запрошені експерти оцінили розроблений нами комп'ютеризований навчальний засіб шляхом виставлення бальних оцінок таким чином (див. таблиця 5.2):

Таблиця 5.2 – Результати технологічного аудиту розробленого нами навчального засобу (за шкалою оцінювання 0-1-2-3-4)

Критерії	Прізвище, ініціали експертів		
	Гармаш В.В.	Овчинников К.В.	Севастьянов В.М.
	Бали, що їх виставили експерти:		
1	4	4	4
2	3	4	4
3	3	4	3
4	4	4	4
5	3	4	4
6	4	4	4
7	4	4	3
8	3	4	4
9	4	4	4
10	3	4	4
11	4	4	3
12	4	4	4
Сума балів	СБ <sub>1</sub> = 43	СБ <sub>2</sub> = 48	СБ <sub>3</sub> = 45
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{43 + 48 + 45}{3} = \frac{136}{3} = 45,33$		

Оскільки середньоарифметична сума балів, що їх виставили експерти, складає 45,33 балів, то це свідчить, що розроблений нами новий навчальний засіб має рівень комерційного потенціалу, який вважається «високим» (див. таблиця 5.3).

Таблиця 5.3 – Рівні комерційного потенціалу будь-якої наукової розробки

Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$ , розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 – 10	Низький
11 – 20	Нижче середнього
21 – 30	Середній
31 – 40	Вище середнього
41 – 48	Високий

Такий високий комерційний потенціал нашої розробки пояснюється тим, що створений нами новий навчальний засіб, на відміну від існуючих, побудований на основі доступного зразка сучасної промислової інструментальної системи, що дозволяє підвищити ефективність проведення студентами дослідження життєвого циклу промислової системи автоматизації за рахунок детальної практичної розробки як цифрового життєвого циклу для типу конкретної системи автоматизації, так і для окремого її екземпляру.

## 5.2 Розрахунок витрат на розробку навчального засобу для дослідження життєвого циклу промислової системи автоматизації

При розробці нашого навчального засобу були зроблені такі витрати.

Основна заробітна плата  $Z_o$  розробників, яка визначається за формулою:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t \text{ [грн]}, \quad (5.1)$$

де  $M$  – місячний посадовий оклад розробника, грн; прийmemo, що  $M$  дорівнює (6700...23000) грн/місяць;

$T_p$  – число робочих днів в місяці; прийmemo  $T_p$  дорівнює 24 дні;

$t$  – число днів роботи розробників.

Зроблені розрахунки зведемо до таблиці 5.4:

Додаткова заробітна плата  $Z_d$  розробників розраховується як (10...12)% від величини їх основної заробітної плати, тобто:

$$Z_d = \alpha \cdot Z_o = (0,1...0,12) \cdot Z_o \text{ [грн]}. \quad (5.2)$$

Прийmemo, що  $\alpha$  дорівнює 0,108. Тоді для нашого випадку отримаємо:



Таблиця 5.4 – Основна заробітна плата розробників

Найменування посади виконавця	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на оплату праці, грн
1. Науковий керівник магістерської роботи	20000	833,33	20 годин	2777,76 $\approx$ 2778
2. Магістрант-студент-виконавець	2000 (беремо 6700)	279,17	72	20100,24 $\approx$ 20101
3. Консультант з економічної частини	17400	725,00	1,5 години	181,25 $\approx$ 182
4. Інші консультанти	15000	625	2 дні	1250
Загалом				$Z_o = 24311$ грн

$$Z_d = 0,108 \times 24311 = 2625,59 \approx 2626 \text{ (грн).}$$

Нарахування на заробітну плату  $HЗП_{зн}$  розробників розраховуються за формулою:

$$HЗП_{зн} = (Z_o + Z_d) \cdot \frac{\beta}{100} \text{ [грн.],} \quad (5.3)$$

де  $\beta$  – ставка обов'язкового єдиного внеску на державне соціальне страхування, %  $\beta$  дорівнює 22%. Тоді:

$$HЗН_{зн} = (24311 + 2626) \times 0,22 = 5926,14 \approx 5927 \text{ (грн).}$$

Амортизація основних засобів  $A$ , які використовувались під час виконання даної роботи:

$$A = \frac{Ц \cdot H_a}{100} \cdot \frac{T}{12} \text{ [грн],} \quad (5.4)$$

де  $\Pi$  – загальна балансова вартість основних засобів, грн;

$H_a$  – річна норма амортизаційних відрахувань. Для нашого випадку можна прийняти, що  $H_a$  дорівнює (5...25)%;

$T$  – термін використання основних засобів, місяці.

Зроблені розрахунки зведено в таблицю 5.5.

Таблиця 5.5 – Розрахунок амортизаційних відрахувань

Найменування обладнання, приміщень тощо	Балансова вартість, грн.	Норма амортизації, %	Термін використання, міс.	Величина амортизаційних відрахувань, грн
1. Комп'ютерна техніка, обладнання тощо	64200	22,5	3 (при 60% використанні)	2166,75 $\approx$ 2167
2. Приміщення університету, кафедри	42800	5,0	3 при 30% використанні	160,5 $\approx$ 161
Всього				$A = 2328$ грн

Витрати на матеріали  $M$  розраховуються за формулою:

$$M = \sum_1^n H_i \cdot \Pi_i \cdot K_i - \sum_1^n V_i \cdot \Pi_v \quad [\text{грн.}], \quad (5.5)$$

де  $H_i$  – витрати матеріалу  $i$ -го найменування, кг;

$\Pi_i$  – вартість матеріалу  $i$ -го найменування;

$K_i$  – коефіцієнт транспортних витрат,

$K_i$  дорівнює (1,1...1,15);  $V_i$  – маса відходів матеріалу  $i$ -го найменування;

$\Pi_v$  – ціна відходів матеріалу  $i$ -го найменування;

$n$  – кількість видів матеріалів.

Витрати на комплектуючі  $K$  розраховуються за формулою:

$$K = \sum_1^n H_i \cdot \Pi_i \cdot K_i \quad [\text{грн.}], \quad (5.6)$$

де  $N_i$  – кількість комплектуючих  $i$ -го виду, шт.;  $C_i$  – ціна комплектуючих  $i$ -го виду;

$K_i$  – коефіцієнт транспортних витрат,

$K_i$  дорівнює (1,1...1,15);

$n$  – кількість видів комплектуючих.

Під час виконання роботи загальні витрати на матеріали та комплектуючі склали приблизно 3200 грн.

Витрати на силову електроенергію  $V_e$  розраховуються за формулою:

$$V_e = \frac{V \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}}{K_d} [\text{грн.}], \quad (5.7)$$

де  $V$  – вартість 1 кВт-год. електроенергії, в 2023 р.  $V \approx 4,5$  грн/кВт;

$\Pi$  – установлена потужність обладнання, кВт;  $\Pi$  дорівнює 1,25 кВт;

$\Phi$  – фактична кількість годин роботи обладнання, годин.

Прийmemo, що  $\Phi$  дорівнює 325 годин;

$K_{\Pi}$  – коефіцієнт використання потужності;  $K_{\Pi}$  менше 1 дорівнює 0,79.

$K_d$  – коефіцієнт корисної дії,  $K_d$  дорівнює 0,65.

Тоді витрати на силову електроенергію будуть дорівнювати:

$$V_e = \frac{V \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}}{K_d} = \frac{4,5 \cdot 1,25 \cdot 325 \cdot 0,79}{0,65} = 2221,87 \approx 2222 \text{ (грн.)}.$$

Інші витрати  $V_{\text{інш}}$  можна прийняти як (50...300)% від основної заробітної плати розробників, тобто:

$$V_{\text{інш}} = (0,5 \dots 3) \times Z_o [\text{грн.}]. \quad (5.8)$$

Для нашого випадку отримаємо:

$$V_{\text{інш}} = 0,8 \times 24311 = 19448,8 \approx 19449 \text{ (грн.)}.$$

Сума всіх попередніх статей витрат складає витрати на виконання роботи безпосередньо розробником-магістрантом – В.

$$B = 24311 + 2626 + 5927 + 2328 + 3200 + 2222 + 19449 = 60063 \text{ (грн.)}$$

Загальні витрати на розробку навчального засобу  $V_{\text{заг}}$  розраховуються за формулою:

$$V_{\text{заг}} = \frac{B}{\beta} \text{ [грн.]}, \quad (5.9)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання цієї роботи. Можна прийняти, що,  $\beta \approx 0,95$  [37], оскільки робота майже повністю виконана і готова до можливого впровадження.

Тоді:

$$V_{\text{заг}} = \frac{60063}{0,95} = 63224,21 \text{ (грн.)}$$

або приблизно 64 тисячі грн.

Тобто прогнозовані загальні витрати на розробку нашого навчального засобу становлять приблизно 64 тисячі грн.

### 5.3 Розрахунок економічного ефекту від можливої комерціалізації нашої розробки

Економічний ефект від можливої комерціалізації розробленого нами навчального засобу пояснюється його значно кращими функціональними та навчальними можливостями. Тому нашу розробку можна реалізовувати на ринку дещо дорожче, ніж аналогічні за функціями розробки. Так, якщо подібні за

функціями розробки у 2023 році коштували на ринку приблизно 10 тисяч грн, то нашу розробку можна реалізовувати за 16,0 тисяч грн, або на 6 тисячі грн дорожче.

Аналіз місткості ринку даного продукту показує, що сьогодні в Україні кількість реальних користувачів подібних навчальних засобів може складати приблизно 100 користувачів. Це різні навчальні заклади, наукові установи, підприємства, дослідні структури тощо. Оскільки наш навчальний засіб має значно кращі функціональні та навчальні характеристики, то можна очікувати зростання попиту на нашу розробку принаймні протягом 3-х років після її впровадження.

Тобто, якщо наша розробка буде впроваджена з 1 січня 2024 року, то її результати будуть виявлятися протягом 2024-го, 2025-го та 2026-го років.

Прогноз зростання попиту на нашу розробку складає по роках:

– 2024 р. – приблизно плюс 25 шт. до базового року;

– 2025 р. – плюс 50 шт. до базового року;

– 2026 р. – плюс 40 шт. до базового року (оскільки через 3 роки (а то і раніше) можуть з'явитися ще більш ефективні навчальні засоби, створені студентами-магістрантами кафедри АІТ ВНТУ.

Можливе збільшення чистого прибутку  $\Delta\Pi_i$ , що його може отримати потенційний інвестор від комерціалізації нашої розробки становитиме:

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\nu}{100}\right) [\text{тис. грн.}], \quad (5.10)$$

де  $\Delta C_o$  – покращення основного якісного показника від впровадження результатів розробки у цьому році. Для нашого випадку це є збільшення ціни нового навчального засобу  $\Delta C_o$  дорівнює  $(16,0 - 10,0)$  дорівнює +6,0 тисяч грн;

$N$  – основний кількісний показник, який визначає обсяг діяльності у році до впровадження результатів розробки;  $N$  дорівнює 100 шт.;

$\Delta N$  – покращення основного кількісного показника від впровадження результатів розробки. Таке покращення становитиме по роках, відповідно: плюс 25, плюс 50 та плюс 40 шт. (до базового 2023 року);

$C_0$  – основний якісний показник, який визначає обсяг діяльності у році після впровадження результатів розробки, грн;  $C_0$  дорівнює 16,0 тисяч грн;

$n$  – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки; для нашого випадку  $n$  дорівнює 3;

$\lambda$  – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість;  $\lambda = 0,8333$ ;

$\rho$  – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати  $\rho$  дорівнює (0,2...0,5); візьмемо  $\rho$  дорівнює 0,5;

$\upsilon$  – ставка податку на прибуток; нехай  $\upsilon$  дорівнює 18%.

Тоді можливе зростання чистого прибутку  $\Delta \Pi_1$  для потенційного інвестора протягом першого року від можливого впровадження нашої розробки (2024 р.) становитиме:

$$\Delta \Pi_1 = [6,0 \cdot 100 + 16 \cdot 25] \cdot 0,8333 \cdot 0,4 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 341,65 \text{ (тис. грн.)}$$

Можливе зростання чистого прибутку  $\Delta \Pi_2$  для потенційного інвестора від можливого впровадження нашої розробки протягом другого (2025) року складе:

$$\Delta \Pi_2 = [6,0 \cdot 100 + 16 \cdot 50] \cdot 0,8333 \cdot 0,4 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 472,31 \text{ (тис. грн.)}$$

Можливе зростання чистого прибутку  $\Delta \Pi_3$  для потенційного інвестора від можливого впровадження нашої розробки протягом третього (2026) року складе:

$$\Delta \Pi_3 = [6,0 \cdot 100 + 16 \cdot 40] \cdot 0,8333 \cdot 0,35 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 423,66 \text{ (тис. грн.)}$$

Приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження нашої розробки становитиме:

$$\text{ПП} = \sum_1^t \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t} \text{ [тис. грн]}, \quad (5.11)$$

де  $\Delta\Pi_i$  – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої роботи, грн;

$t$  – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої роботи, роки. Для нашого випадку  $t$  дорівнює 3 роки;

$\tau$  – ставка дисконтування. Прийmemo  $\tau$  дорівнює 0,10 (10%), яка наразі прогнозується НБУ;

$t$  – період часу від моменту початку розроблення навчального засобу до отримання можливих чистих прибутків.

Тоді приведена вартість зростання всіх можливих чистих прибутків ПП, що їх може отримати потенційний інвестор від комерціалізації нашої розробки, складе:

$$\text{ПП} = \frac{341,65}{(1+0,10)^2} + \frac{472,31}{(1+0,10)^3} + \frac{423,66}{(1+0,10)^4} \approx 282 + 355 + 289 = 926 \text{ (тис. грн.)}$$

Теперішня вартість інвестицій PV, що повинні бути вкладені для реалізації нашої розробки: PV дорівнює  $(1,0\dots5) \times B_{\text{заг}}$ .

Для нашого випадку

$$\text{PV} = (2,0\dots5) \times 64 = 1,5 \times 64 = 96 \text{ (тис. грн.)}$$

Абсолютний ефект від можливих вкладених інвестицій  $E_{\text{абс}}$ .

$$E_{\text{абс}} = \text{ПП} - \text{PV} \text{ [тис. грн]}, \quad (5.12)$$

де ПП – приведена вартість збільшення всіх чистих прибутків від можливого впровадження нашої розробки;

PV – теперішня вартість інвестицій PV дорівнює 96 тис. грн.

Абсолютний ефект від можливого впровадження нашої розробки (при прогнозованому ринку збуту) складе:

$$E_{\text{абс}} = 926 - 96 = 830 \text{ (тис. грн.)}$$

Далі розрахуємо внутрішню дохідність  $E_{\text{в}}$  вкладених інвестицій:

$$E_{\text{в}} = \sqrt[T_{\text{ж}}]{1 + \frac{E_{\text{абс}}}{PV}} - 1 [\%], \quad (5.13)$$

де  $E_{\text{абс}}$  – абсолютний ефект вкладених інвестицій;  $E_{\text{абс}}$  дорівнює 830 тис. грн;

$PV$  – теперішня вартість початкових інвестицій  $PV$  дорівнює 96 тис. грн;

$T_{\text{ж}}$  – життєвий цикл розробки, роки.

$T_{\text{ж}}$  дорівнює 4 роки (2023, 2024, 2025, 2026 роки)

Для нашого випадку отримаємо:

$$E_{\text{в}} = \sqrt[4]{1 + \frac{830}{96}} - 1 = \sqrt[4]{1 + 8,6458} - 1 = \sqrt[4]{9,6458} - 1 = 1,762 - 1 = 0,762 = 76,2 (\%).$$

Далі визначимо ту мінімальну дохідність, нижче за яку потенційному інвестору не вигідно буде займатися комерціалізацією нашої розробки.

Мінімальна дохідність або мінімальна (бар'єрна) ставка дисконтування  $\tau_{\text{мін}}$  визначається за формулою:

$$\tau_{\text{мін}} = d + f, \quad (5.14)$$

де  $d$  – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2023 році в Україні  $d$  дорівнює (0,10...0,12);

$f$  – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина  $f$  дорівнює (0,05...0,30).



Для нашого випадку отримаємо:

$$\tau_{\text{мін}} = 0,12 + 0,30 = 0,42,$$

або  $\tau_{\text{мін}}$  дорівнює 42 %.

Оскільки величина  $E_{\text{в}}$  дорівнює 76,2% більше  $\tau_{\text{мін}}$  дорівнює 42%, то потенційний інвестор у принципі може бути зацікавлений у фінансуванні та комерціалізації розробленого нами навчального засобу.

Далі розраховуємо термін окупності коштів, вкладених у можливу комерціалізацію розробленого нами навчального засобу.

Термін окупності  $T_{\text{ок}}$  розраховується за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{E_{\text{в}}} \text{ [років]}. \quad (5.15)$$

Для нашого випадку термін окупності  $T_{\text{ок}}$  коштів становитиме:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{0,762} = 1,31,$$

що менше 3 років і свідчить про потенційну доцільність комерціалізації розробленого нами навчального засобу.

Далі проведено моделювання залежності величини внутрішньої дохідності вкладених інвестицій від рівня інфляції в країні. Як відомо, на наступні роки рівень інфляції може зрости.

Так, при 20%-й інфляції:

$$\text{ПП} = \frac{341,65}{(1+0,20)^2} + \frac{472,31}{(1+0,20)^3} + \frac{423,66}{(1+0,20)^4} \approx 237 + 273 + 204 = 714 \text{ (тис. грн.)}.$$

Тоді абсолютний ефект від можливого впровадження нашої розробки складе:

$$E_{\text{абс}} = 714 - 96 = 616 \text{ (тис. грн.)}$$

Внутрішня дохідність  $E_{\text{в}}$  вкладених інвестицій становитиме:

$$E_{\text{в}} = \tau_{\text{ж}} \sqrt[4]{1 + \frac{E_{\text{абс}}}{PV}} - 1 [\%], \quad (5.16)$$

де  $E_{\text{абс}}$  – абсолютний ефект вкладених інвестицій;  $E_{\text{абс}}$  дорівнює 616 тисяч грн;  
 $PV$  – теперішня вартість початкових інвестицій  $PV$  дорівнює 96 тисяч грн.

Для нашого випадку отримаємо:

$$E_{\text{в}} = \sqrt[4]{1 + \frac{616}{96}} - 1 = \sqrt[4]{1 + 6,4167} - 1 = \sqrt[4]{7,4167} - 1 = 1,65 = 1,65 - 1 = 0,65 = 65 (\%).$$

Тобто, при рівні інфляції у 20% величина  $E_{\text{в}}$  дорівнює 65%  $> \tau_{\text{мін}}$  дорівнює 42% потенційний інвестор також може бути зацікавлений у фінансуванні та комерціалізації розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу.

Так, при 30%-й інфляції:

$$\text{ПП} = \frac{341,65}{(1+0,30)^2} + \frac{472,31}{(1+0,30)^3} + \frac{423,66}{(1+0,30)^4} \approx 202 + 215 + 148 = 565 \text{ (тис. грн.)}$$

Тоді абсолютний ефект від можливого впровадження нашої розробки складе:

$$E_{\text{абс}} = 565 - 96 = 469 \text{ (тис. грн.)}$$

Внутрішня дохідність  $E_{\text{в}}$  вкладених інвестицій становитиме:

$$E_B = \tau_{ж} \sqrt[4]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1 [\%], \quad (5.17)$$

де  $E_{абс}$  – абсолютний ефект вкладених інвестицій;  $E_{абс}$  дорівнює 469 тисяч грн;  
 $PV$  –теперішня вартість початкових інвестицій  $PV$  дорівнює 96 тисяч грн.

Для нашого випадку отримаємо:

$$E_B = \sqrt[4]{1 + \frac{469}{96}} - 1 = \sqrt[4]{1 + 4,8854} - 1 = \sqrt[4]{5,8854} - 1 = 1,557 = 1,557 - 1 = 0,557 = 55,7 (\%).$$

Тобто, при рівні інфляції у 30% величина  $E_B$  дорівнює 55,7%, що більше  $\tau_{мін}$ , яке дорівнює 42%, потенційний інвестор також може бути зацікавлений у фінансуванні та комерціалізації розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу. При 40%-й інфляції:

$$ПП = \frac{341,65}{(1+0,40)^2} + \frac{472,31}{(1+0,40)^3} + \frac{423,66}{(1+0,40)^4} \approx 174 + 172 + 110 = 456 \text{ (тис. грн.)}.$$

Тоді абсолютний ефект від можливого впровадження нашої розробки складе:

$$E_{абс} = 456 - 96 = 360 \text{ (тис. грн.)}.$$

Внутрішня дохідність  $E_B$  вкладених інвестицій становитиме:

$$E_B = \tau_{ж} \sqrt[4]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1 [\%], \quad (5.18)$$

де  $E_{абс}$  – абсолютний ефект вкладених інвестицій;  $E_{абс}$  дорівнює 360 (тис. грн.);  
 $PV$  –теперішня вартість початкових інвестицій  $PV$  дорівнює 96 (тис. грн.).

Для нашого випадку отримаємо:

$$E_B = \sqrt[4]{1 + \frac{360}{96}} - 1 = \sqrt[4]{1 + 3,75} - 1 = \sqrt[4]{4,75} - 1 = 1,476 = 1,476 - 1 = 0,476 = 47,6 (\%).$$

Тобто, при рівні інфляції у 40% величина  $E_B$  дорівнює 47,6%  $> \tau_{\text{мін}}$  дорівнює 42% потенційний інвестор також може бути зацікавлений у фінансуванні та комерціалізації розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу.

При 50%-й інфляції:

$$\text{ПП} = \frac{341,65}{(1+0,50)^2} + \frac{472,31}{(1+0,50)^3} + \frac{423,66}{(1+0,50)^4} \approx 152 + 140 + 84 = 376 \text{ (тис. грн.)}.$$

Тоді абсолютний ефект від можливого впровадження нашої розробки складе:

$$E_{\text{абс}} = 376 - 96 = 280 \text{ (тис. грн.)}.$$

Внутрішня дохідність  $E_B$  вкладених інвестицій становитиме:

$$E_B = \sqrt[4]{1 + \frac{E_{\text{абс}}}{PV}} - 1 [\%], \quad (5.19)$$

де  $E_{\text{абс}}$  – абсолютний ефект вкладених інвестицій;  $E_{\text{абс}}$  дорівнює 280 (тис. грн.);

$PV$  – теперішня вартість початкових інвестицій  $PV$  дорівнює 96 (тис. грн.).

Для нашого випадку отримаємо:

$$E_B = \sqrt[4]{1 + \frac{280}{96}} - 1 = \sqrt[4]{1 + 2,9167} - 1 = \sqrt[4]{3,9167} - 1 = 1,392 = 1,392 - 1 = 0,392 = 39,2 (\%).$$

І лише при рівні інфляції у 50% величина  $E_B$  дорівнює 39,2%  $< \tau_{\text{мін}}$  дорівнює 42% потенційний інвестор у принципі може бути не зацікавлений у

фінансуванні та комерціалізації розробленого нами навчального засобу, але таке рішення потребує додаткових обґрунтувань (наприклад, знизити рівень ризикованості вкладень тощо).

Залежність величини внутрішньої дохідності вкладених потенційних інвестицій від рівня інфляції в Україні наведено на рисунку. 5.1.

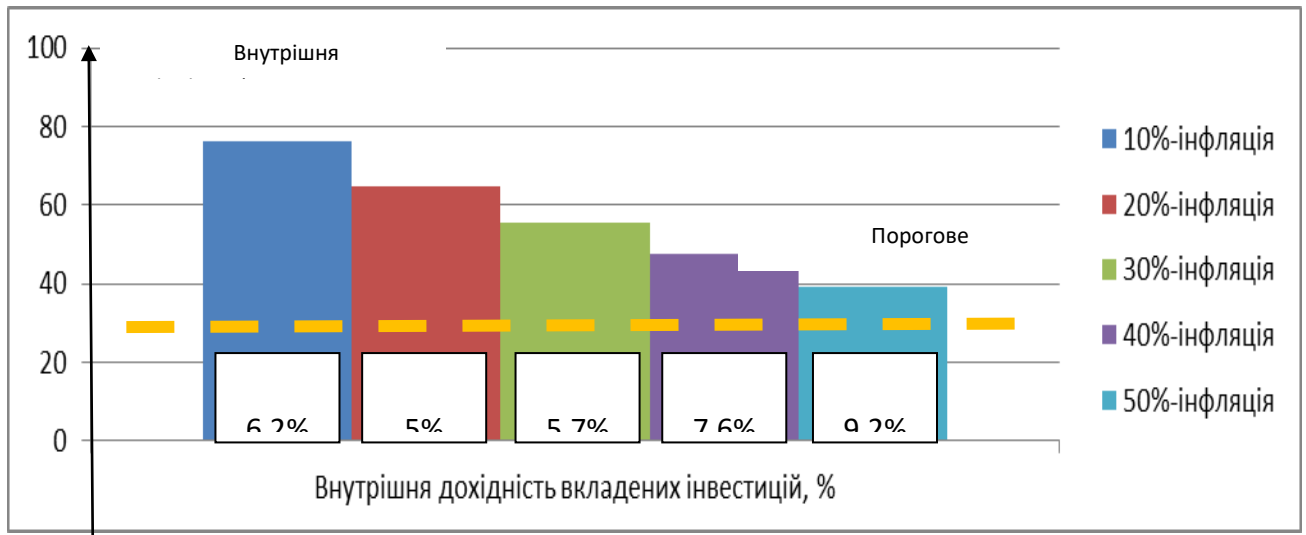


Рисунок 5.1 – Моделювання залежності величини внутрішньої дохідності інвестицій, витрачених на розробку комп'ютеризованого навчального засобу, від рівня інфляції в країні у 10% 20% , 30%, 40% і 50%

Таким чином, основні техніко-економічні показники розробленого нами навчального засобу для дослідження студентами життєвого циклу промислової системи автоматизації, визначені у технічному завданні, виконані.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання досліджень в рамках 1 розділу означений предмет навчального дослідження – життєвий цикл промислової системи автоматизації, який буде відтворюватися за допомогою навчального засобу в рамках наскрізного проєктного практикуму. Для подальшого обґрунтування загальної концепції нового навчального засобу для дослідження способу відображення й обробки цифрового життєвого циклу як типу промислової системи автоматизації, так і її екземпляру, був досліджений реальний виробничий процес хімічного підприємства, а також існуюча його лабораторна імітація та реалізація в ній основних технологічних/технічних процесів. Досліджена також функціональна структура інтегрованого середовища розробки (IDE) ПЗ промислових систем автоматизації «Siemens TIA Portal» та намічені ті способи його застосування, які можуть на практиці вивчати студенти на новому навчальному засобі. Розроблена загальна концепція побудови нового навчального засобу, яка відображає як його складові компоненти, так і часовий вимір процесу виконання студентом відповідного проєктного практикуму.

В результаті виконання розділу 2 магістерської кваліфікаційної роботи на основі концептуальних рішень нового НЗ та вимог технічного завдання на науково-дослідну роботу були спроектоване відповідна архітектурне рішення цього навчального засобу. Розробка архітектури НЗ була виконана окремо для кожного дослідження життєвого циклу промислової СА, що досліджується в новому НЗ, а саме, для дослідження життєвого циклу типу СА за концепцією I3.0, для дослідження життєвого циклу екземпляру СА за концепцією I3.0, для дослідження життєвого циклу типу СА за концепцією I4.0,

Для виконання такого архітектурного проєктування нового НЗ був детально досліджений функціонал інженерного ПЗ «Siemens TIA Portal», яке повинно лежати у основі програмного забезпечення нового НЗ.

Архітектура нового НЗ для кожного з зазначених видів дослідження життєвого циклу СА включає обов'язкове організаційно-комунікаційне

середовище, що призначене для дистанційної інформаційної взаємодії студента та викладача-куратора практикуму, та будується на основі функціоналу (сервісів) системи автоматизованого управління даними освітнього процесу та документообігу «JetIQ» ВНТУ. Тому для розробки оптимальної архітектури цього середовища був детально досліджений існуючий функціонал (сервіси) цієї системи.

Отримані результати даного розділу дозволяють перейти до проєктування функціоналу нового НЗ для усіх зазначених досліджень життєвого циклу СА.

В результаті виконання розділу 3 на основі архітектурного рішення нового НЗ був спроектований алгоритм виконання студентом на цьому НЗ як дослідження життєвого циклу типу СА, побудованої за концепцією «Індустрія 3.0», так і життєвого циклу екземпляру даної СА. Для кожного з цих досліджень обґрунтований перелік проєктних робіт, виконуваних студентом в рамках основних стадій відповідного життєвого циклу системи.

Був спроектований функціонал НЗ для дослідження життєвого циклу типу СА, побудованої за концепцією «Індустрія 3.0». Він включає функції концептуального, ескізного і технічного проєктування студентом типу конкретної СА. Такі проєктні роботи студент має виконувати під час лабораторних і практичних занять з дисципліни «Проєктування систем автоматизації» (бакалаврський рівень підготовки спеціальності 151), а також під час самостійної роботи.

Також був спроектований функціонал НЗ для дослідження життєвого циклу екземпляру СА, побудованої за концепцією «Індустрія 3.0». Він включає функції технічного та робочого проєктування студентом екземпляру конкретної СА на основі обладнання лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка» кафедри АІТ. Такі проєктні роботи студент має виконувати під час лабораторних і практичних занять з дисципліни «Стандарти та проєктування комп'ютерно-інтегрованих систем управління» (магістерський рівень підготовки спеціальності 174), а також під час самостійної роботи.

В результаті виконання розділу 4 були розроблені алгоритми як виконання всього навчального дослідження життєвого циклу типу СА І4.0, так і окремих

стадій цього дослідження – «Формування вимог до СА», «Концепція СА» і «Ескізний проєкт».

На основі конкретних прикладів виконання цих стадій окреслені основні функції нового НЗ, які він забезпечує для студента в ході навчального дослідження життєвого циклу даного типу СА.

В розділі економіки магістерської кваліфікаційної роботи доведена висока економічна ефективність можливого впровадження нової методики проведення проєктного практикуму у вузах України.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Reference Models for Digital Manufacturing Platforms/ Francisco Fraile, Raquel Sanchis, Raul Poler, Angel Ortiz// MDPI: Appl. Sci. 2019, 9, 4433; doi:10.3390/app9204433 [Електронний ресурс] / URL : [www.mdpi.com/journal/applsci](http://www.mdpi.com/journal/applsci).
2. Peter Adolphs. RAMI 4.0: An architectural Model for Industrie 4.0 [Електронний ресурс] / URL: [www.plattform-i40.de](http://www.plattform-i40.de).
3. Трехмерная эталонная архитектурная модель RAMI 4.0 [Електронний ресурс] / URL: <https://www.phoenixcontact.com>.
4. Система управления жизненным циклом создает условия инвестиционной безопасности для производителей и пользователей [Електронний ресурс] / URL: <https://www.phoenixcontact.com>.
5. Пупена О. Огляд сучасних стандартів інтегрованого виробництва / О. Пупена, І. Ельперін, Р. Міркевич Є. // Автоматизація технологічних і бізнес - процесів. – 2016. – Т. 8. – №3. – С. 63-74.
6. TIA Portal V17 simulation program without PLCs hardware [Електронний ресурс] / URL : <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=UIYG4POZ0f8>.
7. Опаренюк Д.П. Навчальний засіб на основі Siemens TIA Portal для дослідження життєвого циклу промислової системи автоматизації / Д.П. Опаренюк, В. М. Папінов / Матеріали 53-ої науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ) [Електронний ресурс]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2024/schedConf/presentations>.
8. Папінов В.М. Організація віртуального виробництва в лабораторії 5303 [Електронний ресурс] / URL : [https://iq.vntu.edu.ua/b04213/html/nlr/nlr.php?card\\_id=41175&id=960&renum=1](https://iq.vntu.edu.ua/b04213/html/nlr/nlr.php?card_id=41175&id=960&renum=1).
9. Папінов В.М. Лабораторна імітація «навчальної фабрики»: гібридне моделювання матеріальних потоків / В.М. Папінов // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. – 2020. - №2(40). – С.65-81 (URL: <https://oeipt.vntu.edu.ua/index.php/oeipt/>

article/view/581).

10. Папінов В.М. Автоматизований виробничий склад: гібридне моделювання в навчальній комп'ютеризованій лабораторії / В.М. Папінов // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. – 2020. - №1(39). – С.61-77 (URL: <https://oeipt.vntu.edu.ua/index.php/oeipt/article/download/571/545/632>).

11. Пупена О.М. Принципи функціонування систем керування основним виробництвом через призму стандарту ІЕС-62264 / О.М. Пупена, О.М. Клименко, Р.М. Міркевич. – К.: НУХТ, 2019. – 49 с.

12. Products for Totally Integrated Automation: Catalog ST 70. – Siemens, 2023, 1692 p. [Електронний ресурс] / URL: [siemens.com/tia](https://www.siemens.com/tia).

13. Delivery Release TIA Portal V17 [Електронний ресурс] / URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109784438/delivery-release-tia-portal-v17?dti=0&lc=en-US>.

14. Human Machine Interface Systems/PC-based Automation: Catalog ST 80/ST PC. – Siemens, 2023, 820 p. [Електронний ресурс] / URL: [siemens.com/simatic](https://www.siemens.com/simatic).

15. OPC UA Information Model Kit for manufacturing use cases/ SiOME / Version 3.0 [Електронний ресурс] / URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/view/109814835/>

16. Batch Automation for discontinuous production [Електронний ресурс] / URL: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/process-control/simatic-pcs-7/batch-automation.html>.

17. WinCC Recipes [Електронний ресурс] / URL: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10360582?tree=CatalogTree>.

18. Wiki : ВНТУ [Електронний ресурс] / URL : <https://wiki.vntu.edu.ua>.

19. ДСТУ ISO/IEC 15288:2005 "Інформаційні технології. Системна інженерія. Процеси життєвого циклу системи".

20. Пупена О.М. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навчальний посібник./ О.М. Пупена, І.В.Ельперін,

Н.М.Луцька, А.П.Ладанюк – К.: Вид-во "Ліра-К", 2011. – 552 с.

21. ГОСТ 34.601-90 «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания» [Электронный ресурс] / URL : [http://standartgost.ru/g//g/ГОСТ\\_34.601-90](http://standartgost.ru/g//g/ГОСТ_34.601-90).

22. Огляд реального автоматизованого виробництва хімічної продукції / Укладач: Папінов В.М. – Вінниця, ВНТУ, 2023. – 17 с.

23. Реальний автоматизований технологічний процес з хімічним реактором (фаза 1 основного технологічного процесу) / Укладач: Папінов В.М. – Вінниця, ВНТУ, 2023. – 12 с.

24. Реальний автоматизований технологічний процес з накопичувачем/дозатором (фаза 2 основного технологічного процесу) / Укладач: Папінов В.М. – Вінниця, ВНТУ, 2023. – 11 с.

25. Реальний автоматизований технологічний процес з роботизованою пакувальною лінією (фаза 3 основного технологічного процесу) / Укладач: Папінов В.М. – Вінниця, ВНТУ, 2023. – 11 с.

26. Реальний автоматизований технологічний процес на основі виробничої лінії з конвеєром (допоміжний технологічний процес) / Укладач: Папінов В.М. – Вінниця, ВНТУ, 2023. – 11 с.

27. Реальний автоматизований технологічний процес на основі виробничої лінії з роботом (допоміжний технологічний процес) / Укладач: Папінов В.М. – Вінниця, ВНТУ, 2023. – 18 с.

28. Реальний автоматизований технічний процес цехового виробничого складу (обслуговуючий технічний процес) / Укладач: Папінов В.М. – Вінниця, ВНТУ, 2023. – 20 с.

29. Реальний автоматизований технічний процес транспортування твердих матеріальних ресурсів конвеєрною системою (обслуговуючий технічний процес) / Укладач: Папінов В.М. – Вінниця, ВНТУ, 2023. – 15 с.

30. Реальний автоматизований технічний процес транспортування рідких матеріальних ресурсів трубопровідною системою (обслуговуючий технічний процес) / Укладач: Папінов В.М. – Вінниця, ВНТУ, 2023. – 14 с.

31. Пупена О. М. Практичні рекомендації до реалізації елементів

стандарту ІЕС 61512 в програмному забезпеченні систем керування/ О. М. Пупена, Р. М. Міркевич, О. М. Клименко. – К: АППАУ, ТК 185 «Промислова автоматизація», 2020. – 46 с.

32. Overview of digital transformation: market size, benefits and trends [Електронний ресурс]. URL: <https://www.analyticsinsight.net/overview-of-digital-transformation-market-size-benefits-and-trends/>.

33. The evolution of digital transformation [Електронний ресурс]. URL: <https://www.analyticsinsight.net/the-evolution-of-digital-transformation/>.

34. Nathan Furr, Andrew Shipilov, Didier Rouillard, Antoine Hemon-Laurens. The 4 Pillars of Successful Digital Transformations [Електронний ресурс]. URL: <https://hbr.org/2022/01/the-4-pillars-of-successful-digital-transformations>.

35. Mohan Subramaniam. The 4 Tiers of Digital Transformation [Електронний ресурс]. URL: [https://hbr.org/2021/09/the-4-tiers-of-digital-transformation?ab=at\\_art\\_art\\_1x4\\_s02](https://hbr.org/2021/09/the-4-tiers-of-digital-transformation?ab=at_art_art_1x4_s02).

36. Digital Transformation in the Manufacturing Industry [Електронний ресурс]. URL: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=U0FjPgF5ZsA>.

37. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт. / Укладачі В.О. Козловський, О.Й. Лесько, В.В.Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

## **ДОДАТКИ**

Додаток А  
(обов'язковий)

Вінницький національний технічний університет  
Інститут інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації  
Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри АІТ

Олег БІСІКАЛ

«  » \_\_\_\_\_ 2023

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на магістерську кваліфікаційну роботу  
«Використання програмного засіб на основі Siemens TIA Portal для дослідження життєвого  
циклу промислової системи автоматизації»

08-31.МКР.015.02.000 ТЗ

Керівник роботи:

к.т.н., проф. кафедри АІТ

Володимир ПАПІНОВ

«  » \_\_\_\_\_ 2023 р.

Виконавець:

ст.. гр. 1АКІТ-22м

Денис ОПАРЕНЮК

«  » \_\_\_\_\_ 2023 р.

## 1 Назва і галузь застосування

Навчальний засіб (НЗ) для для дослідження життєвого циклу промислової системи автоматизації.

НЗ буде використовуватися як програмно-технічний засіб навчання при підготовці у вищому навчальному закладі фахівців зі спеціальностей 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" та 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка".

## 2 Підстава для розробки

Робота виконується на підставі наказу по університету №\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2023 р. та індивідуального завдання, складеного та затвердженого кафедрою АІТ ВНТУ.

## 3 Мета та призначення розробки

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є створення нового навчального засобу на основі інструментальної системи промислової автоматизації «Siemens TIA Portal» для дослідження сучасних засобів відображення й обробки цифрового життєвого циклу як типу промислової системи автоматизації, так і її екземпляру.

призначений для забезпечення практикумів професійних дисциплін "Проектування систем автоматизації" (4 курс бакалаврської підготовки) , "Стандарти та проектування комп'ютерно-інтегрованих систем управління" і "Промисловий Інтернет речей" (1 курс магістерської підготовки);

Використання НЗ дозволять створити умови для індивідуальної когнітивної діяльності студента при рішенні реальних проектних задач, сприяє більш глибокому вивченню студентом теоретичного матеріалу навчальних

дисциплін, а також дає можливість сформувати у студента відповідні професійно-орієнтовані практичні уміння та навички проєктування.

#### 4 Джерела розробки

- 1.Папінов В.М. Багатофункціональна комп'ютеризована лабораторія для наскрізної практичної підготовки студентів спеціальності 151 / В.М. Папінов, Я.А. Кулик // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. – 2018. - №2(36). – С. 89-104.
- 2.Папінов В.М. Лабораторна імітація «навчальної фабрики»: гібридне моделювання матеріальних потоків / В.М. Папінов // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. – 2020. - №2(40). – С.65-81.
- 3.Папінов В.М. Industrial Internet of Things: практичне вивчення на базі багатофункціональної комп'ютеризованої лабораторії / В.М. Папінов, Я.А. Кулик // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. – 2019. - №2(38). – С.122-137.
- 4.Папінов В.М. Автоматизований виробничий склад: гібридне моделювання в навчальній комп'ютеризованій лабораторії / В.М. Папінов // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. – 2020. - №1(39). – С.61-77.
- 5.Пупена О.М. Автоматизовані системи управління виробництвом (MES-рівень): курс лекцій для студ. освіт. ст. "магістр" спец. 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" спеціалізації "Інтегровані автоматизовані системи управління " денної та заочної форм навчання / О.М. Пупена, Р.М. Міркевич. - К.: НУХТ, 2016. -135 с.



## 5 Показники призначення

Об'єктом досліджень є навчальний процес підготовки у вищому технічному навчальному закладі фахівців з автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки.

Предметом досліджень є підвищення ефективності практичного вивчення студентами методів та засобів реалізації життєвого циклу промислових систем автоматизації за рахунок використання в навчальному процесі сучасного навчального засобу.

Задачі, що вирішуються в ході розробки:

1. Дослідження референтної архітектурної моделі «розумного підприємства» RAMI 4.0.
2. Дослідження існуючих механізмів відображення й обробки цифрового життєвого циклу промислової системи автоматизації.
3. Техніко-економічне та науково-технічне обґрунтування загальної архітектури нового навчального засобу на основі інструментальної системи промислової автоматизації «Siemens TIA Portal».
4. Розробка технічного завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.
5. Проектування програмно-технічної частини навчального засобу.
6. Розробка навчально-методичного забезпечення навчального засобу.

Новий НЗ має будуватися за концепцією, що описана в розділі 1 та показана на рисунку 1.16. Основними компонентами даної концепції НХ є такі:

- реальний виробничий процес та його технологічні/технічні процеси;
- технічна та навчально-методична документація, що детально описує їх організацію, устрій та принцип дії;
- інженерне програмне забезпечення для виконання завдань проектного практикуму, що складається з інтегрованого середовища розробки ПЗ «IDE "Siemens TIA Portal" для СА I4.0, а також відповідних додаткових графічних та текстових редакторів ОС Windows;
- система автоматизованого управління даними освітнього процесу та

документообігу «JetIQ» ВНТУ, що утворює організаційно-комунікаційне середовище проєктного практикуму.

Концепція НЗ включає також дві основні зовнішні ролі (актори) - «Викладач – куратор практикуму» та «Студент».

Актор «Викладач – куратор практикуму» розробляє індивідуальні проєктні завдання студента для кожного етапу виконання проєктного практикуму в межах досліджуваного ЖЦ типу СА І4.0, згідно з планом проєктного практикуму опубліковує ці завдання у потрібному порядку (через відповідний сервіс системи «JetIQ»), контролює результати виконання студентом поточного індивідуального завдання (через відповідний сервіс системи «JetIQ») та надає студенту при необхідності поточні теоретичні та практичні консультації (через відповідний сервіс системи «JetIQ»).

Актор «Студент» отримує від викладача – куратора практикуму чергове індивідуальне проєктне завдання (через відповідний сервіс системи «JetIQ»), вивчає відповідну технічну та навчально-методичну документацію, пов'язану з цим завданням, а потім до означеного в завданні терміну поступово виконує його під час лабораторних/ практичних занять та самостійної роботи з дисципліни «Промисловий Інтернет речей», користуючись при цьому як інформацією з означеної вище документації, так і потрібним інженерним програмним забезпеченням (або «IDE "Siemens TIA Portal", або графічним редактором ОС Windows, або текстовим редактором ОС Windows), і своєчасно опубліковує отримані результати проєктування (через відповідний сервіс системи «JetIQ»).

НЗ повинен забезпечувати нормальний режим роботи без втрати працездатності на протязі навчального року.

Умови експлуатації навчального засобу:

- температурний повітря від плюс 10 °С до плюс 35 °С;
- допустима вологість повітря до 90%;
- динамічні удари та вібрація виключені.

## 6 Економічні показники

До основних економічних показників входять:

- термін окупності інвестицій до 3 років;
- витрати на розробку навчального засобу, тис. грн.. – до 70,0 ;
- абсолютний ефект від впровадження, тис. грн.. – не менше 800,0;
- внутрішня дохідність інвестицій, % – не менше 42 ;

## 7 Стадії розробки

1. «Науково-технічне та техніко-економічне обґрунтування роботи» та розробка технічного завдання має бути виконана до 13.10.23 р.
2. «Архітектурне проєктування навчального засобу» має бути виконана до 01.11.23 р.
3. «Проєктування функціоналу НЗ для дослідження ЖЦ промислової СА І3.0» має бути виконана до 15.11.23 р.
4. «Проєктування функціоналу НЗ для дослідження ЖЦ типу промислової СА І4.0» має бути виконана до 01.12.23 р.
5. «Розділ економіки» має бути виконана до 01.12.23 р.

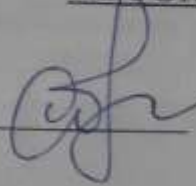
## 8 Порядок контролю та приймання

1. Рубіжний контроль – 01.12.23 р.
2. Попередній захист – 02.12.23 р.
3. Захист роботи – в період з 11.12.23 р. по 29.12.23 р. за графіком, встановленим кафедрою АІТ.

Додаток Б  
(обов'язковий)  
**ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА**

НАВЧАЛЬНИЙ ЗАСІБ НА ОСНОВІ SIEMENS TIA PORTAL ДЛЯ  
ДОСЛІДЖЕННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ПРОМИСЛОВОЇ СИСТЕМИ  
АВТОМАТИЗАЦІЇ

Зав. кафедрн АІТ



д-р техн. наук, професор каф. АІТ  
Олег БІСКАЛО

Керівник роботи



канд. техн. наук, проф каф. АІТ  
Володимир ПАПІНОВ

Тех. контроль



канд. техл. наук, проф.. каф. АІТ  
Володимир ПАПІНОВ

Нормоконтроль



канд. техн. наук, проф.. каф. АІТ  
Володимир ПАПІНОВ

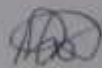
Опонент



канд. техн. наук, професор каф. І  
Микола БИКОВ

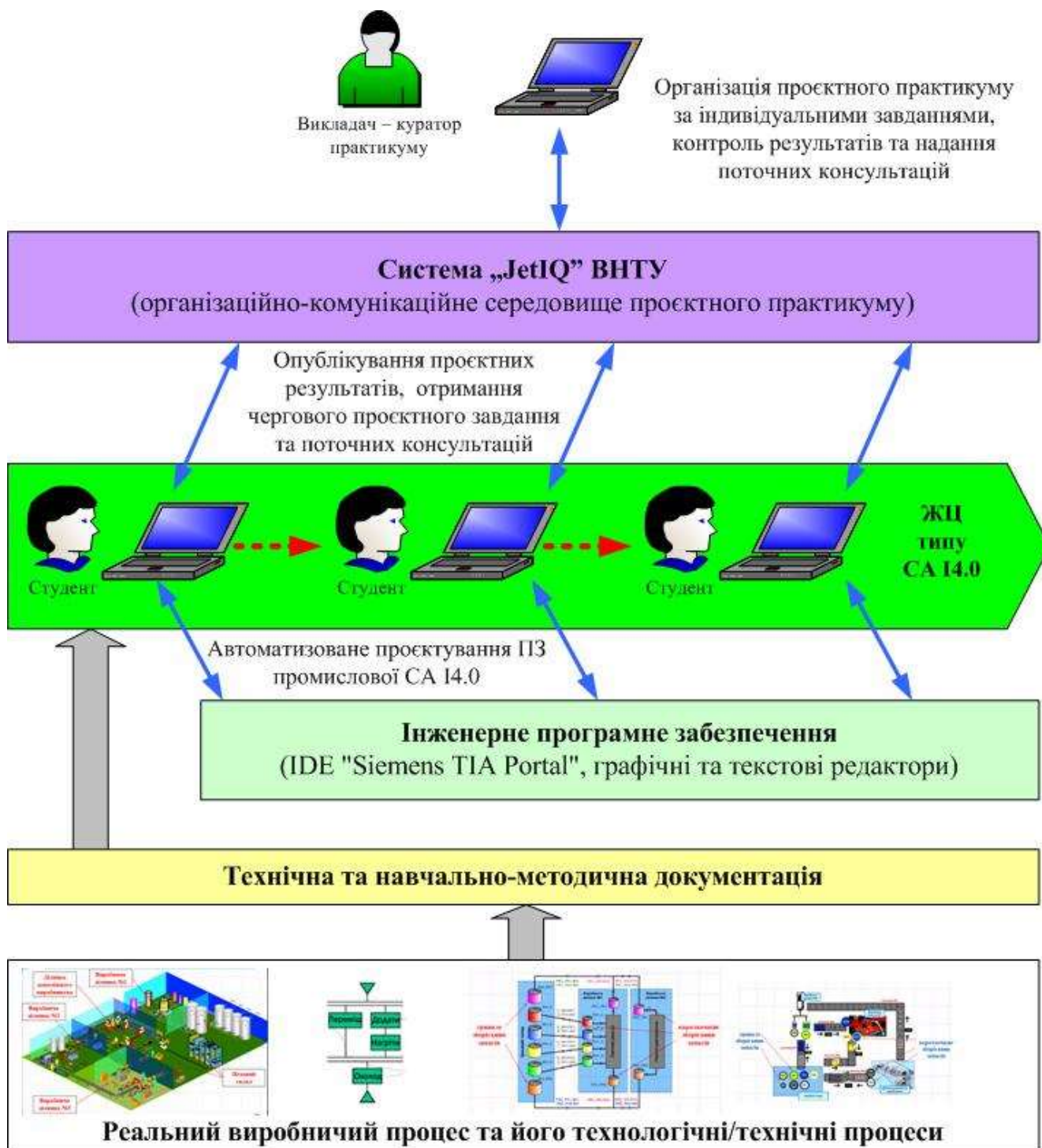
Студент

гр.1АКІТ-22м

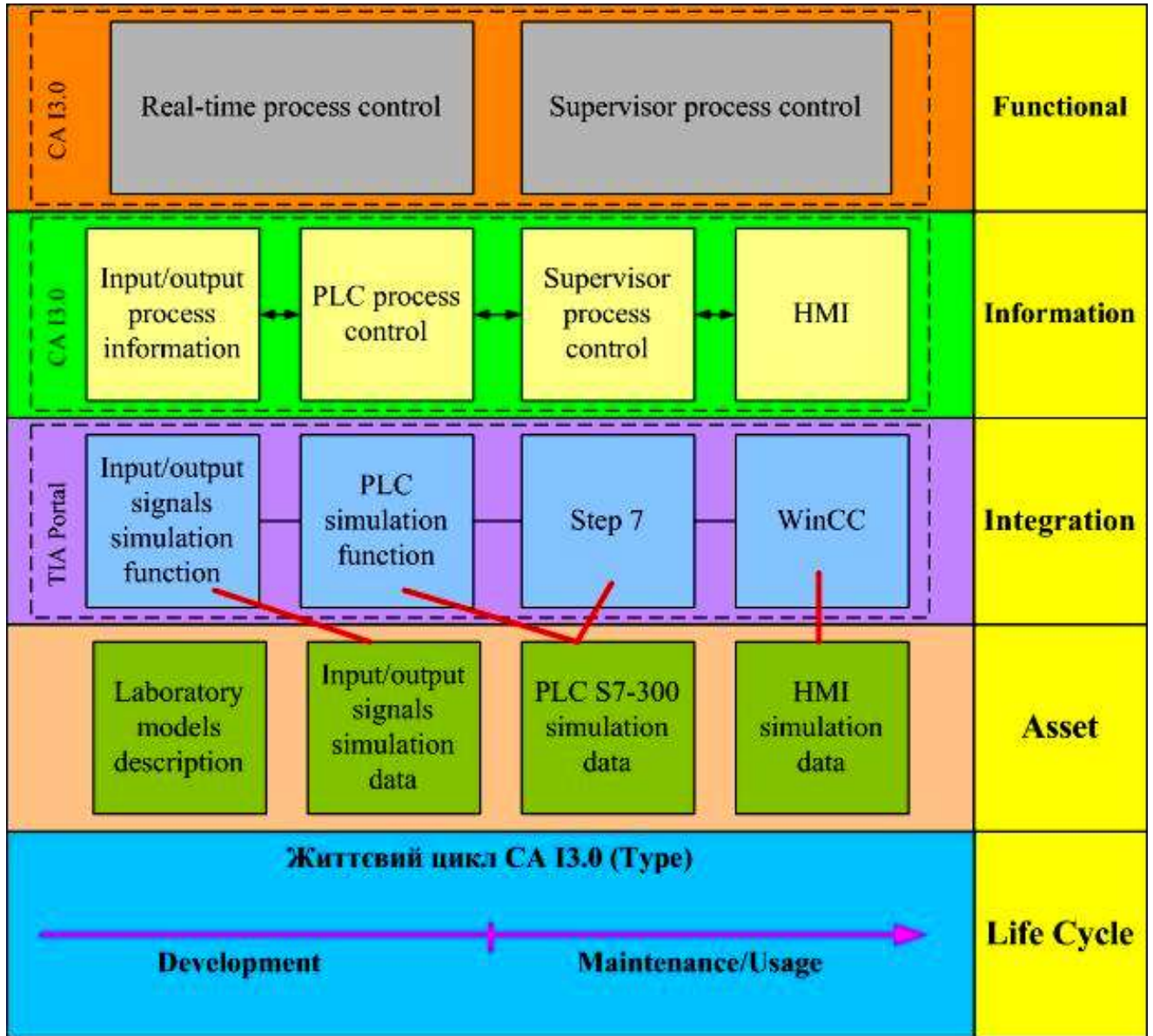


Денис ОПАРЕНІЮК

# КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ НАВЧАЛЬНОГО ЗАСОБУ

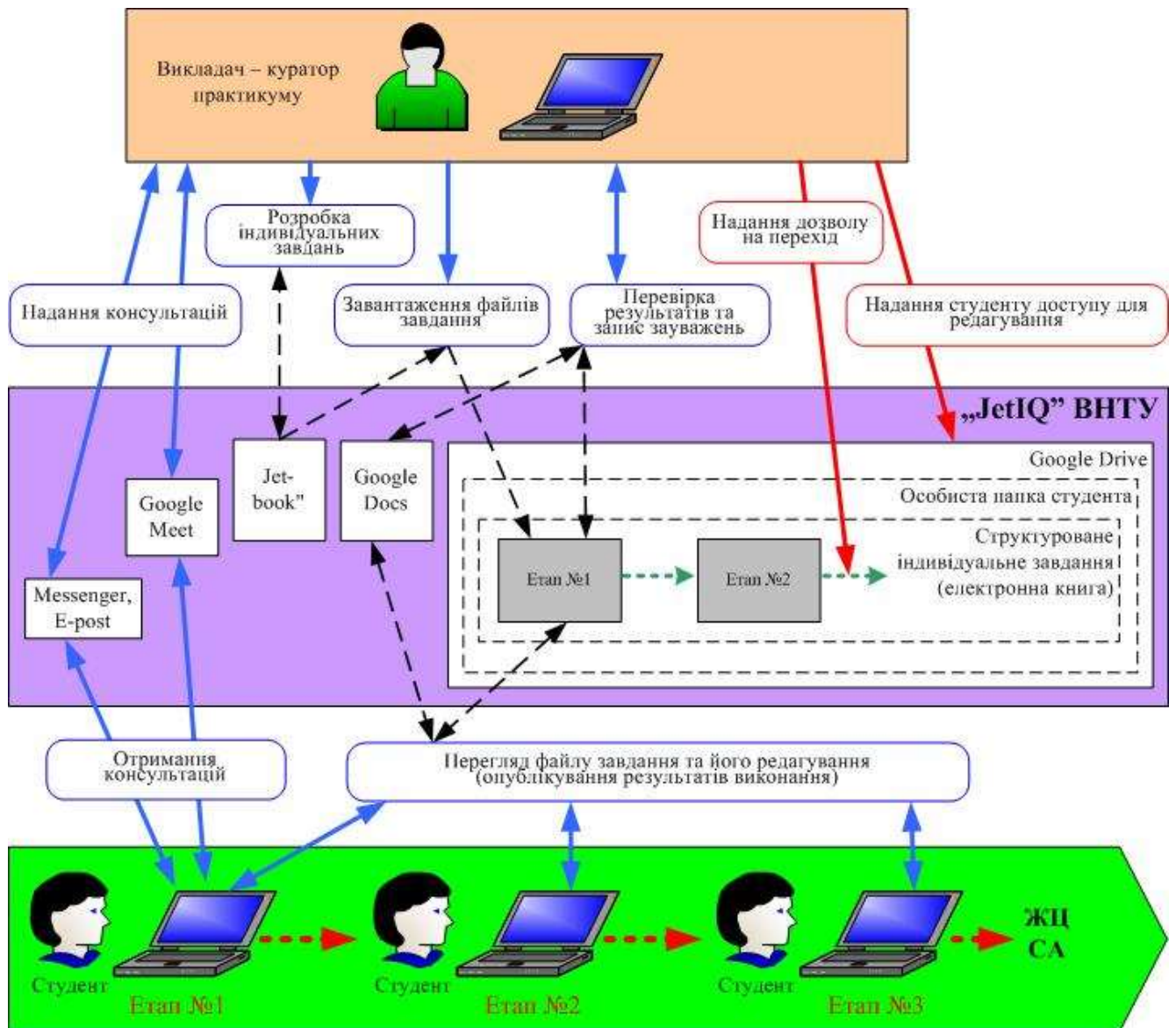


# АРХІТЕКТУРА ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩА НЗ

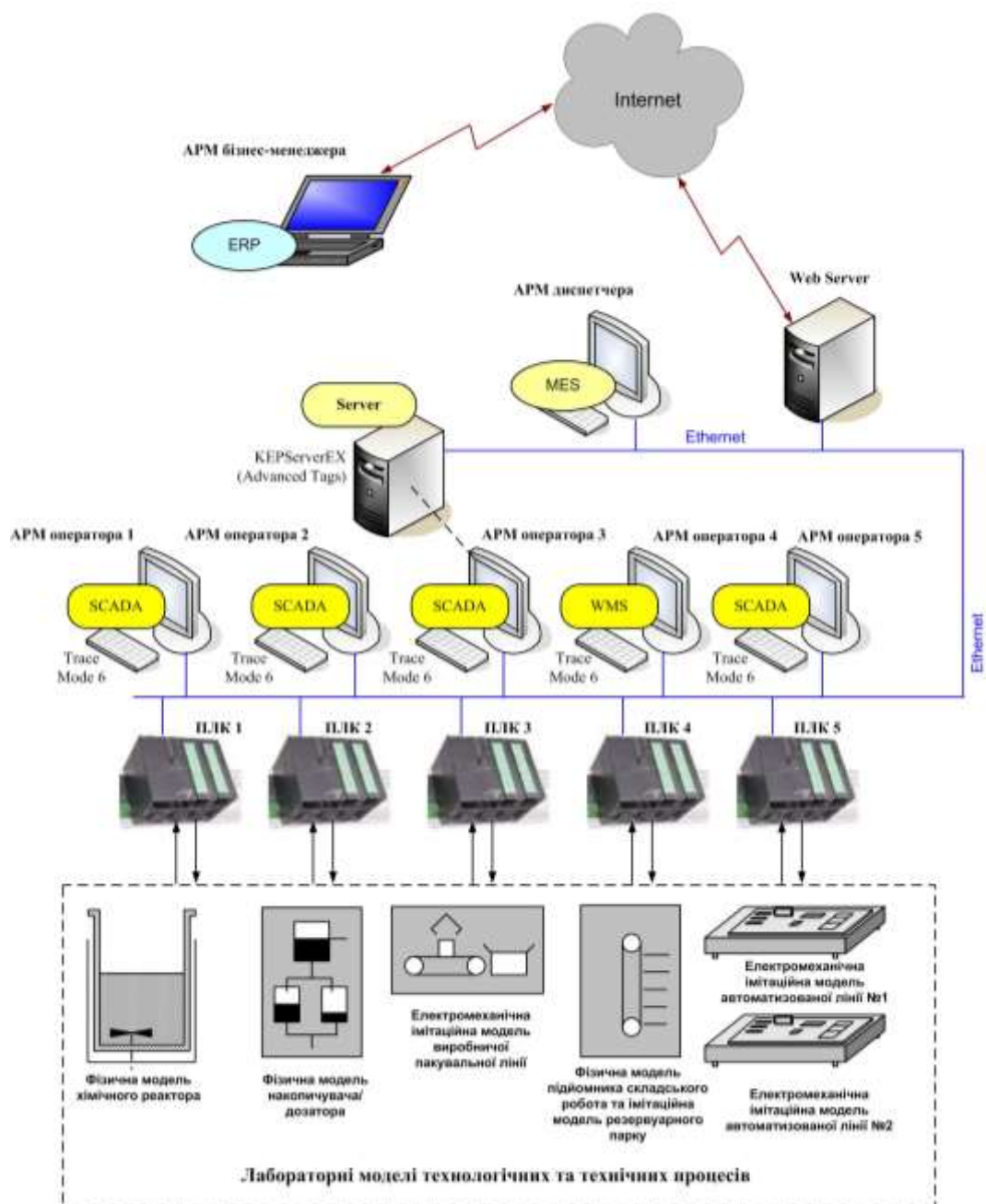


# АРХІТЕКТУРА ОРГАНІЗАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА

НЗ

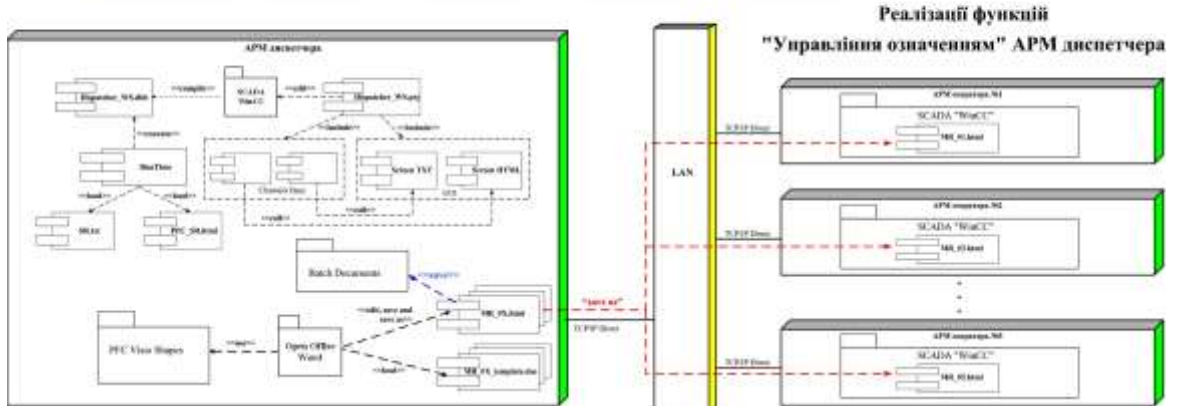
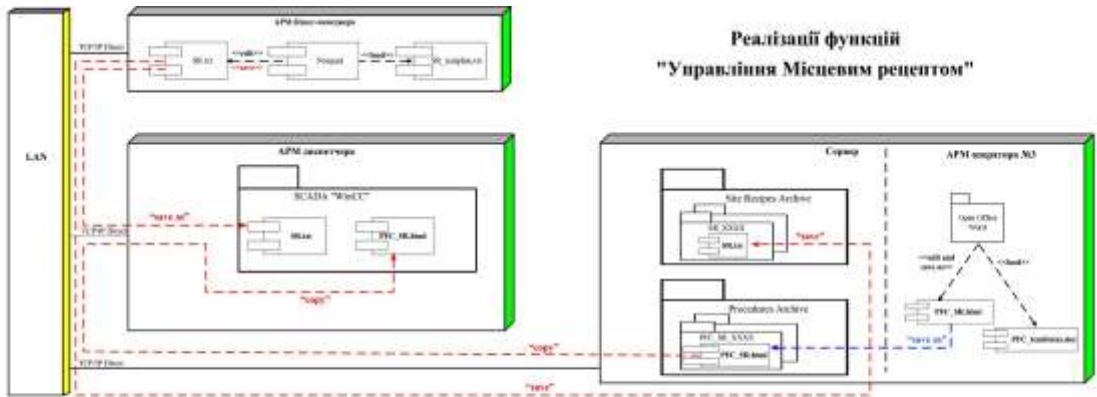


# ПРОЄКТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛУ ІЗ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЖЦ ТИПУ ПРОМИСЛОВОЇ СА ІЗ.0

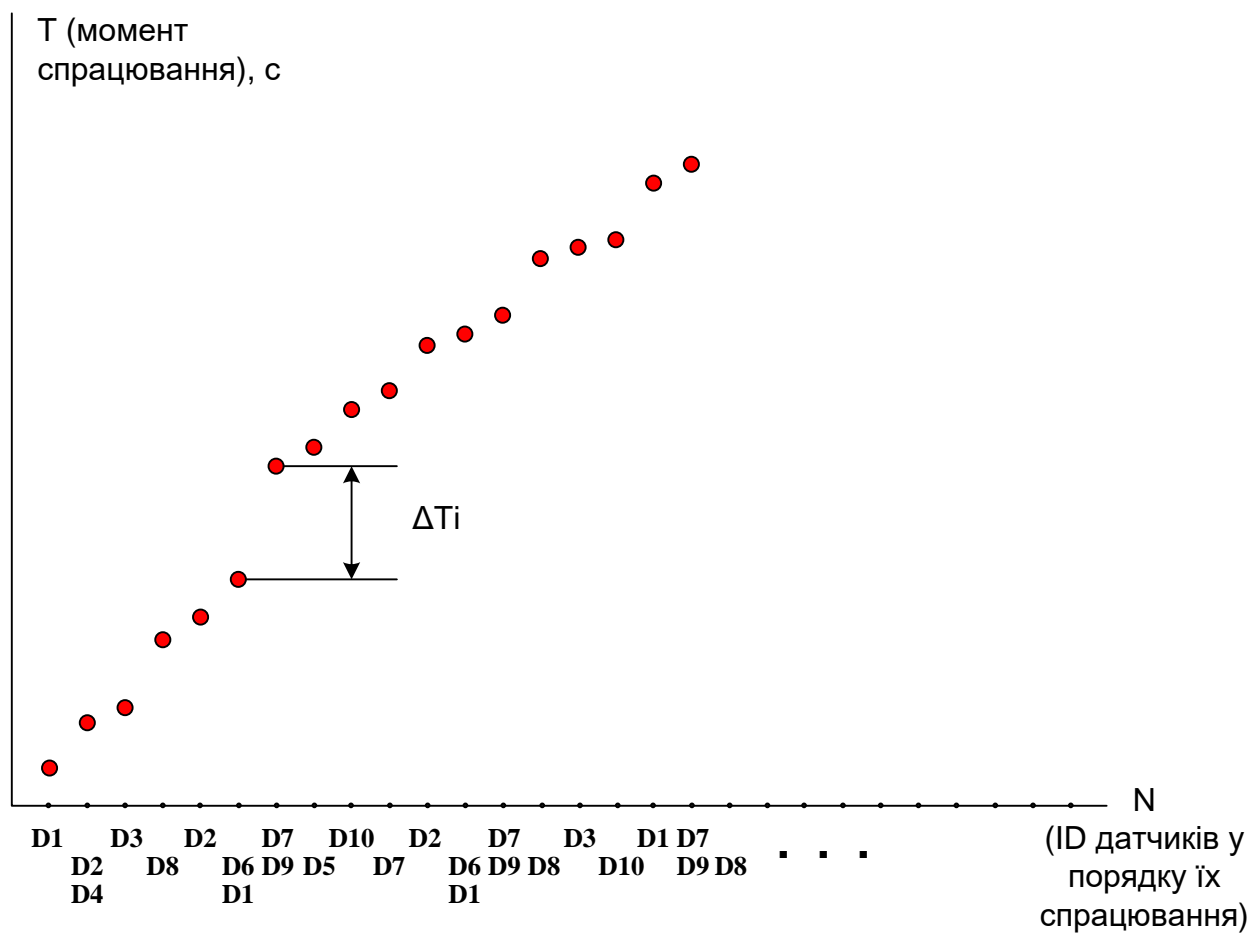
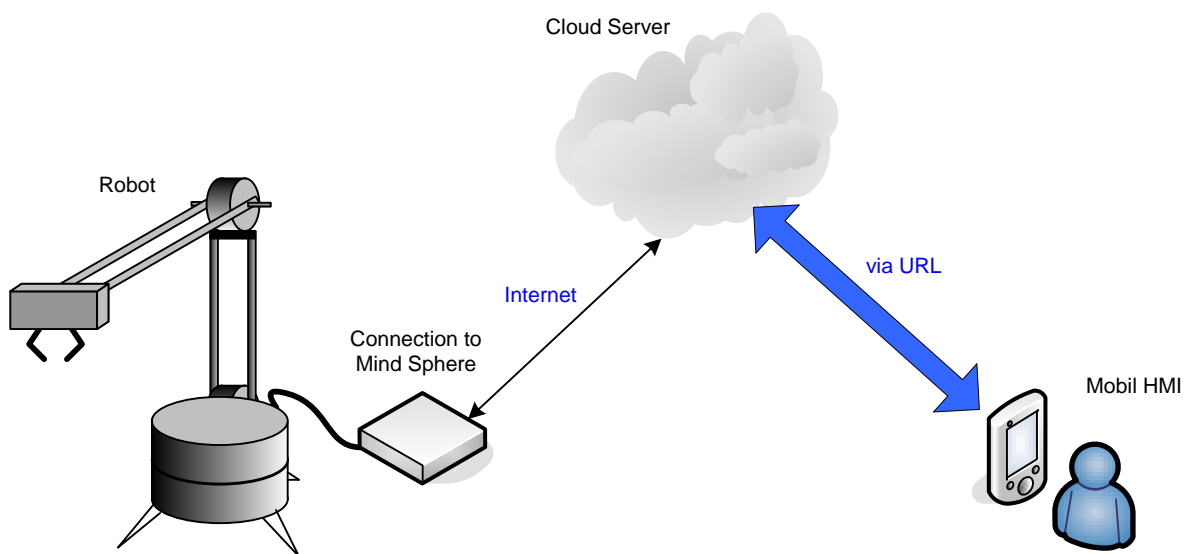




# ПРОЄКТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛУ НЗ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЖЦ ЕКЗЕМПЛЯРУ ПРОМИСЛОВОЇ СА ІЗ.0



# ПРОЄКТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛУ НЗ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЖЦ ТИПУ ПРОМИСЛОВОЇ СА І4.0



Додаток В  
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ  
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Навчальний засіб на основі Siemens TIA Portal  
дослідження життєвого циклу промислової системи автоматизації

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра автоматизації та інтелектуальних інформацій  
технологій, факультет інтелектуальних інформаційних технологій  
автоматизації

(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Plagiat.pl (StrikePlagiarism)

Оригінальність 96,7% Схожість 3,3%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять с  
плагіату.
- 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх над  
кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсут  
самостійності її виконання автором. Роботу направити на ро  
експертної комісії кафедри.
- 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають о  
плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту  
вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку \_\_\_\_\_ Роман МАС

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований сист  
Plagiat.pl (StrikePlagiarism) щодо роботи.

Автор роботи \_\_\_\_\_ Денис ОПАРЕН

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Володимир ЦАП