


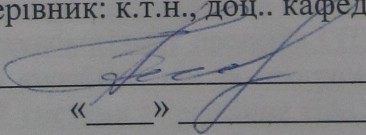
Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:
**«Розробка навчальних засобів дослідження цифрової трансформації
технологічних процесів промислового складу»**

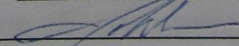
Виконав: студент 2 курсу, групи 1АКІТ-21м,
спеціальності 151 – «Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології»

 Клос О.П.

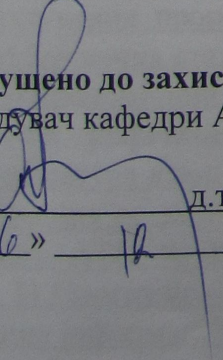
Керівник: к.т.н., доц. кафедри АІТ

 Коцюбинський В.Ю.
« ___ » _____ 2022 р.

Опонент: проф. каф. КСУ Боровська Т.М.

 _____
« ___ » _____ 2022 р.

ушено до захисту
дубач кафедри АІТ

 д.т.н., проф. Бісікало О.В.
« ___ » _____ 2022 р.

Вінниця ВНТУ - 2022 рік

2

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 АІП

д.т.н., професор

О.В. Бісікало

“ 17 ” 09 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу
Клос Олександра Петровича

Тема роботи Розробка навчальних засобів дослідження цифрової трансформації технологічних процесів промислового складу

Рівень роботи Коцюбинський Володимир Юрійович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ВНТУ № 203 від 14.09.2022 р.

Строк подання студентом роботи 12 грудня 2022 р.

Вихідні дані до роботи Комп'ютеризований навчальний засіб (КНЗ) призначений для забезпечення практикумів професійних дисциплін "Кіберфізичні системи автоматизації виробництва" (4 курс бакалаврської підготовки) та "Промисловий Інтернет речей" (1 курс магістерської підготовки); КНЗ повинен створювати умови для індивідуальної когнітивної діяльності студента при рішенні реальних проєктних задач, сприяти більш глибокому вивченню студентом теоретичного матеріалу вказаних навчальних дисциплін, а також давати можливість сформувати у студента відповідні професійно-орієнтовані практичні уміння та навички проєктування цифрової трансформації реальних технологічних процесів; КНЗ повинен будуватися на основі трьох існуючих лабораторних моделей: гібридній моделі технологічних процесів (ТП) промислового складу, організаційній моделі «віртуального виробництва» та програмно-технічній імітаційній моделі інтегрованої автоматизованої системи управління (ІАСУ) «віртуальним виробництвом» в цілому та окремими його технологічними процесами.

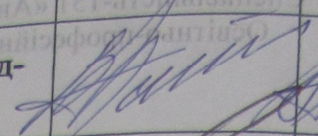
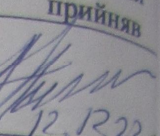
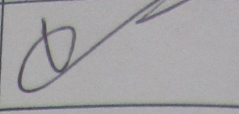
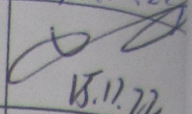
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно дослідити)

1) Техніко-економічне та науково-технічне обґрунтування роботи. 2) Проєктування процесу виконання стадії «Моделювання існуючого автоматизованого ТП». 3) Проєктування процесу виконання стадії «Аналіз реального автоматизованого ТП». 4) Заключна стадія практичного вивчення цифрової трансформації реального АТП. 5) Економічний розділ

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

1) Архітектура комп'ютеризованого навчального засобу. 2) Проєктування процесу виконання стадії «Моделювання існуючого АТП». 3) Моделювання існуючого реального АТП. 4) Проєктування процесу виконання стадії "Аналіз реального АТП". 5) Проєкт архітектури програмного забезпечення АТП для I4.0. 6) Схеми мережних інформаційних потоків АТП для I4.0

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Папінов В.М., професор кафедри АПТ		 12.12.22
Економічний розділ	Козловський В.О., к.е.н., професор кафедри ЕПОВ		 18.11.22

Дата видачі завдання

19.09.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів дослідження	Строк виконання етапів	Примітки
Науково-технічне та техніко-економічне бґрунтування роботи.	26.09.22 р.	
Розробка технічного завдання на науко-дослідну роботу	26.09.22 р.	
Проектування стадії «Моделювання існуючого автоматизованого ТП»	21.10.22 р.	
Проектування стадії «Аналіз реального автоматизованого ТП»	11.11.22 р.	
Проектування та реалізація заключної дії практичного вивчення цифрової трансформації	02.12.22 р.	
Економічний розділ	02.12.22 р.	
Формлення пояснювальної записки	12.12.22 р.	
Заключист роботи	з 19.12.22 р. по 30.12.22 р.	

Студент

(підпис)

Клос О.П.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Коцюбинський В.Ю.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 378.162+681.51

Клос О.П. Розробка навчальних засобів дослідження цифрової трансформації технологічних процесів промислового складу. Вінниця: ВНТУ, 2022. ___ с.

На укр. мові. Бібліогр.: 56 назв; рис.: ___; табл. ___.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблені комп'ютеризовані навчальні засоби дослідження цифрової трансформації технологічних процесів промислового складу. Комп'ютеризовані навчальні засоби призначені для забезпечення практикумів професійних дисциплін "Кіберфізичні системи автоматизації виробництва" (4 курс бакалаврської підготовки) та "Промисловий Інтернет речей" (1 курс магістерської підготовки). На відміну від існуючих комп'ютеризованих навчальних засобів, нові засоби будуються на основі інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне виробництво», що дозволило за рахунок використання додаткових локальних або «хмарних» інструментальних засобів моделювання підвищити ефективність практичної підготовки студентів шляхом виконання ескізного проєкту цифрової трансформації існуючих автоматизованих технологічних процесів промислового складу.

Графічна частина складається з 6 плакатів із результатами проєктування.

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, навчальне дослідження, комп'ютеризована навчальна лабораторія.

ABSTRACT

Klos O.P. Development of educational means for researching a digital transformation of the technological processes of industrial warehouse. Vinnitsa: BHTY, 2022. ___ p

In the master's thesis the computerized educational means for educational exploring a digital transformation of the technological processes of industrial warehouse is developed. The computerized educational means are intended for maintenance of practical works of professional disciplines "Cyber-physical systems of manufacture automation" (4 rate of baccalaureate preparation) and "Industrial Internet of things" (1 rate of magistracy preparations). Unlike existing ones, new computerized educational means are under construction on the basis of the information-educational environment of the «virtual manufacture» type that due to usage of additional local or "cloudy" simulation tools has allowed to increasing an efficiency of student's educational exploring by designing a digital transformation project for the existing automated of the technological processes of industrial warehouse.

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: computer-integrated technology, digital transformation, smart manufacture, educational researching, computerized educational laboratory.

ВІДГУК

керівника магістерської кваліфікаційної роботи

студента (-ки) Клос Олександра Петровича.

на тему Розробка навчальних засобів дослідження цифрової трансформації технологічних процесів промислового складу.

Актуальність наукових досліджень Клос О.П. обумовлена тим, що вони спрямовані на вирішення важливої проблеми сучасної вищої освіти – забезпечення якісної практичної підготовки студентів до застосування новітніх інформаційних технологій в умовах реального переходу існуючих систем управління на четвертий рівень свого розвитку – «Індустрія 4.0».

В якості наукової новизни слід визначити запропонований новий підхід до побудови комп'ютеризованих навчальних засобів та способ організації на їх основі наскрізного навчального дослідження студентами спеціальності 151 «Комп'ютерно-інтегровані технології та автоматизація». В основу нових навчальних засобів покладено «віртуальне виробництво», що реалізоване в комп'ютеризованій навчальній лабораторії, де під управлінням комп'ютерно-інтегрованої системи третього покоління «виготовляється» умовна хімічна продукція. В нових же комп'ютеризованих навчальних засобах з метою підвищення ефективності практичної підготовки студентів до майбутньої цифрової трансформації промислового виробництва запропоновано використовувати локальні та «хмарні» інструментальні засоби моделювання в ході навчального дослідження, та подальшого концептуального та ескізного проектування цифрової трансформації технологічних процесів промислового складу даного «віртуального виробництва».

Практична цінність роботи полягає в тому, що їх можна буде легко застосувати при створенні аналогічних комп'ютеризованих навчальних засобів для підготовки фахівців споріднених галузей знань та спеціальностей.

Результати роботи апробовані шляхом публікації основних її результатів в матеріалах щорічної НТК викладачів та студентів ВНТУ (Вінниця,

ВНТУ, 2022 р.).

Сам магістрант Клос О.П. на протязі навчання та роботи над магістерською кваліфікаційною роботою зарекомендувала себе як сумлінний студент, кваліфікований спеціаліст та інтелігентна людина, яка користується повагою серед студентів та викладачів.

Вважаю, що магістерська кваліфікаційна робота Клос О.П. в цілому відповідає вимогам до випускних робіт освітньо-кваліфікаційного рівня "Магістр" по спеціальності 151 – "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" і може бути оцінена на A, а її автор заслуговує на присудження ступеня магістра з автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Доцент кафедри автоматизації та
інтелектуальних інформаційних технологій
Вінницького національного
технічного університету, к.т.н.

Коцюбинський В.Ю.

ВІДГУК ОПОНЕНТА

на магістерську кваліфікаційну роботу

студента (-ки) Клос Олександра Петровича
на тему Розробка навчальних засобів дослідження цифрової трансформації технологічних процесів промислового складу

Тема магістерської кваліфікаційної роботи, без сумніву, є актуальною. Вона спрямована, по-перше, на підвищення якості практичної підготовки студентів спеціальності за рахунок організації наскрізного дослідження процесу цифрової трансформації за допомогою сучасних комп'ютеризованих навчальних засобів, а, по-друге, комп'ютерно-інтегровані технології, які є предметом навчального дослідження студентами, є зараз одними з найперспективніших у галузі промислової автоматизації.

Результати проведених дослідницьких та проєктних робіт мають і наукову новизну, так як пропонується новий підхід до створення на основі інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне виробництво» нових комп'ютеризованих навчальних засобів для дослідження студентами спеціальності 151 перспективного процесу цифрової трансформації промислового виробництва, побудованого згідно з ідеями концепції четвертою промислової революції «Індустрія 4.0».

Отримані наукові та проєктні результати достатньо обґрунтовані. Їх достовірність підтверджується коректним проведенням аналізу особливостей побудови промислового виробництва на основі ідей четвертої промислової революції «Індустрія 4.0», оглядом існуючих аналогічних рішень цифрової трансформації та вдалою практичною реалізацією нових навчальних засобів.

Магістерська кваліфікаційна робота – завершений науковий труд, має логічну структуру, містить достатньо обґрунтовані та представлені на відповідному науковому та навчально-методичному рівні наукові результати, що частково підтверджуються експериментальними дослідженнями програмних засобів, а частково теоретичними викладками.

Результати роботи мають, без сумніву, і практичну цінність, бо призначені для впровадження у навчальний процес кафедри АІТ, а також, можуть бути застосовані при створенні аналогічних навчальних засобів для підготовки фахівців споріднених галузей знань та спеціальностей.

Основні положення магістерської кваліфікаційної роботи опубліковані в матеріалах щорічної НТК викладачів та студентів ВНТУ (Вінниця, ВНТУ, 2022р.).

До недоліків магістерської кваліфікаційної роботи слід віднести:

– в роботі занадто багато місця відведено для огляду основних ознак «розумного» підприємства та прикладів цифрової трансформації аналогічних технологічних процесів, це все можна було оформити у вигляді коротких повідомлень та відповідних посилань на інформаційні джерела;

– зміст технічного завдання (додаток А) не впливає логічно з матеріалів дуже ємного першого розділу, а являє собою перелік вимог до науково-дослідної роботи, які ніде до того не були означені чи обговорені;

– в якості моделі інформаційних потоків в ескізному проєкті цифрової трансформації вибрана схема мережних інформаційних потоків, хоча, на мій погляд, ця схема більше відповідає рівню технічного проєкту, а на рівні ескізного проєкту можна було використати, наприклад, графову модель інформаційних потоків.

Проте, відзначені недоліки не перешкоджають загальній позитивній оцінці роботи.

Висновок. Необхідно відмітити, що в представленій роботі на достатньо високому рівні вирішена актуальна науково-технічна задача, яка має і практичне значення. Відзначені недоліки суттєво не впливають на загальну позитивну оцінку роботи, яка за змістом, актуальністю, новизною і практичною цінністю є завершеною науково-дослідною роботою і відповідає вимогам МОН України до магістерської кваліфікаційної роботи. В даній роботі викладені науково обґрунтовані теоретичні та практичні розробки, спрямовані на вдосконалення технічної підтримки процесу формування професійно-орієнтованих знань та умінь студентів вищої технічної школи. Автор магістерської роботи Клос Олександр Петрович заслуговує на присудження кваліфікації магістра за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. Рекомендована оцінка випускної роботи "А".

Професор кафедри комп'ютерних систем
управління Вінницького національного
технічного університету, д.т.н.

Боровська Т.М.

ЗМІСТ

ВСТУП	
1 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ТА НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ	
1.1 Цифрова трансформація виробничого підприємства	
1.2 Аналіз існуючих технологічних процесів «віртуального виробництва»	
1.3 Цифрова трансформація аналогічних технологічних процесів	
1.4 Розробка загальної архітектури навчальних засобів	
1.5 Висновки до розділу	
2 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «МОДЕЛЮВАННЯ ІСНУЮЧОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ТП»	
2.1 Діаграма станів процесу виконання стадії	
2.2 Розробка моделей існуючого АТП актором «Викладач»	
2.3 Розробка моделей існуючого АТП актором «Студент»	
2.4 Висновки до розділу	
3 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «АНАЛІЗ РЕАЛЬНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ТП»	
3.1 Загальне бачення	
3.2 Розробка алгоритму виконання аналізу	
3.3 Приклад виконання аналізу	
3.4 Висновки до розділу	
4 ЗАКЛЮЧНА СТАДІЯ ПРАКТИЧНОГО ВИВЧЕННЯ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ РЕАЛЬНОГО АТП	
4.1 Означення основних станів процесу дослідження	
4.2 Дослідження предметної області І4.0 промислової автоматизації ..	
4.3 Ескізний проєкт початкової цифрової трансформації АТП	
4.4 Концепція поглибленої цифрової трансформації АТП	
4.5 Висновки до розділу	

5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

**5.1 Технологічний аудит розроблених комп'ютеризованих
навчальних засобів.....**

**5.2 Розрахунок витрат на розробку комп'ютеризованих
навчальних засобів.....**

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

ВИСНОВКИ

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

ДОДАТКИ

**ДОДАТОК А (обов'язковий) Технічне завдання на
науково-дослідну роботу**

**ДОДАТОК Б (обов'язковий) Графічна частина магістерської
кваліфікаційної роботи**

**ДОДАТОК В (довідковий) Протокол перевірки навчальної
(кваліфікаційної) роботи**

ВСТУП

Актуальність роботи. Для підвищення якості підготовки фахівців в області автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій на кафедрі АІТ нещодавно введені до навчального плану дві нові професійно-орієнтовані дисципліни – «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва» (бакалаврський рівень підготовки) та «Промисловий Інтернет речей» (магістерський рівень підготовки), які повинні надати студентам основні теоретичні відомості та практичні знання щодо цифрової трансформації існуючого комп'ютерно-інтегрованого виробництва у «розумне» цифрове виробництво, що функціонує за концепцією «Індустрія 4.0» [1]. Основною формою практикуму у цих дисциплінах є лабораторні заняття, на яких студенти мають отримувати практичні знання та набувати професійного досвіду у проектуванні та реалізації різноманітних систем та засобів автоматизації для цифрового виробництва. Тому створення нових ефективних навчальних засобів для навчально-методичного та технічного забезпечення такого лабораторного практикуму є актуальною задачею.

Для реалізації лабораторного практикуму з різних професійно-орієнтованих та спеціальних дисциплін спеціальності 151 на кафедрі АІТ вже створена сучасна комп'ютеризована лабораторія, програмно-технічні засоби якої утворюють інформаційно-освітнє середовище типу «віртуальне підприємство», яке функціонує за сучасною концепцією комп'ютерно-інтегрованого виробництва – «Індустрія 3.0» [2-5]. Це підприємство включає основні та допоміжні технологічні процеси, а також різноманітні обслуговуючі технічні процеси.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є створення на основі існуючого інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне підприємство» комп'ютеризованого навчального засобу для практичного вивчення студентами спеціальності 151 методів та засобів цифрової трансформації [6] технологічних процесів його промислового складу [7] в рамках концепції «Індустрія 4.0» .

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

інтегрованих технологій. Такий об'єкт досліджень зазвичай вивчається в рамках наукової дисципліни "Інженерна педагогіка".

Предметом досліджень є підвищення ефективності навчального дослідження студентами методів та засобів цифрової трансформації існуючих технологічних процесів промислового складу у «розумні» цифрові технологічні процеси за рахунок використання в лабораторному практикумі сучасних комп'ютеризованих навчальних засобів.

Задачі досліджень магістерської кваліфікаційної роботи:

1. Детальне вивчення існуючої реалізації інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне підприємство».

2. Дослідження методів та засобів цифрової трансформації сучасного підприємства у перспективне «розумне» цифрове підприємство.

3. Техніко-економічне та науково-технічне обґрунтування загальної конфігурації нових комп'ютеризованих навчальних засобів.

4. Розробка технічного завдання на науково-дослідну роботу.

5. Проектування програмно-технічної частини навчальних засобів.

6. Розробка навчально-методичного забезпечення навчальних засобів.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження полягатиме в тім, що на відміну від існуючих комп'ютеризованих навчальних засобів, нові засоби будуються на основі інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне підприємство», що дозволяє за рахунок використання додаткових локальних або «хмарних» віртуальних інструментальних середовищ підвищити ефективність практичної підготовки студентів шляхом виконання ескізного проекту цифрової трансформації існуючих технологічних процесів виробничого складу «віртуального підприємства» (цифрове моделювання інфраструктури складу, розміщення та пересування в ній матеріальних ресурсів, радіочастотні мітки та мережа сенсорів, «розумна» виробнича логістика, роботизація [8-14].

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

Апробація результатів дослідження: основні результати виконання магістерської кваліфікаційної роботи опубліковані в матеріалах щорічної НТК викладачів та студентів ВНТУ (Вінниця, ВНТУ, 2022 р.) [15].

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

1 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ТА НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ

1.1 Цифрова трансформація виробничого підприємства

Основною метою Індустрії 4.0 є реалізація подвійної стратегії, в основі якої лежить координація провідних постачальників і ведучих ринкових стратегій [16]. Нові принципи проектування допомагають компаніям створювати передові пілотні проекти з використанням компонентів Індустрії 4.0. Шість принципів проектування на базі компонентів Індустрії 4.0 наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Принципи проектування на базі компонентів Індустрія 4.0

Пріоритети проектування	Кіберфізичні системи	Інтернет речей	Інтернет сервісів	Розумне підприємство
Сумісність	+	+	+	+
Віртуалізація	+	-	-	+
Децентралізація	+	-	-	+
Підтримка реального часу	-	-	-	+
Сервіс-орієнтованість	-	-	-	-
Модульність	-	-	-	-

Основні принципи проектування пояснюються далі на базі ініціативи SmartFactoryKL. SmartFactoryKL - це незалежна від постачальника технологія, розроблена в німецькому дослідницькому центрі штучного інтелекту. Демонстраційний завод був побудований у ході проекту RESCOM. Він обробляє деталі для виробництва виробів і збирає їх. Корпуса виробів оснащені RFID-міткою, у якій збережені всі дані по їхньому виробництву.

Сумісність. Взаємодія з компонентами CPS(Cyber-physical systems, кіберфізичні системи) є дуже важливим фактором для персоналу, що використовує інтегровані рішення Інтернету речей (IoT) і Інтернету сервісів (IoS)

для рішення виробничих завдань. Розробка нових стандартів буде ключовим фактором успіху для зв'язку між CPS різних виробників. Німецька комісія по електронних і інформаційних технологіях DIN і VDE визнала цю потребу й опублікувала «Дорожню карту німецького стандарту» в 2013 році.

У контексті ініціативи SmartFactoryKL це означає, що всі CPS всередині підприємства (постачальники деталей, складальні лінії й продукція) можуть спілкуватися один з одним через відкриті мережі й семантичні описи.

Віртуалізація виробничих процесів означає, що за допомогою компонентів CPS можна контролювати фізичні (виробничі) процеси. Інформація, що надходить з датчиків, пов'язаних з реальними виробничими процесами, передається у віртуальну модель відповідного виробничого процесу, пов'язаного з іншими імітаційними моделями. У такий спосіб створюється віртуальна копія фізичного підприємства. На заводі SmartFactoryKL віртуальна модель містить всі CPS кожного виробничого процесу. У випадку невдачі система віртуального підприємства видасть попередження й реальне виробництво не постраждає. Крім того, вся зібрана інформація буде потрібна для виконання наступних етапів програми розвитку Індустрії 4.0.

Децентралізація: зростаючий попит на окремі дрібносерійні партії продукції усе більше утрудняє централізоване управління убудованими підсистемами. Розгорнуті CPS на локальних обчислювальних платформах підприємства дозволяють їм самостійно приймати рішення. Тільки у випадках критичних збоїв виконання подібних завдань може делегуватися на більш високий рівень. Проте, для забезпечення якості виконання технологічних процесів необхідно крім локального моніторингу підсистем у будь-який момент уміти контролювати роботу всіх підсистем на високому рівні. У контексті децентралізації технологій заводу SmartFactoryKL це означає, що RFID-мітки кожного виробу «скажуть» машинам наступного етапу технологічного ланцюжка, які робочі кроки необхідно виконати. Тому тотальне централізоване планування й контроль у цілому більше не потрібні.

Підтримка реального часу: для рішення організаційних завдань необхідно, щоб оперативні й технологічні дані збиралися й аналізувалися в режимі реального

часу. У концепції SmartFactoryKL відзначено, що стан заводу має постійно контролюватися й аналізуватися таким чином, щоб сам завод міг реагувати на відмову верстата або виробничої лінії й перенаправляти продукцію на іншу складальну ділянку.

Сервіс-орієнтованість: сервісні послуги компаній, CPS і людей стануть доступні після інтеграції технологій IoT і можуть використовуватися іншими гравцями ринку. Вони можуть пропонуватися як усередині підприємства, галузі, так і в рамках транснаціональних компаній. Концепція заводу SmartFactoryKL побудована на застосуванні сервіс-орієнтованої архітектури. Всі CPS пропонують свої функціональні можливості як інкапсульованих веб-сервіс, а також як вже конфігуровану операцію для конкретного продукту, засновану на специфічних вимогах клієнта, «прописану» у мітці RFID.

Модульність: модульні системи можуть гнучко адаптуватися до вимог, що змінюються, шляхом заміни або розширення окремих модулів, тому модульними системами можна більш гнучко регулювати виробничі процеси у випадку сезонних коливань або часто мінливих характеристик продукції. Подібні модулі в рамках концепції заводу SmartFactoryKL можна додавати (змінювати) за допомогою технології Plug&Play за рахунок стандартизованих програмних і апаратних інтерфейсів. Нові модулі, що додаються, автоматично ідентифікуються й можуть відразу використовуватися через IoT.

Виходячи з перерахованих методів, можна зробити висновок, що революційні додатки з'являться головним чином у результаті об'єднання інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) із технологіями виробництва й АСУ ТП. Для цього планується використовувати можливості CPS-платформ і в середньостроковій перспективі адаптувати їх у системи управління виробництвом. Для досягнення безперервного ланцюга інтеграції всіх видів продукції, виробничих ресурсів і виробничих систем у довгостроковій перспективі буде потрібно великий обсяг науково-дослідної роботи.

До пріоритетних напрямків майбутніх досліджень можна віднести створення мережних або автономних повністю відцифрованих виробничих систем. У довгостроковій перспективі вони будуть складатися з відповідних

бібліотек функціональних CPS-компонентів. Квантовий стрибок буде можливий тільки в тому випадку, якщо існуючі базові технології будуть розроблені відповідно до вимог умов виробництва. Отримані результати (методи, підходи, найбільш успішні приклади й проекти) повинні поширюватися по всій галузі.

Хоча дослідження в рамках концепції Індустрії 4.0 у значній мірі будуть реалізовані за рахунок ресурсів самої галузі, усе ще існує потреба у фундаментальних і довгострокових дослідженнях. Основні теми довгострокових досліджень можна позначити в такий спосіб:

- 1). Горизонтальна інтеграція через структурні моделі бізнес-процесів.
- 2). Безперервна розробка через всі ланцюжки поставок.
- 3). Вертикальна інтеграція й створення мережі окремих виробництв.
- 4). Нові соціальні інфраструктури на робочих місцях.
- 5). Технології кіберфізичних систем.

В інтересах соціальної відповідальності необхідно збільшити заученість персоналу в процеси проектування й планування виробництва. Тому для CPS будуть потрібні оновлення системи організації робіт, що покривають усі бізнес-процеси, підвищення продуктивності праці співробітників, створення системи розвитку індивідуумів протягом всього життя. Для рішення цих завдань будуть притягнуті експертні групи, що включають у себе інженерів, експертів по ІТ, психологів, ергономістів, соціальних і професійних учених, лікарів і проектувальників.

Індустрія 4.0 - складна й комплексна ініціатива, що охоплює кілька частково пересічних областей. У жовтні 2012 року робоча група Індустрії 4.0 представила перелік середньострокових і довгострокових рекомендованих досліджень. Далі наведені розділи, де позначена потреба у зміні промислової політики й бізнес-рішень, які були рекомендовані комісією для впровадження.

Стандартизація й відкриті стандарти для нової архітектури: у рамках ініціативи Індустрії 4.0 промислові підприємства повинні бути об'єднані в загальну мережу з інтегрованими в ній структурними моделями бізнес-процесів. Це відбудеться в тому випадку, якщо будуть розроблені й впроваджені відповідні галузеві стандарти. Основну увагу розроблювачі стандартів повинні приділити

умовам і механізмам обміну інформацією. Повний технічний опис і впровадження цих умов у концепції згадується як еталонна архітектура. Еталонна архітектура - це сукупна модель взаємодії компаній-партнерів при створенні продукції й наданні послуг. Вона повинна служити основою для структурування, розвитку й інтеграції технологічних систем, що відповідають вимогам ініціативи Індустрії 4.0. Структура еталонної архітектури представлена на рисунку 1.1 у формі додатків і сервісів програмного забезпечення. Тому що структурна модель бізнес-процесів в Індустрії 4.0 містить у собі компанії різного профілю з різними бізнес-моделями, роль еталонної архітектури повинна допомогти нівелювати різні підходи до єдиного процесу. Для цього буде потрібно домовитися про основні структурні принципи, інтерфейси й обмін даними між компаніями-партнерами.

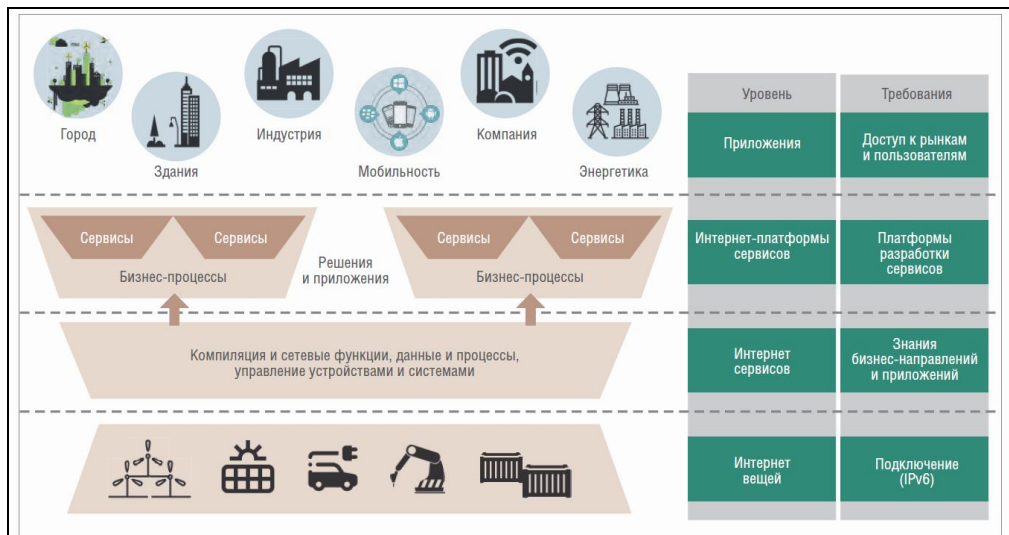


Рисунок 1.1 – Еталонна архітектура для об'єднання Інтернету речей з Інтернетом сервісів

На рисунку 1.1 чітко можна виділити наступні блоки еталонної моделі:

- виробничі процеси, пов'язані з обробкою й логістикою;
- АСУ ТП на виробничих підприємствах, такі як розумні пристрої автоматизації, польові пристрої, промислова мережа, програмувальні логічні контролери, виконавчі механізми, мобільні пристрої, сервери, автоматизовані робочі місця, веб-додатки й т. п.;

- додатки, розгорнуті у виробничому середовищі, системи збору й зберігання даних з датчиків, послідовний контроль, безперервний контроль, блокування, технологічні дані, машинні дані, обробка даних, архівування, аналіз трендів, функції планування й оптимізації;

- додатки, використовувані однією або кількома компаніями, наприклад, бізнес-процеси планування й управління, міжвузлової логістики або підтримки структурних моделей управління, включаючи відповідні інтерфейси й інтеграцію з виробничим середовищем;

- дані життєвого циклу продукту/виробу (PLM). Наприклад, це можуть бути дані, отримані безпосередньо з виробничого процесу, щоб надалі запланувати необхідні ресурси (обладнання й персонал). На підставі цієї інформації можна послідовно оптимізувати виробничі процеси в частині використовуваного обладнання, електричних і технологічних властивостей АСУ ТП.

Приклад виробничої системи наведений на рисунку 1.2 для того, щоб загалом обрисувати принцип об'єднання різних підприємств із різними бізнес-процесами в еталонну архітектуру Інтернету речей і Інтернету сервісів.

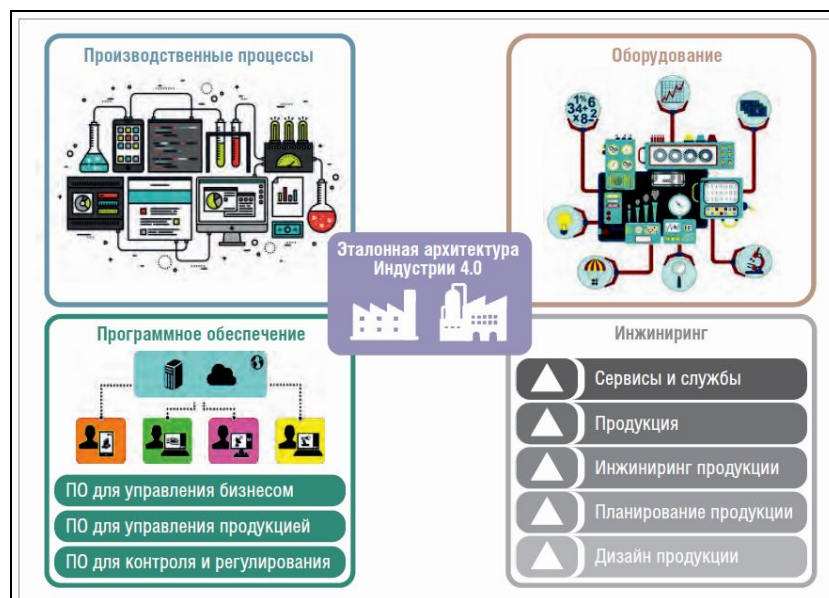


Рисунок 1.2 – Приклади інтеграції підприємств з різними бізнес-моделями за допомогою еталонної архітектури

У рамках розвитку ініціативи «Індустрії 4.0» буде потрібно створити робочу групу, основним завданням якої буде винятково робота над стандартизацією й створенням еталонної архітектури. Основними завданнями цієї групи будуть:

1). Побудова загального розуміння цілей, вигід, ризиків і стратегії створення довірчих відносин між компаніями-учасниками. Роботу зі зміцнення довіри повинні взяти на себе професійні асоціації.

2). Побудова стрункої термінології ключових понять із наступним випуском «Глосарія Індустрії4.0», у якому будуть описані універсальні (основної, базової й еталонні) моделі, стандарти для сервісної архітектури Індустрії4.0, стандарти для функціональної автоматизації, термінологічні стандарти, розуміння автономних і систем, що самоорганізуються, а також їхнє планування, експлуатація й безпека.

3). Створення карти існуючих органів стандартизації. Поточні й установлені підходи до автоматизації еталонної архітектури будуть потім зазначені на карті. Це може бути основою для оцінки проробленої роботи й планування наступного розвитку. При створенні карти необхідно звернути увагу на ефективність витрат і часові обмеження. Необхідно застосувати цілісний підхід для досягнення розумного балансу між стандартизацією й індивідуальністю. Структура й модель ліцензування повинні бути відкритими й прозорими, щоб всі зацікавлені сторони могли брати участь у розробці й використанні стандартів.

4). Створення співтовариства Індустрії 4.0, що складається із представників різних компаній, зацікавлених у технічній реалізації еталонної архітектури й здатних працювати над нею в довгостроковій перспективі. Це зажадає вибору підходящої моделі ліцензування, правил співтовариства, оцінки компетенції й мотивації учасників робочої групи.

5). Робоча група також рекомендує створити флагманські проекти з метою демонстрації успішного створення й розвитку еталонних архітектур інженерії повного циклу, управління виробничими процесами в реальному часі й контролю швидких технологічних процесів.

Розглянемо таку задачу – зближення різних устояних поглядів на речі в

таких сферах:

- виробництво, машинобудування, технології виробничих процесів;
- засоби автоматизації;
- ІТ і промисловий Інтернет речей.

Тоді у рамках концепції Індустрії 4.0 мається на увазі співробітництво між компаніями-виробниками обладнання, інженерної автоматизації й програмного забезпечення. Першим кроком буде створення загальної базової термінології. Тому для існуючих стандартів необхідні узагальнення й включення в новий глобальний термінологічний еталон. Така еталонна архітектура не може розвиватися в спадному порядку, тому що знадобиться інтеграція декількох різних точок зору й такий підхід займе занадто багато часу, тому вона повинна розвиватися шляхом додавання нових елементів за умови збереження актуальності й стабільності інтерфейсів взаємодії протягом багатьох років.

Дії, що рекомендуються будуть такі. У рамках цієї парадигми процес стандартизації може протікати набагато швидше. Потрібно буде тільки вибудувати систему довіри між компаніями-учасниками в рамках еталонної архітектури й застосування нової термінології. На рисунку 1.3 наведена еталонна архітектура кіберфізичної системи.

Розглянемо інші приклади:

1). Відкриті операційні системи: у випадку Linux-співтовариства бізнес, науково-дослідні установи, що включають більше 2000 розроблювачів у більш ніж 100 країнах, розвивають і підтримують одну із самих успішних у світі операційних систем.

2). Відкриті інструменти розробки: співтовариство більш ніж з 1500 розроблювачів і мільйонів користувачів розробляє програмне забезпечення й необхідні додатки.

3). Відкрита комунікаційна інфраструктура: технічна й організаційна документація, опублікована через Інтернет-співтовариство, починаючи з 07.04.1969. Широке застосування цієї документації фактично перетворило її в стандарти. Як приклади можна навести інтернет-протокол (TCP/IP) і протокол електронної пошти (SMTP).

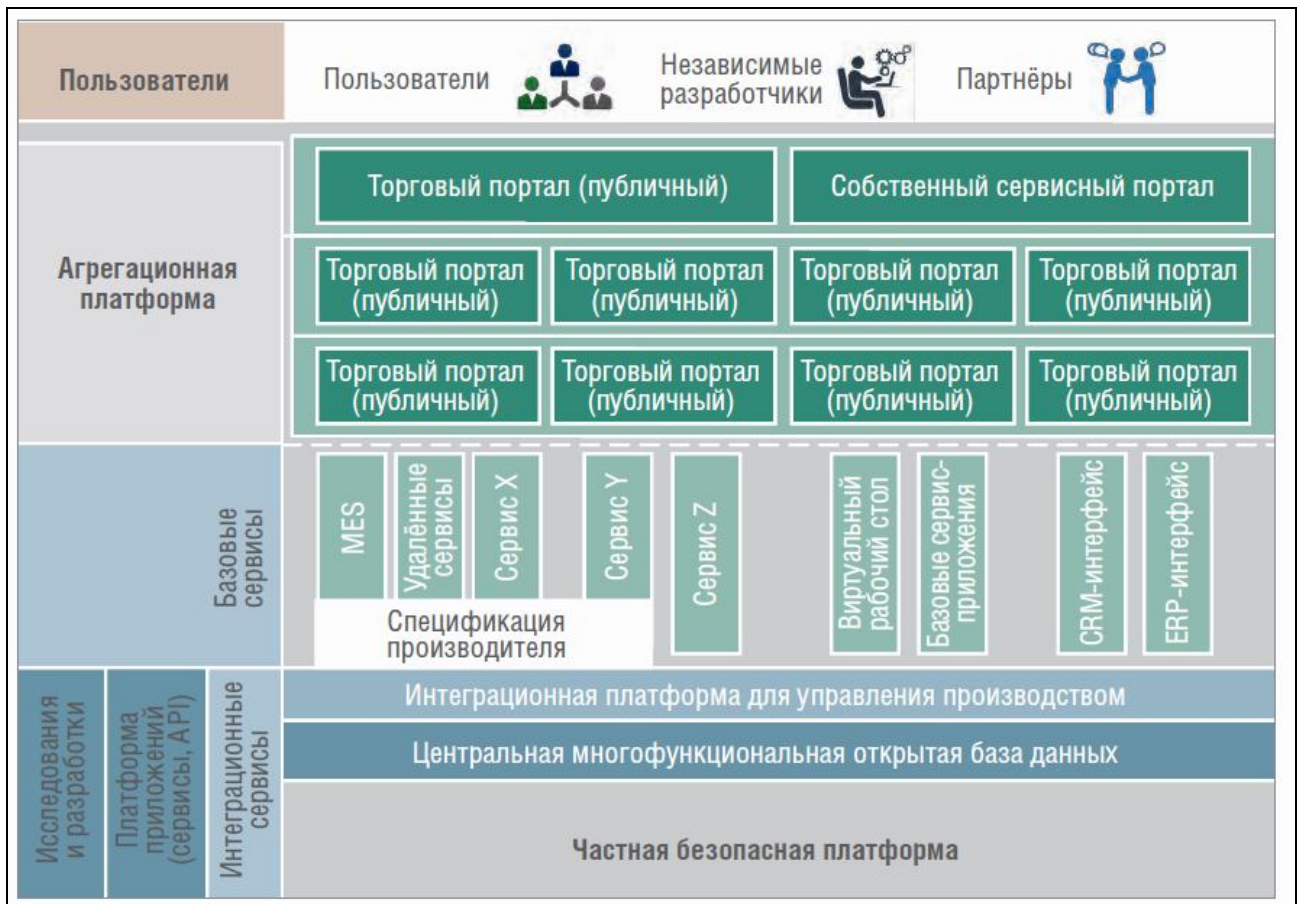


Рисунок 1.3 – Приклад еталонної архітектури для CPS-платформ

Управління комплексними системами: продукція підприємств і пов'язані з ними системи стають усе більш й більш складними. Це результат збільшення функціональності підприємств, за рахунок чого розширюється асортименти продукції, що випускається, пред'являються більш високі вимоги до динамічності поставок, інтеграції різних технічних дисциплін і організацій, а також стрімко змінюються форми співробітництва між різними компаніями. Моделювання виробничих процесів може стати ключовим інструментом контролю зростаючої складності виробництва в цілому. Віртуальні моделі цих процесів є представленням реального або гіпотетичного сценарію функціонування підприємства, які містять у собі тільки ті аспекти, які мають безпосереднє відношення до промислового виробництва. Створення моделей виробничих процесів є важливою стратегією розвитку в цифровому світі й має центральне

значення для концепції Індустрії 4.0.

Існують моделі двох видів і їхня принципова відмінність може бути описане в такий спосіб:

1). Моделі планування комплексних систем, які забезпечують прозорість процесу організації виробництва й створення доданої вартості. Прикладом такої моделі може стати функціональна схема, використувана інженером для планування виробничих процесів і функцій для задоволення вимог, пропонованих до системи.

2). Пояснювальні моделі, які описують існуючі системи для вивчення й налагодження нових виробничих процесів. Ці моделі звичайно використовують для різних способів аналізу. Наприклад, моделювання може бути використане для розрахунку енергоспоживання на підприємстві або перевірки тих або інших проектних рішень. Таким чином, цифровий світ значною мірою впливає на дизайн моделей світу реального, і навпаки. Той факт, що моделі, як правило, містять формалізований опис, означає, що вони можуть бути оброблені комп'ютером, а, отже, комп'ютери можуть взяти на себе виконання деяких рутинних інженерних завдань, наприклад, виконання розрахунків або деякі повторювані дії. Одним з головних переваг моделей є те, що вони дозволяють автоматизувати дії, до цього виконували вручну, і перевести в цифровий світ операції, що здійснювалися раніше в реальному виробництві.

Моделі містять у собі величезний потенціал, і не тільки в рамках концепції Індустрії 4.0. Наприклад, вони дозволяють знизити ризики на етапі проектування за рахунок раннього виявлення помилок і верифікації вимог, пропонованих до системи. Також на етапі моделювання отримані дані дають можливість удосконалювати математичні методи оптимізації виробництва й бізнес-процесів. У свою чергу, пояснювальні моделі описують взаємодію в реальному світі й будуть корисні на етапі розробки й проектування для перевірки позначених цілей. У майбутньому вони стануть використовуватися в процесі виробництва з метою перевірки його стану, для оперативного виявлення зношування виробничого обладнання й інших порушень без

необхідності зупинки процесів.

Задача й призначення моделювання в рамках концепції Індустрії 4.0: так на малих і середніх підприємствах(МСП) дотепер використання моделей для настроювання й оптимізації процесу не є стандартною практикою. Тому однією з головних задач для Індустрії 4.0 буде популяризація потенціалу моделей в інженерному співтоваристві для впровадження сучасних методів і інструментів моделювання, що описують реальні системи у віртуальному середовищі. Існує кілька сценаріїв, що важко піддаються моделюванню, наприклад, хімічні реакції в процесі виробництва й т.п.

Спочатку розробка моделей для Індустрії 4.0 буде значно дорожчою в порівнянні з тими підходами, які моделювання не використовують. Це пояснюється тим, що дії по створенню доданої вартості перенесені на більш ранні стадії процесу для того, щоб скоротити витрати в реальному виробництві. Цей підхід відразу збільшує значимість економічної ефективності моделювання. Відповідь, мабуть, залежить від типу бізнесу. Компанії більше схильні прийняти високі початкові інвестиції в галузях з великими обсягами виробництва (наприклад, в автомобільній промисловості) або галузях із суворими стандартами безпеки (наприклад, у секторі авіоніки). Вони менш схильні до інвестицій у виробництво невеликих обсягів або у виробництво окремих продуктів. Відсоток витрат, пов'язаних із протидією в сфері клієнт-орієнтованих дій і дій, незалежних від клієнта, також відіграє важливу роль щодо цього. Це ключ до успіху моделей, які повинні бути розроблені економічно ефективно й продуктивно використані не тільки на стадії проектування, але й на наступних етапах, у тому числі на етапі операції. Моделювання й симуляція можуть здійснюватися тільки кваліфікованими фахівцями. Тому важливо, щоб компанії могли задовольнити потреби цих експертів. У цей час співробітники МСП у машинобудуванні, що володіють компетенцією в даній області, розцінюються як «гики».

Нарешті, цілісний підхід повинен бути прийнятий до введення в моделювання для Індустрії 4.0. По-перше, необхідно звернути увагу на виробничу систему й продукцію, що випускається, з погляду оснащення модульними конструкціями й забезпечення участі різних дисциплін (наприклад, виробнича й автоматизована інженерія й інформаційні технології). По-друге, фактичний

розвиток інженерних і виробничих процесів на підприємстві має бути розглянуте на індивідуальній основі. По-третє, моделювання вимагає ефективного програмного забезпечення, оптимізованого й адаптованого для того, щоб забезпечити необхідну функціональність і інтеграцію з існуючими інструментами й процесами.

Дії, що рекомендуються:

1). Експерти й автори створення ініціативи Індустрії 4.0 рекомендують створити робочу групу, що буде досліджувати винятково моделювання як засіб управління складними системами (зокрема, у сфері машинобудування). Перед нею будуть стояти наступні задачі: проведення репрезентативного опитування для виявлення найбільш актуальних потреб в області моделювання й звуження предметної області з найбільш важливими аспектами в плані реалізації, обмін позитивним досвідом, особливо серед малих і середніх підприємств, з метою поширення інформації про моделювання. Потенційні теми такого обміну: модульність, віртуальний стартап і цифровий завод. Крім того, на таких дискусіях можуть обговорюватися питання міграційної стратегії й подолання бар'єрів. Також робочі групи повинні заохочувати створення різних об'єднань користувачів, що застосовують конкретні технології або продукцію конкретних виробників з метою досягнення кращого взаєморозуміння. При цьому увага повинна бути сконцентрована на цільових групах, що займаються реальним виробництвом, для оптимізації рішення їхніх завдань. Також необхідно проводити акції по підготовці, підвищенню кваліфікації й безперервному навчанню в сфері моделювання й інженерних систем. Це містить у собі й заходи щодо навчання молодих інженерів, і заходи для безперервного навчання й підвищення кваліфікації для їх більш досвідчених колег. При цьому тематика навчання повинна відповідати вимогам виробничих компаній.

2). Робоча група також рекомендує створення флагманських проектів для розгортання й тестування існуючих методів і засобів моделювання для демонстрації їхньої цінності в масовому виробництві й обробній промисловості.

Надання широкосмугового зв'язку для промисловості: при повсюдному впровадженні CPS-систем буде потрібно забезпечити мережну інфраструктуру

для обміну інформацією в набагато більших обсягах і із кращою якістю, чим в існуючих мережах зв'язку, тому основною вимогою для Індустрії 4.0 буде вдосконалювання існуючих мереж для забезпечення надійності, смуги пропускання, якості обслуговування й повсюдної доступності. Відповідно до рекомендацій Національного ІТ-саміту, представленими в Щорічнику цифрової інфраструктури за 2014 рік, широкопasmовий Інтернет повинен уводитися в масовому масштабі, як усередині Німеччини, так і між Німеччиною і її країнами партнерами. Висока експлуатаційна надійність широкопasmового доступу має вирішальне значення для машинобудування й автоматизації інженерних задач. Гарантований час затримки передачі даних і стійкий зв'язок є ключовими параметрами, тому що вони безпосередньо впливають на продуктивність додатків. При цьому мережні операції повинні максимально відповідати вимогам бізнесу, таким як:

- єдині й зв'язані вимоги до рівня обслуговування абонентів;
- доступність і гарантована продуктивність і смуга пропускання;
- підтримка налагодження каналів передачі даних, а також надання відповідних технічних засобів;
- забезпечення доступної/гарантованої потужності трафіку;
- SMS-повідомлення про доставку для всіх операторів мобільного зв'язку;
- стандартизовані інтерфейси програмних додатків, необхідні для покриття всіх провайдерів;
- управління тарифами;
- управління вартістю контрактів мобільного зв'язку;
- доступний глобальний роумінг;
- широке поширення убудованих SIM-карт;
- супутниковий зв'язок у тих районах, де відсутній інший (наприклад, у малонаселених областях).

Ця базова інфраструктура необхідна не тільки для Індустрії 4.0, але й для всіх CPS-додатків у всіх областях промисловості. Представлені дослідження провідних спеціалістів зайвий раз підкреслюють широкі можливості інтеграції штучного інтелекту, промислового Інтернету речей і кіберфізичних технологій у

рамках ініціативи Індустрії 4.0. Цифрова трансформація на базі нових технологій вимагає створення нових стандартів і сервісів, доступних практично в режимі реального часу, з підтримкою CPS-додатків для вертикальної й горизонтальної інтеграції. Крім наведених вимог до трансформації виробництва як і раніше залишається актуальною задача забезпечення кібербезпеки промислових об'єктів. На сьогодні один із ключових факторів уразливості - загальна низька культура процесів забезпечення кібербезпеки. На промислових підприємствах потрібна оцінка ключових ризиків, забезпечення безпечного управління операціями, комплексний аудит, погоджене й ефективне дотримання політик безпеки, доступних інструментів контролю й виявлення погроз.

1.2 Аналіз існуючих технологічних процесів «віртуального виробництва»

На факультеті ПТА (ФПТА) Вінницького національного технічного університету (ВНТУ) змонтована універсальна комп'ютеризована навчальна лабораторія [2], в якій біля кожного універсального лабораторного столу встановлена фізична модель одного з таких технологічних/технічних виробничих об'єктів:

- промислового 3-ємнісного накопичувача/дозатора рідини ("ТО №1");
- промислового хімічного реактора ("ТО №2");
- промислового автоматизованого складу ("ТО №3");
- автоматичного турнікету прохідної підприємства ("ТО №4").

Для управління цими технологічними/технічними об'єктами 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.

Крім того, на окремій 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 іншій 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 лабораторії також оснащено 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.

В рамках даної комп'ютерно-інтегрованої лабораторної системи проводяться практикуми з різних професійно-орієнтованих та спеціальних дисциплін спеціальності 151. Зазвичай практичні завдання цих практикумів пов'язані з автоматизацією управління технологічним/технічними об'єктами. Такі практичні завдання характеризуються найбільшою складністю і тому виконуються студентами тільки старших курсів спеціальності 151.

У 2020 році був запропонований спосіб організації в цій лабораторії інформаційно-освітнього середовища у формі «віртуального виробництва». Цей спосіб передбачає логічне об'єднання усіх наявних в лабораторії моделей технологічних/технічних об'єктів/процесів у єдину імітаційну модель виробництва уявної хімічної продукції [4, 5].

На рисунку 1.4 показана загальна схема даного виробничого процесу, який складається з основного і допоміжного технологічних процесів, а також обслуговуючого технічного процесу промислового складу:

– основний технологічний процес, що має три фази (фаза 1 – модель

хімічного реактора, фаза 2 – модель накопичувача/дозатора, фаза 3 – модель роботизованої пакувальної лінії);

– допоміжний технологічний процес (моделі двох автоматизованих виробничих ліній для умовного виготовлення комплектів пустої тари);

– обслуговуючий технічний процес (модель промислового складу для умовного збереження усіх уявних матеріальних ресурсів, напівфабрикатів та продукції «віртуального виробництва»).

На цьому «віртуальному виробництві» імітується виготовлення різних видів рідкої хімічної продукції обмеженими за обсягом партіями у запланований період часу. Таким чином, дане «віртуальне виробництво» організовано у вигляді періодичного виробничого процесу, тобто batching-процесу. Основними ознаками такого виробничого процесу є такі [17-19]:

– різноманітний асортимент продукції, але у відносно малих кількостях (партіях, порціях) за обмежений період часу;

– кожна партія/порція виробляється за окремим регламентом, що визначається рецептом (ресіре);

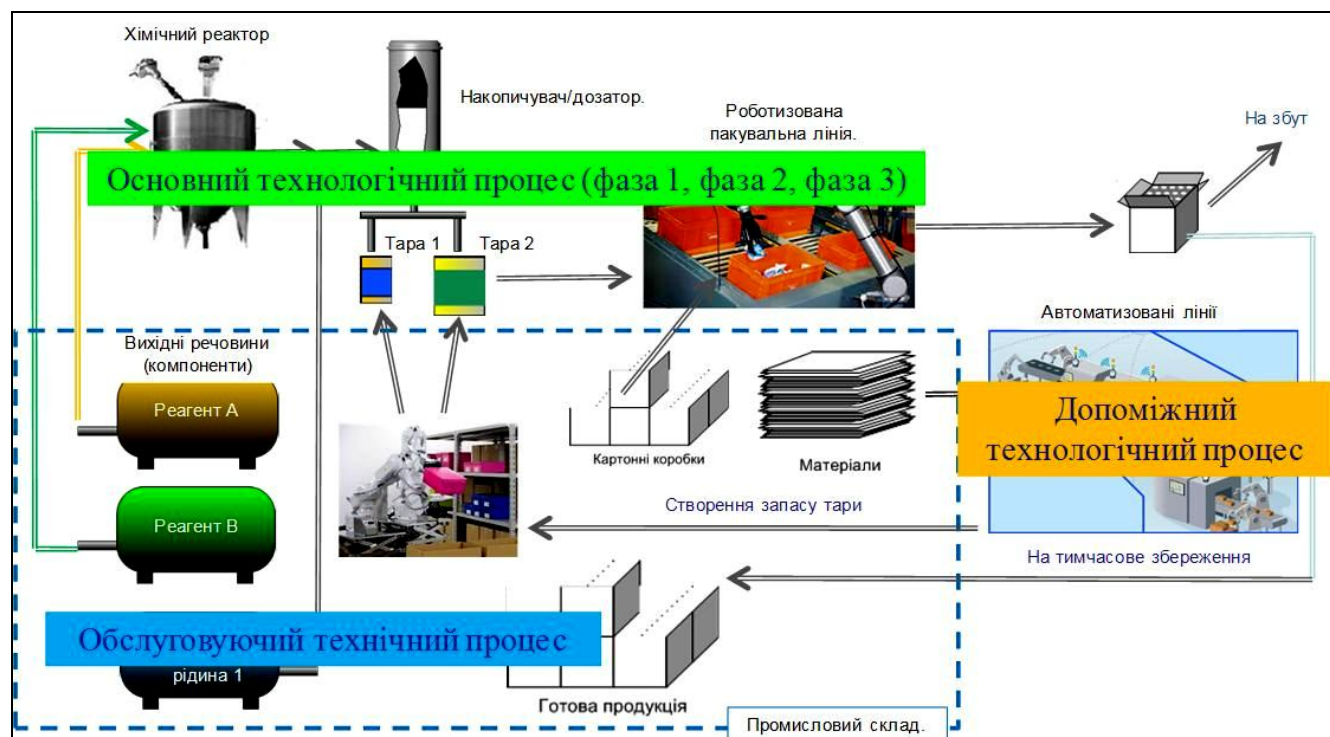


Рисунок 1.4 – Складові процеси «віртуального виробництва» хімічної продукції

- на різних стадіях приготування партії/порції процес потребує багато різних діяльностей, а саме, синхронізації, підрахунку, послідовнісного управління, блокування, обробки матеріалу, регулювання;
- маршрут матеріальних потоків може змінюватися від однієї партії/порції до іншої, а інколи і в межах тієї ж самої партії/порції;
- вхідні сировина й матеріали не зберігають свою індивідуальність, їх можна відстежити тільки по партії/порції;
- одне і те ж універсальне обладнання використовується для різних видів продукції, тому необхідне постійне планування його завантаження.
- для виготовлення однієї й тієї ж партії/порції може використовуватися різне технологічне устаткування/обладнання, що потребує обов'язкового планування використання цього типу ресурсу;
- є найбільш гнучким з усіх існуючих типів виробничого процесу, тому потребує більш складних алгоритмів управління ним.

За темою даної магістерської кваліфікаційної роботи нас найбільше цікавить обслуговуючий технічний процес у вигляді моделі промислового складу, який на «віртуальному виробництві» умовно зберігає усі матеріальні ресурси, напівфабрикати та готову продукцію.

Лабораторна модель описаного автоматизованого цехового складу реалізується на тих технічних засобах, що змонтовані на лабораторному столі №3 або встановлені біля нього. На рисунку 1.5 показана відповідна схема електричних з'єднань цих технічних засобів.

Над лабораторним столом №3 змонтована настінна панель (жовтий прямокутник), на якій закріплені такі технічні засоби:

- промисловий контролер «VIPA 313-5BF13» (ПЛК VIPA 313-5BF13);
- некерований комутатор Ethernet;
- блок живлення «VIPA 307-1KA00» (Блок живлення VIPA 307-1KA00).

На лабораторному столі стоїть персональний комп'ютер (ПК), на якому реалізується АРМ оператора системи управління складом (WMS).

Зліва від столу встановлена фізична модель підйомника складського робота (описана нижче), на якій закріплений пульт управління маніпулятором складського робота (електрична імітаційна модель маніпулятора, описана нижче). На фізичній моделі підйомника закріплена також графічна панель оператора «VIPA», яка реалізує людино-машинний інтерфейс (ЛМІ) оператора складського робота.

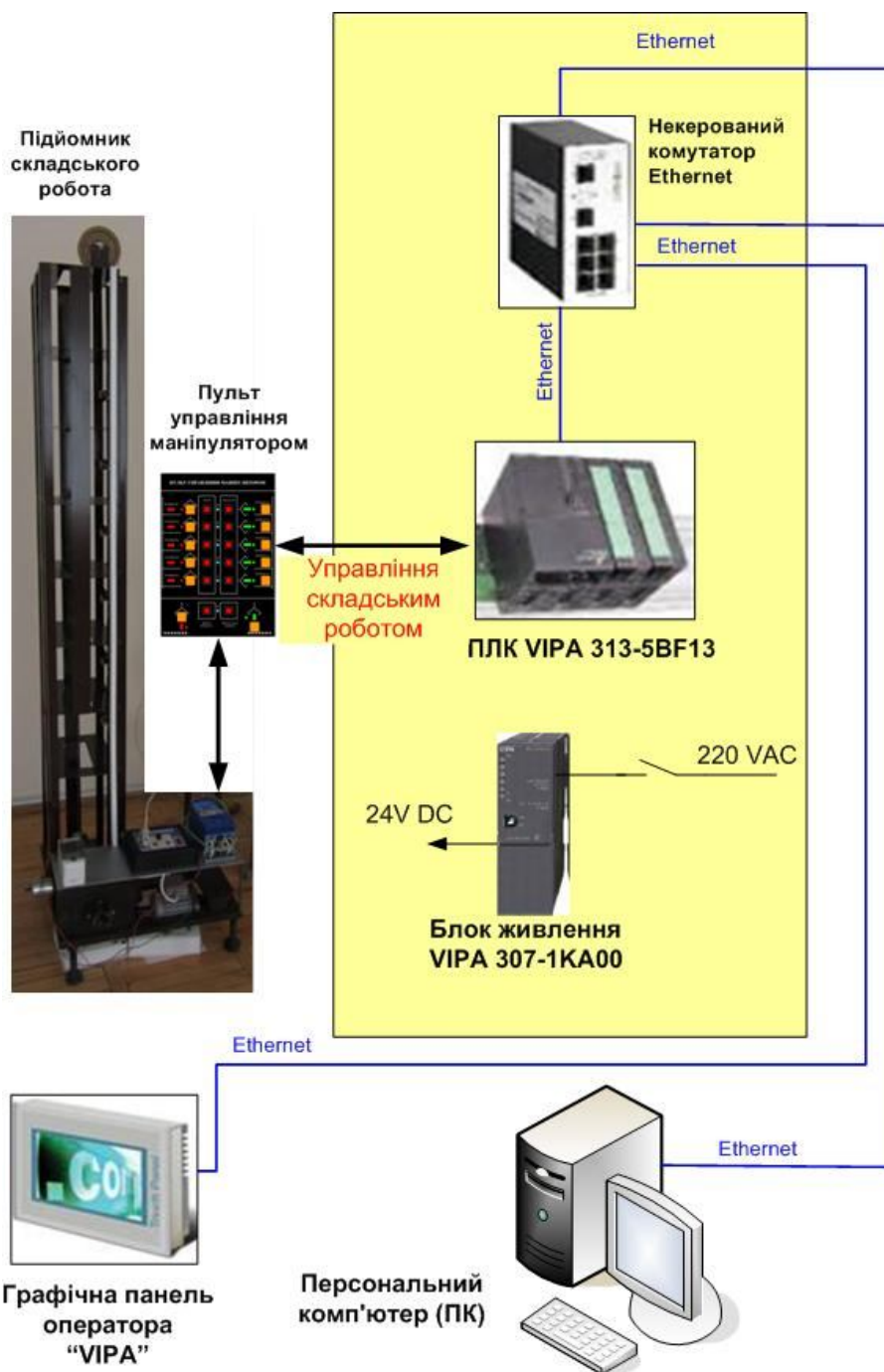


Рисунок 1.5 – Схема електричних з'єднань технічних засобів лабораторії

Електрична схема фізичної моделі підйомника складського робота підключена через схему пульта управління маніпулятором до входів/виходів сигнального інтерфейсу ПЛК VIPA. Саме через цей електричний зв'язок здійснюється управління всією моделлю складського робота від прикладної програми контролера. Графічна панель оператора «VIPA» підключена до ПЛК VIPA через локальну мережу Ethernet, що дає змогу реалізувати відображення роботи прикладної програми контролера для оператора складського робота.

Персональний комп'ютер (ПК) лабораторного столу (АРМ оператора системи управління складом) через локальну мережу Ethernet також підключений до ПЛК VIPA, що дає змогу реалізувати інформаційний обмін між прикладними програмами цих технічних засобів для управління прийманням та видачею матеріальних ресурсів.

Лабораторна модель автоматизованого цехового складу є гібридною моделлю, яка побудована на основі взаємодії моделей різної природи, а саме, фізичної, електричної імітаційної та кількох програмних моделей. На рисунку 1.6 показана її загальна будова.

Моделі, що разом утворюють лабораторну модель автоматизованого цехового складу, позначені на рис. 3 червоними контурними лініями:

- фізична модель підйомника складського робота (встановлена біля лабораторного столу №3);

- імітаційна модель маніпулятора складського робота (реалізована у вигляді ручного пульта управління, закріпленого на фізичній моделі підйомника);

- програмна модель пересування складського робота уздовж стелажу (показує результат роботи механізму пересування робота по рейках, прокладених на підлозі складу; модель реалізована в межах програми ПЛК VIPA, що виконує функції локальної системи управління «CONTROL» технічним обладнанням складу; відображення пересувань робота здійснюється графічною панеллю оператора VIPA);

– програмна модель логістики складського стелажу (показує розміщення кожної палети з матеріальним ресурсом на стелажі з зазначенням відповідного номеру секції та номеру полиці в цій секції; модель реалізована в межах програми персонального комп'ютера, що виконує функції системи управління складом «WMS»);

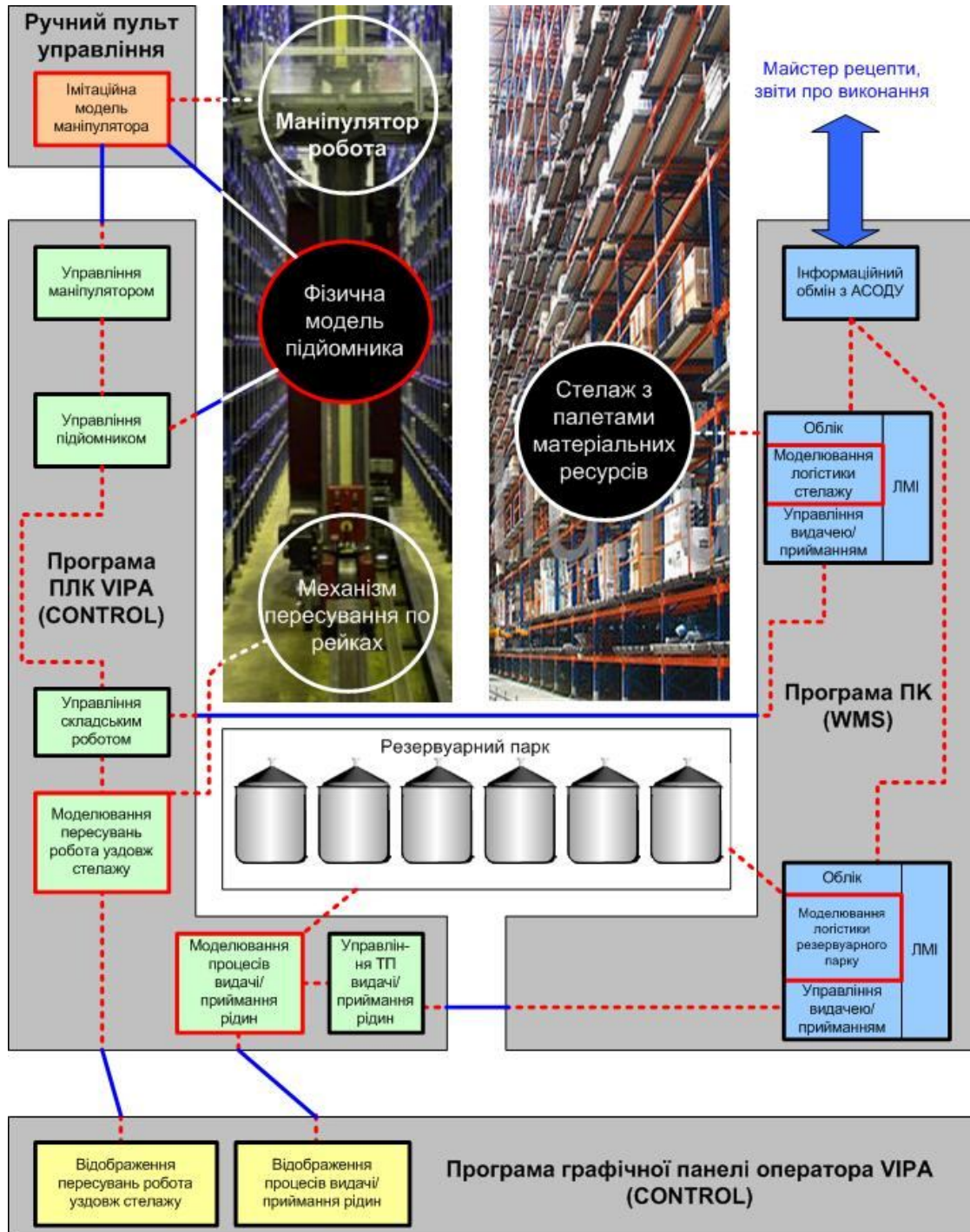


Рисунок 1.6 – Загальна будова лабораторної моделі

– програмна модель логістики резервуарного парку (показує розміщення кожного виду рідкого матеріального ресурсу – вихідного реагенту чи готового продукту – у відповідному резервуарі з зазначенням його номеру чи символічного позначення; модель реалізована в межах програми персонального комп'ютера, що виконує функції системи управління складом «WMS»);

– програмна модель процесів видачі/приймання рідин (показує результат роботи виконавчих пристроїв, які здійснюють або прийомку рідкого матеріального ресурсу відповідним резервуаром складу, або видачу рідкого матеріального ресурсу з відповідного резервуару на вихід зі складу; модель реалізована в межах програми ПЛК VIPA, що виконує функції локальної системи управління «CONTROL» технічним обладнанням складу; відображення роботи виконавчих пристроїв здійснюється графічною панеллю оператора VIPA).

На рисунку 1.6 червоними пунктирними лініями показані логічні зв'язки між реальними технічними об'єктами автоматизованого складу та їх моделями. Такими ж лініями показані і інформаційні зв'язки між окремими програмними модулями (в програмі контролера, в програмі комп'ютера, між програмою контролера та програмою комп'ютера). Передавання інформації відповідними електричними сигналами по дротах чи через локальну мережу Ethernet позначено на рисунку суцільними синіми лініями.

Лабораторна модель автоматизованого цехового складу працює так:

– програмний модуль "Інформаційний обмін з АСОДУ" програми ПК («WMS») отримує від диспетчера Майстер рецепт на виконання певної складської операції з партією чи порцією матеріального ресурсу (приймання чи видача);

– в залежності від виду матеріального ресурсу (зберігається у палетах на стелажі або зберігається в резервуарному парку) запускається один з двох програмних модулів, що здійснює усі операції з таким матеріальним ресурсом – облік, логістика збереження, управління видачею/прийманням, людино-машинний інтерфейс оператора системи «WMS»;

– якщо матеріальний ресурс зберігається на складському стелажі, то відповідна функція «Управління видачею/прийманням» надсилає через локальну

мережу Ethernet наказ у вигляді Керівного рецепту до програмного модуля "Управління складським роботом" програми ПЛК VIPA; цей модуль запускає до дії програмний модуль "Моделювання пересувань робота уздовж стелажу", а після завершення його роботи активує два наступних програмних модулі – "Управління підйомником" (керує фізичною моделлю підйомника складського робота) та "Управління маніпулятором" (керує імітаційною моделлю маніпулятора складського робота); після виконання програмою ПЛК VIPA усіх дій з матеріальним ресурсом (розміщення партії матеріального ресурсу на вказаній полиці вказаної секції стелажу, зняття партії матеріального ресурсу з вказаної полиці вказаної секції стелажу) надсилається звіт до функції «Управління видачею/прийманням» програми ПК «WMS», а та, в свою чергу, надсилає через програмний модуль "Інформаційний обмін з АСОДУ" звіт до диспетчера про виконання Майстер рецепту;

– якщо матеріальний ресурс зберігається в резервуарному парку, то відповідна функція «Управління видачею/прийманням» надсилає через локальну мережу Ethernet наказ у вигляді Керівного рецепту до програмного модуля "Управління технологічним процесом (ТП) видачі/приймання рідин" програми ПЛК VIPA; цей модуль запускає до дії програмний модуль "Моделювання процесів видачі/приймання рідин" (моделює роботу виконавчих пристроїв вказаного резервуара та зміну у часі його вмісту); після виконання програмою ПЛК VIPA усіх дій з матеріальним ресурсом (приймання до вказаного резервуару вказаної порції рідкого матеріального ресурсу, видача з вказаного резервуару вказаної порції рідкого матеріального ресурсу) надсилається звіт до функції «Управління видачею/прийманням» програми ПК «WMS», а та, в свою чергу, надсилає через програмний модуль "Інформаційний обмін з АСОДУ" звіт до диспетчера про виконання Майстер рецепту.

У 2021 році конструктивне рішення всього «віртуального виробництва», було змінено шляхом додавання різноманітних імітаційних моделей матеріальних потоків у вигляді трубопроводів та конвеєрів, які «зв'язують» фізичні та імітаційні моделі технологічного обладнання.

На рисунку 1.7 показана відповідна схема матеріального забезпечення

рідкими ресурсами усього «віртуального виробництва» хімічної продукції.

Як видно з рисунку, на «віртуальному виробництві» створюються такі запаси рідких матеріальних ресурсів:

- WH_A, WH_B, WH_C, WH_D – запаси вихідних реагентів А, В, С і D у резервуарному парку виробничого складу (для роботи фази 1 основного ТП);
- WH_PR1, WH_PR2 – запаси готової продукції першого та другого видів у резервуарному парку виробничого складу (для роботи фази 2 основного ТП);
- PH1_A, PH1_B, PH1_C, PH1_D – локальні запаси вихідних реагентів на виробничій ділянці фази 1 основного ТП (для виконання поточного Майстер рецепту);
- PH1_PR1, PH1_PR2 – локальні запаси готової продукції першого та другого видів на виробничій ділянці фази 1 основного ТП (після вивантаження її з хімічного реактора, що виконав поточний Керівний рецепт);

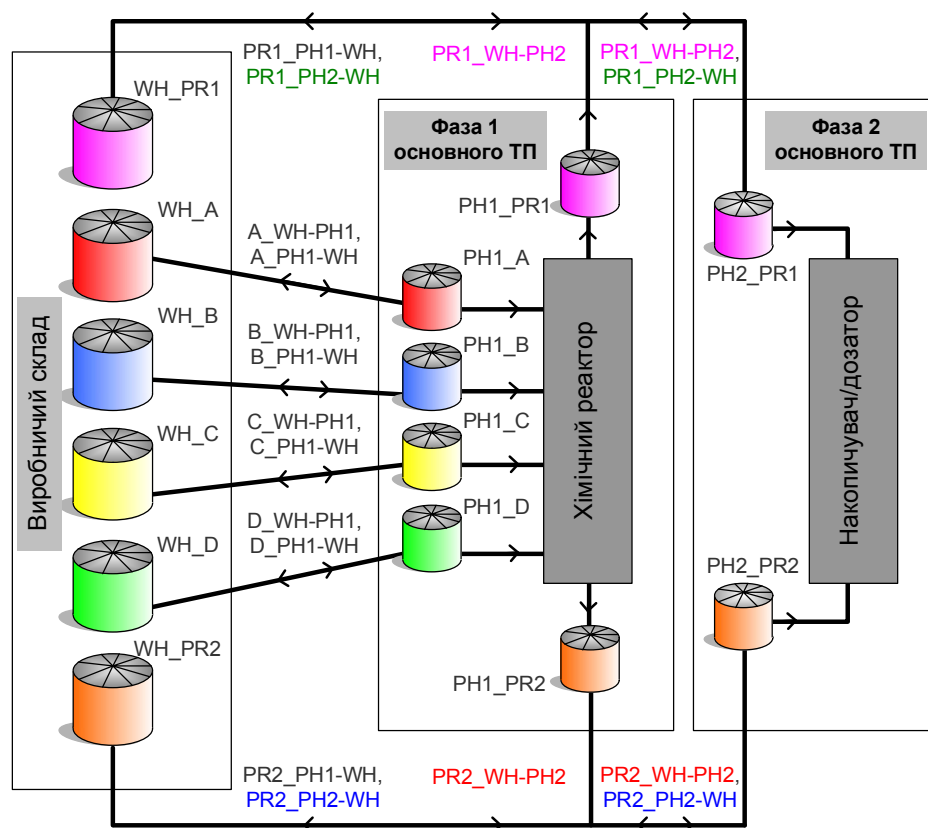


Рисунок 1.7 – Схема матеріального забезпечення періодичного виробництва рідкими ресурсами

– PH2_PR1, PH2_PR2 – локальні запаси готової продукції першого та другого видів на виробничій ділянці фази 2 основного ТП (в накопичувачі перед їх дозуванням у тару).

Для «переміщення» вказаних рідких матеріальних ресурсів між технологічними та технічними процесами виробництва організовані такі матеріальні потоки у трубопроводах (світлові імітаційні моделі):

– PR1_PH1-WH, PR1_PH2-WH – потоки готової продукції першого виду від фази 1 та фази 2 основного ТП до резервуарного парку виробничого складу;

– PR2_PH1-WH, PR2_PH2-WH – потоки готової продукції другого виду від фази 1 та фази 2 основного ТП до резервуарного парку виробничого складу;

– PR1_WH-PH2, PR2_WH-PH2 – потоки готової продукції першого та другого видів з резервуарного парку виробничого складу до фази 2 основного ТП для створення або поповнення їх локальних запасів;

– A_WH-PH1, A_PH1-WH – потоки вихідного реагенту А з резервуарного парку виробничого складу до локального запасу цього реагенту на виробничій ділянці фази 1 основного ТП та у зворотному напрямі;

– B_WH-PH1, B_PH1-WH – потоки вихідного реагенту В з резервуарного парку виробничого складу до локального запасу цього реагенту на виробничій ділянці фази 1 основного ТП та у зворотному напрямі;

– C_WH-PH1, C_PH1-WH – потоки вихідного реагенту С з резервуарного парку виробничого складу до локального запасу цього реагенту на виробничій ділянці фази 1 основного ТП та у зворотному напрямі;

– D_WH-PH1, D_PH1-WH – потоки вихідного реагенту D з резервуарного парку виробничого складу до локального запасу цього реагенту на виробничій ділянці фази 1 основного ТП та у зворотному напрямі;

– PH1_A, PH1_B, PH1_C, PH1_D – локальні матеріальні потоки вихідних реагентів в межах виробничої ділянки фази 1 основного ТП (завантаження хімічного реактора з локальних запасів реагентів).

На рисунку 1.8 наведена схема матеріальних потоків «віртуального виробництва», які здійснюються конвеєрами (світлові імітаційні моделі). Як

видно з рисунку, п'ять конвеєрів реального працюючого підприємства замінені в

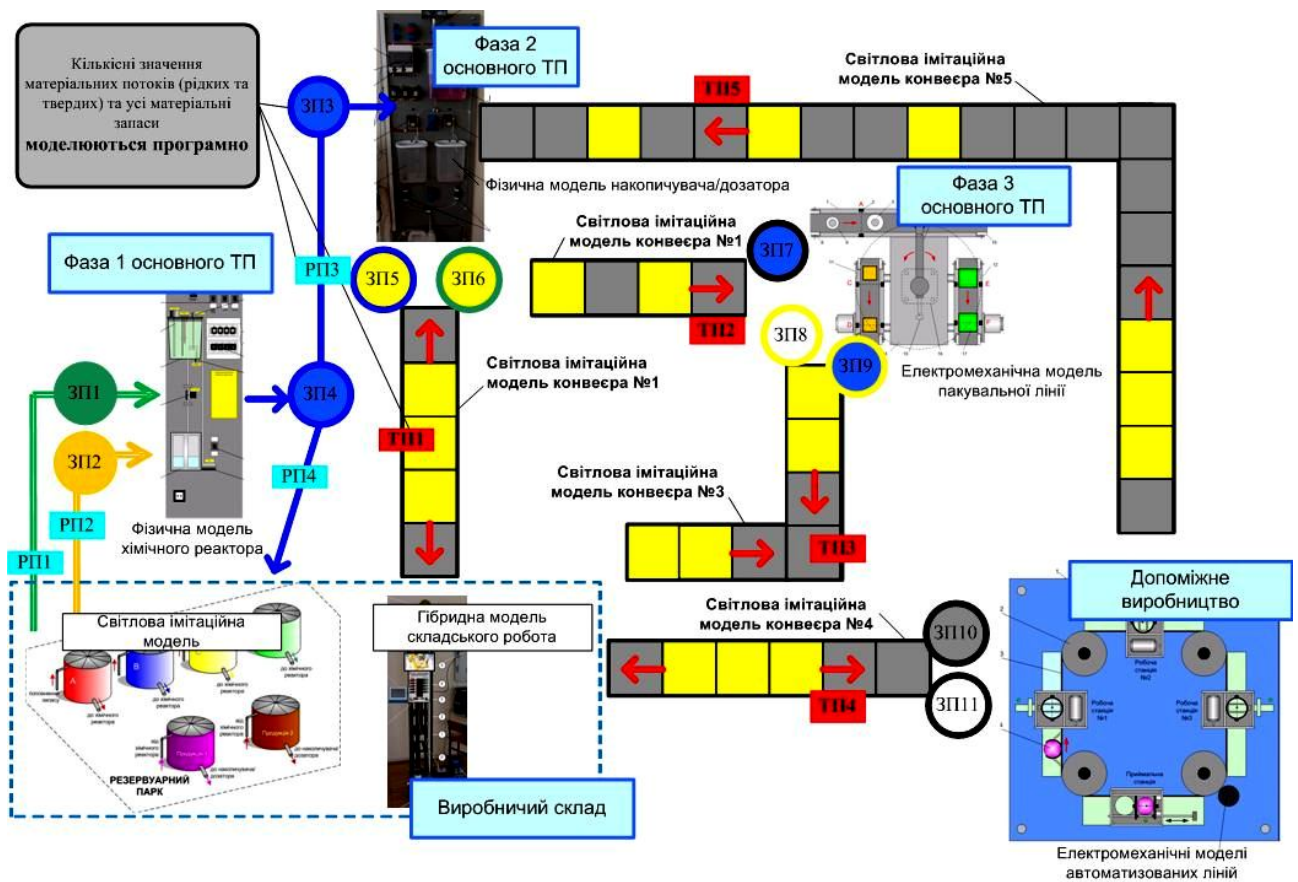


Рисунок 1.8 – Моделювання конвеєрів на «віртуальному виробництві»

його лабораторній імітації світловими імітаційними моделями, які утворюються ланцюгами світлових елементів. Вмикання такого світлового елемента у моделі конвеєра буде імітувати розміщення якогось твердого матеріального ресурсу на стрічці конвеєра. Якщо ці світлові елементи будуть загорятися та гаснути один за одним, то це утворить наочну імітацію переміщення даного матеріального ресурсу по конвеєру. При цьому можна буде імітувати різні види матеріального ресурсу, що переміщуються конвеєром. Наприклад, якщо буде вмикатися та поступово "переміщатися" тільки один світловий елемент, то це буде імітувати поштучне переміщення таких матеріальних ресурсів як пусті та наповнені банки. Якщо ж одночасно вмикати та "переміщати" два світлових елементи, то це може імітувати переміщення конвеєром таких матеріальних ресурсів як пусті та заповнені коробки. Якщо ж одночасно вмикати та "переміщати" три світлових

елементи, то це може імітувати переміщення конвеєром палет різних матеріальних ресурсів – пустої тари, наповнених банок, пустих та заповнених коробок, матеріалів та заготовок..

На схемі також відмічено, що усі значення матеріальних потоків за локальних матеріальних запасів «віртуального виробництва» моделюються програмним шляхом.

На рисунку 1.9 показаний зовнішній вигляд гібридної моделі складського робота та встановлені в лабораторії моделі трубопроводів та конвеєрів..

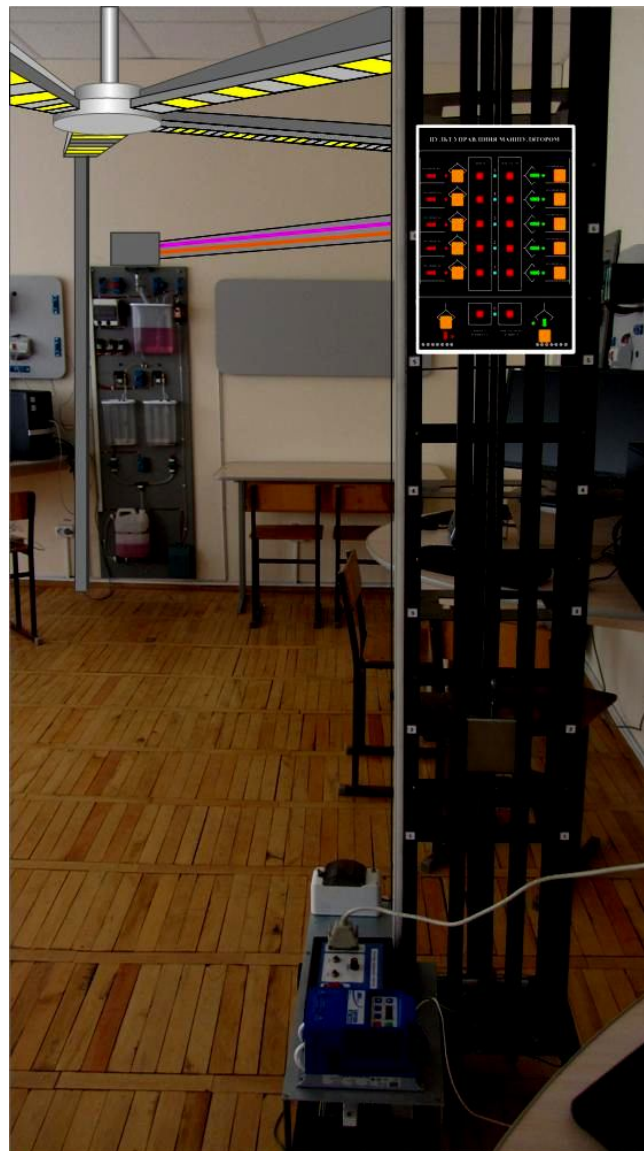


Рисунок 1.9 – Загальний вигляд фізичної моделі накопичувача/дозатора разом з моделями трубопроводів та конвеєрів

Як видно з рисунку, горизонтальні конструкції чотирьох моделей конвеєрів змонтовані високо над підлогою, а їх світлові елементи повернуті вниз. Тому при моделюванні переміщення матеріального ресурсу по будь-якому конвеєру, його результати будуть видні студентам, що сидять біля своїх лабораторних столів.

Біля стінок лабораторії кожна горизонтальна модель конвеєра опирається на вертикальну металеву стійку. З цього боку всередині корпусу моделі конвеєра розміщується блок управління роботою світлових елементів моделі. З'єднувач цього блоку управління виведений на нижній бік корпусу моделі, що дає змогу легко підключити схему моделі за допомогою спеціального комп'ютерного кабелю до вільного з'єднувача лабораторного столу (спеціалізованої стійки), звідки на модель будуть надходити сигнали управління від ПЛК.

На рисунку 1.10 показаний план приміщення лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка», на якому також означений спосіб з'єднання окремих конструкцій конвеєрів в єдине ціле.

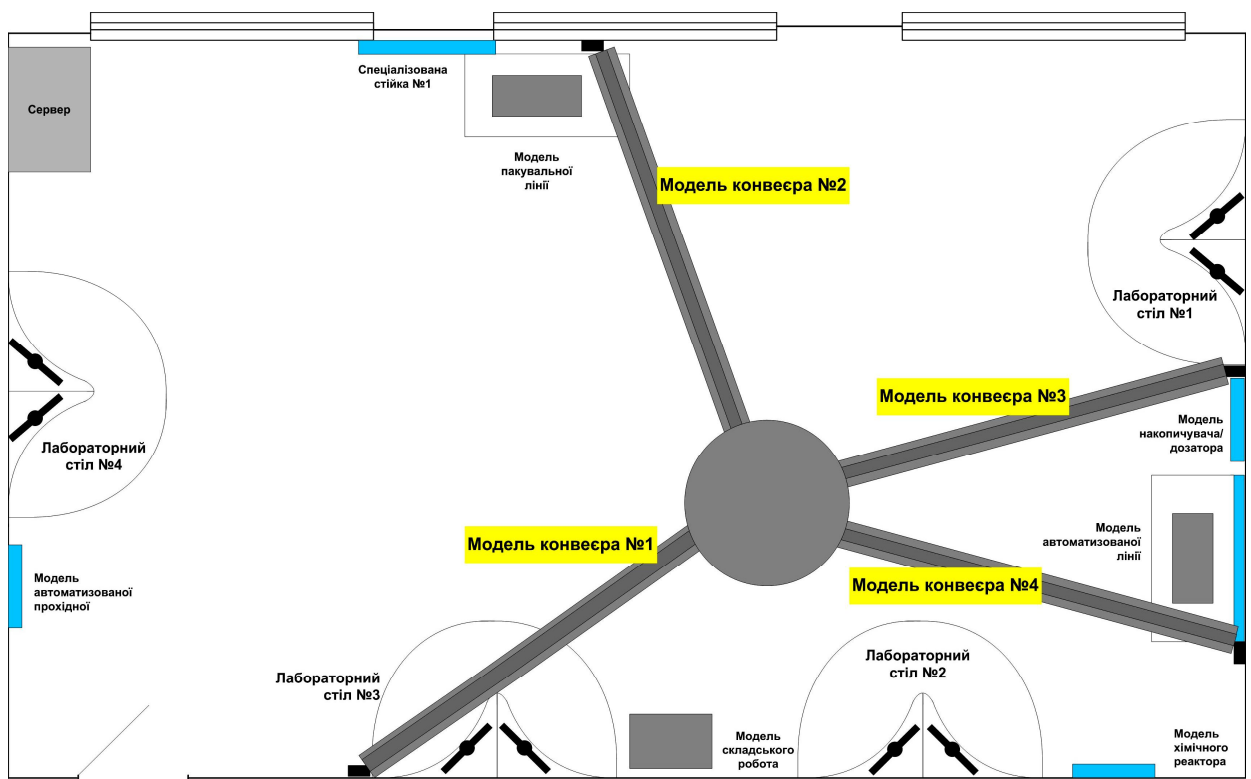
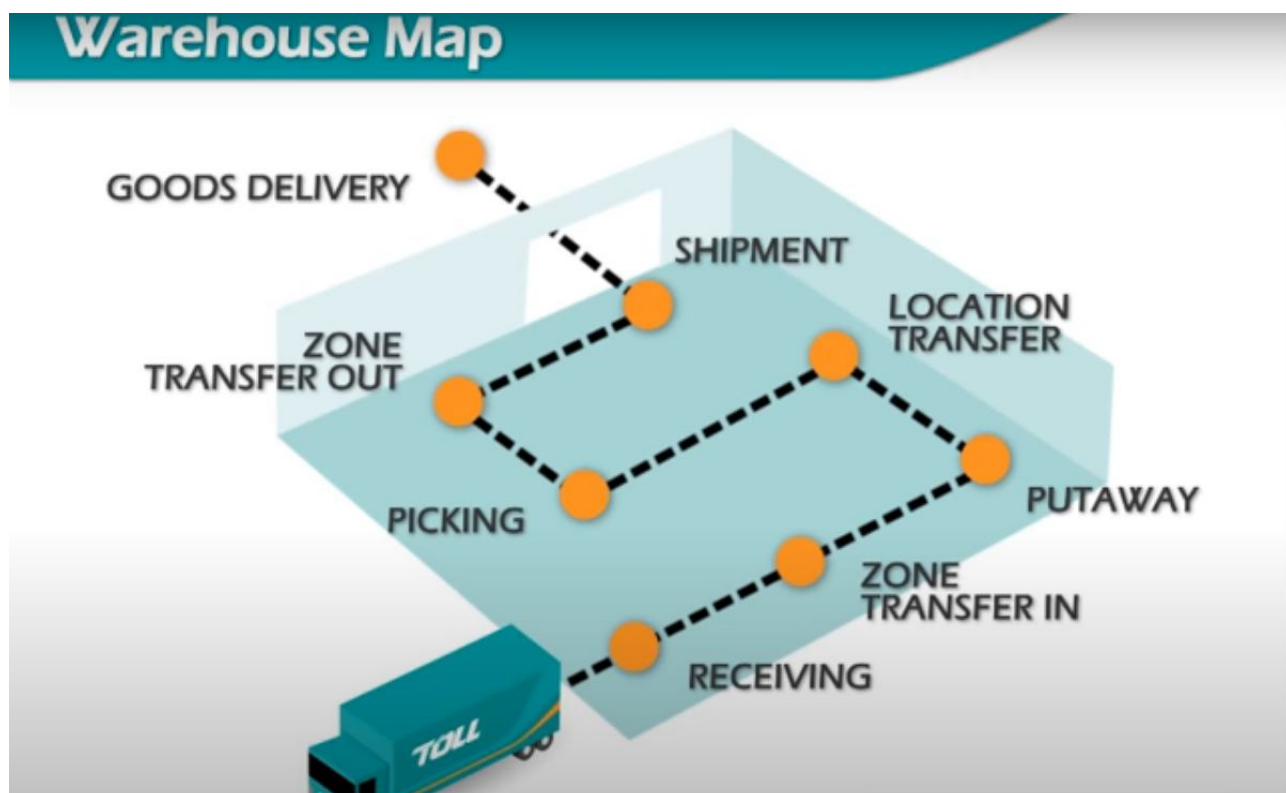


Рисунок 1.10 – Розміщення моделей конвеєрів в приміщенні лабораторії

1.3 Цифрова трансформація аналогічних технологічних процесів

У світовій практиці вже накопичився великий досвід щодо цифрової трансформації аналогічних технологічних процесів. Основною метою таких змін, як правило, є підвищення ефективності процесу (зменшення витрат, підвищення продуктивності та якості виконання технологічних операцій), поліпшення адаптації процесу до швидких змін бізнес-моделей, підвищення надійності обладнання та збільшення інформаційної прозорості процесу, а також оптимальна логістика.

В [20] описана одне з таких сучасних рішень цифрової трансформації складських процесів – REAP, що являє собою платформу корпоративних додатків RFID або система управління складом. Вона дає змогу відслідковувати усі складські процеси у реальному часі. У більшості складських операції товари проходять серію вхідних і вихідних процесів (рисунок 1.11).



Рисуніок 1.11 – Типовий маршрут проходження товарів на складі

Для відстеження руху товарів через ці процеси пропонується використовувати RFID-мітки, мобільні комп'ютери та систему GPS (рисунок 1.12).

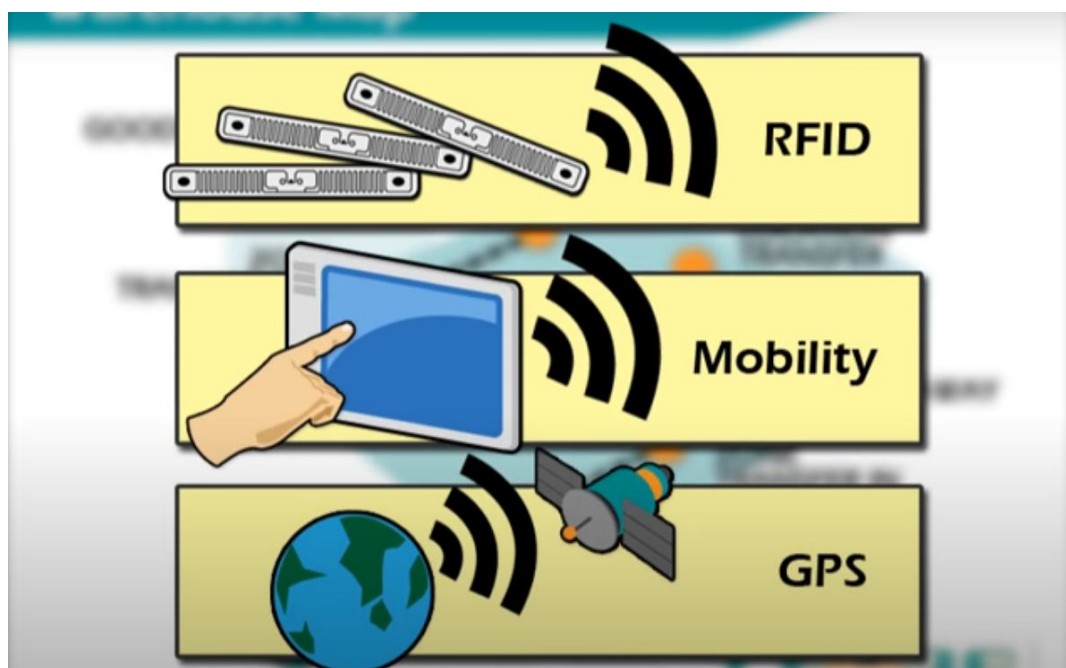


Рисунок 1.12 – Основні компоненти системи

Також широкого розповсюдження при цифровій трансформації складів набуває роботизація – використання різноманітних транспортних роботів різної функціональності. В [21] демонструються такі приклади цифрової трансформації традиційного складу (рисунок 1.13). Це дає багато переваг для бізнесу. Наприклад, значно підвищується економічність складських операцій, зокрема, оператор складу може спочатку виконати цифрове моделювання складської операції на своєму комп'ютері, а після отримання оптимального рішення, дати команду складським роботам на її виконання.

Основною функцією будь-якого складу є управління матеріалами й товарами. У застарілому ручному обліку найпоширенішою проблемою є кількісна невідповідність товарів. Це відбувається через те, що персонал складу допускає помилки, порушуючи точну статистику по кількості вхідного й матеріалу, що відвантажуються, а також складських запасів. Внаслідок цього працівники

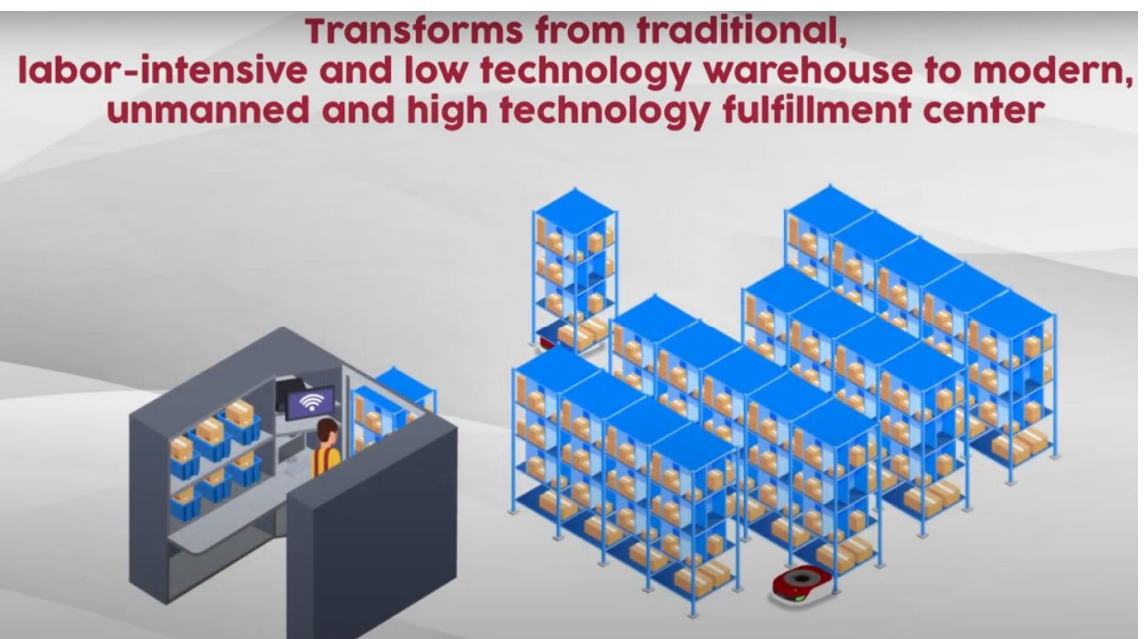
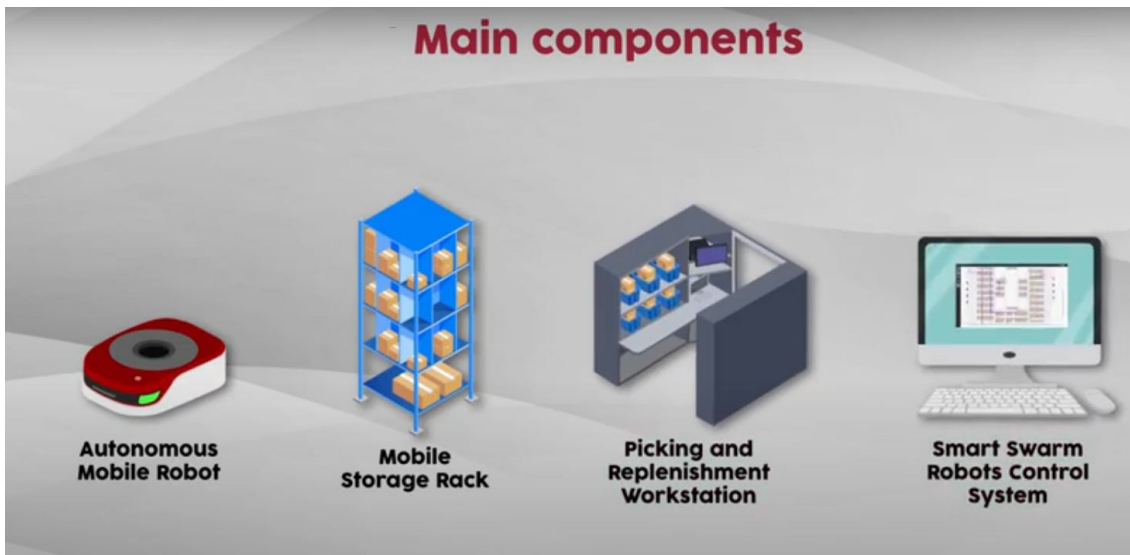


Рисунок 1.13 – Основні компоненти цифрової трансформації складу

змушені витратити час на пошук сировини й інвентаризацію, а відстеження вступників матеріалів стає неефективним.

IEI впроваджує систему керування складом WMS (Warehouse Management System) для забезпечення зручного управління, що відстежується, із залученням хмарних обчислень [22]. Переваги WMS такі:

- забезпечення відстеження на етапі доставки й оприбуткування продукції;
- скорочення часу підбора й доставки матеріалів;
- підвищення ефективності й точності керування складом;
- забезпечення актуальної складської інформації в режимі реального часу;
- мінімізація скарг клієнтів внаслідок техногенних помилок;
- управління автопарком у реальному часі й підвищення гнучкості диспетчеризації.

Після завершення вхідного контролю якості товару IQC (Input Quality Control) система генерує унікальний ідентифікатор товару, що дозволяє простежити постачальника, дату надходження матеріалу, результати перевірки IQC і номер партії, отриманої від постачальника. Складський персонал може одержувати всю цю інформацію на свої мобільні пристрої.

Мобільні пристрої надають також інформацію тим, хто комплектує, по послідовності й оптимальних маршрутах комплектування замовлень. При відправленні продуктів палетами мобільні пристрої будуть збирати ідентифікатори продуктів на палеті, використовуючи технологію RFID.

Працівники складу користуються мобільними планшетами серії MODAT (рисунок.1.14). Це PDA (Personal Digital Assistant) у промисловому виконанні на основі ОС Android, з дисплеєм 5,3'' і 64 бітним процесором Octa-Core Cortex A53, що працює на частоті 1,7 ГГц. Опційно пристрій оснащується GSM-модулем і NFC-рідером (Near Field Communication - ближній безконтактний зв'язок). Складський персонал може використовувати убудований сканер штрих-коду для сканування штрих-кодів товарів. Після сканування інформація завантажується в програму управління запасами, що робить миттєве відновлення стану складу.



Рисунок 1.14 – Складський сканер серії MODAT

1.4 Розробка загальної архітектури навчальних засобів

У світовій практиці процес цифрової трансформації у промисловій області давно і активно обговорюється фахівцями та експертами [21-23]. Вже сформоване загальне бачення тих цілей, які ставлять виробники на шляху вдосконалення своїх підприємств (рисунок 1.15) [23].

Їх три:

- необхідно охопити нові групи користувачів (споживачів) та нові ринки;
- необхідно зменшити витрати та збільшити ефективність;
- пристосуватися до зростаючої конкуренції.

Тому цифрові рішення, закладені в концепцію трансформації виробництва у «розумне» виробництво Індустрії 4.0, породжують для досягнення означених

The top 3 economic challenges of European manufacturers



Рисунок 1.15 – Основні цілі вдосконалення промислових підприємств

цілей відповідні очікування (рисунок 1.16):

- оптимізувати внутрішні процеси;
- поліпшити цифровий досвід споживачів;
- створити нові цифрові бізнес-моделі;
- створити нові кадрові та інноваційні організації та культури;
- створити нові бар'єрні мережі та цифрові екосистеми.

The top 5 major goals for digital transformation

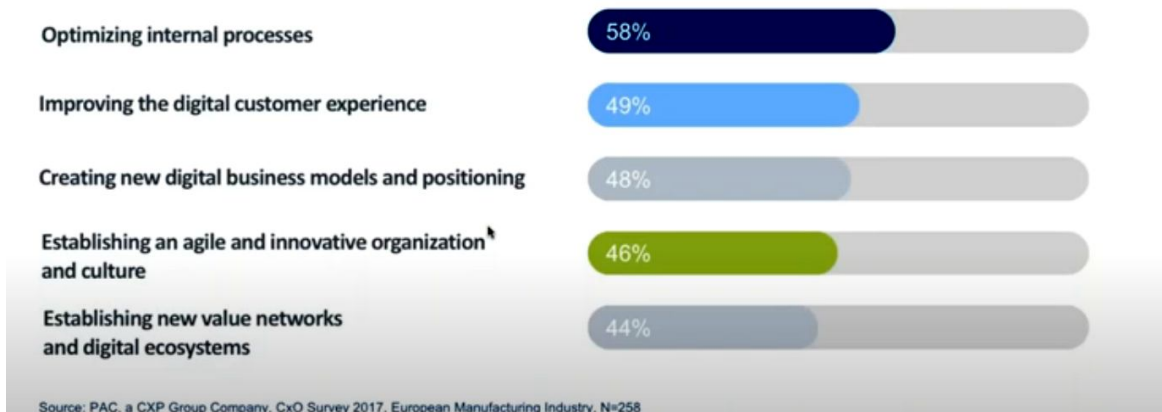


Рисунок 1.16 – Основні очікування виробників від цифрової трансформації

Проте, на шляху впровадження нових цифрових рішень у виробництво зараз існує декілька основних завад (рисунок 1.17):



Рисунок 1.17 – Основні причини гальмування цифрової трансформації

- людський фактор (не бачать необхідності в ЦТ, для них це занадто складно, ще не готові до нових змін; стосується і керівників, і звичайних робітників);
- відсутність інноваційної культури в компанії;
- складність розробки бізнес планів щодо нововведень;
- відсутність належної організації у використанні наявних даних виробництва для покращення його функціонування;
- несумісність традиційних показників ефективності виробництва (KPI) з новою ідеологією цифрового виробництва.

Проте, як правило, виробники не вказують проблемою впровадження цифрової трансформації на відсутність відповідних технологій на виробництві. Тобто вони не приділяють технологіям належної уваги, а дарма.

На рисунку 1.18 показані ті сучасні цифрові технології, які можуть зробити виробництво набагато ефективнішим. На цьому рисунку показаний відсоток

передових компаній, які вважають ту чи іншу технологію дуже важливою для своєї цифрової трансформації.

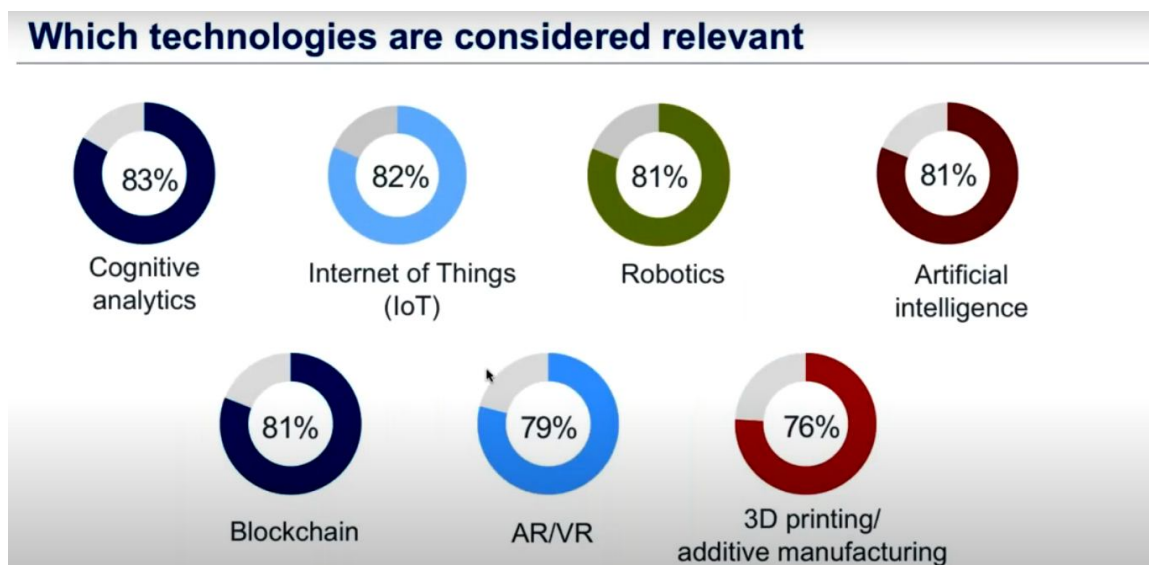


Рисунок 1.18 – Основні цифрові технології для вдосконалення виробництва

Яка ж повинна бути загальна стратегія зазначено цифрової трансформації виробництва? На рисунку 1.19 показаний рекомендований шлях цифрової трансформації, який означає основні її стадії:

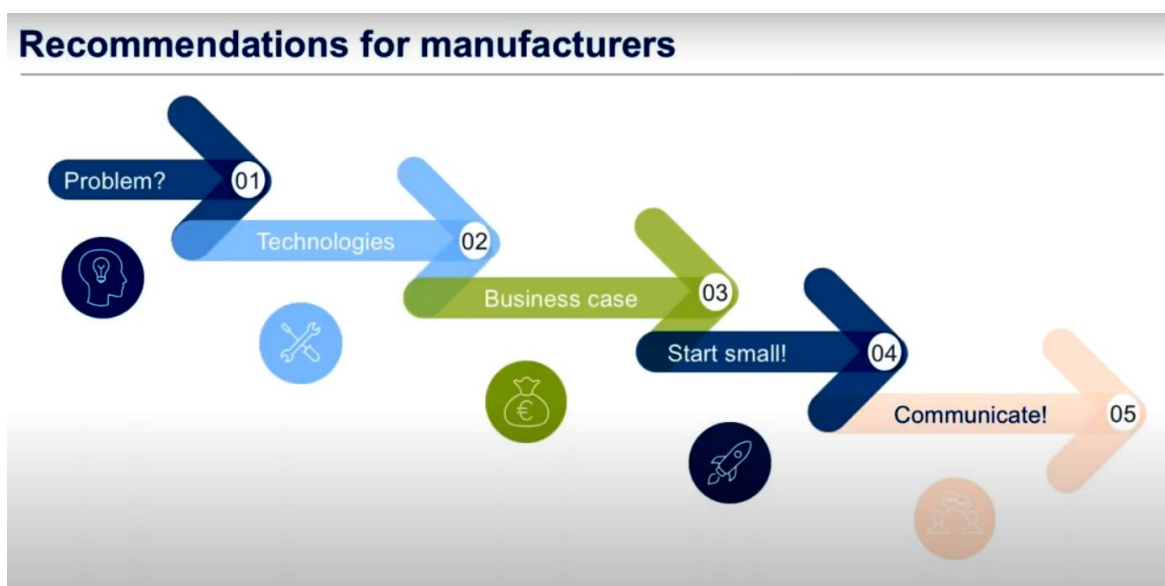


Рисунок 1.19 – Оптимальна стратегія цифрової трансформації виробництва

- виявлення існуючої на виробництві проблеми;
- вибір тих сучасних цифрових технологій, які здатні вирішити наявну проблему;
- розроблення бізнес-плану щодо потрібних інновацій, який включатиме концепцію цифрової трансформації виробництва;
- виконання невеликого проєкту цифрової трансформації, його впровадження та отримання найшвидшого позитивного результату;
- оприлюднення для всіх працівників підприємства досягнутих позитивних результатів, що заохотить їх до виконання подальшої більш складної цифрової трансформації виробництва.

Саме ця стратегія була покладена в основу розробки загальної архітектури нових навчальних засобів (НЗ) для дослідження цифрової трансформації складу промислового підприємства (рисунок 1.20).

Основою загальної архітектурного рішення нових НЗ є гібридна модель технологічного процесу (ТП) складу промислового підприємства, яка вбудована у імітаційну модель «віртуального виробництва» лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка» ФПТА, а також програмно-технічна імітаційна модель інтегрованої автоматизованої системи управління (ІАСУ) «віртуальним виробництвом» в цілому та окремими його технологічними процесами.

На початковому етапі першої стадії цифрової трансформації технологічного процесу необхідно на вказаній основі сформуванню вихідне уявлення про можливу реалізацію на реальному виробничому підприємстві даного автоматизованого ТП. Це уявлення формується у свідомості студента як самостійно, так і за допомогою викладача.

Після того, як сформоване це вихідне уявлення, можна виконувати наступний етап першої стадії цифрової трансформації – комп'ютерне моделювання статичної та динамічної реальності автоматизованого ТП з метою формування більш повного та детального уявлення його можливої реалізації на реальному виробничому підприємстві. При комп'ютерному моделюванні застосовуються як наявні локальні програмні засоби моделювання, так і доступні хмарні сервіси цифрового моделювання. Розробка цих комп'ютерних моделей

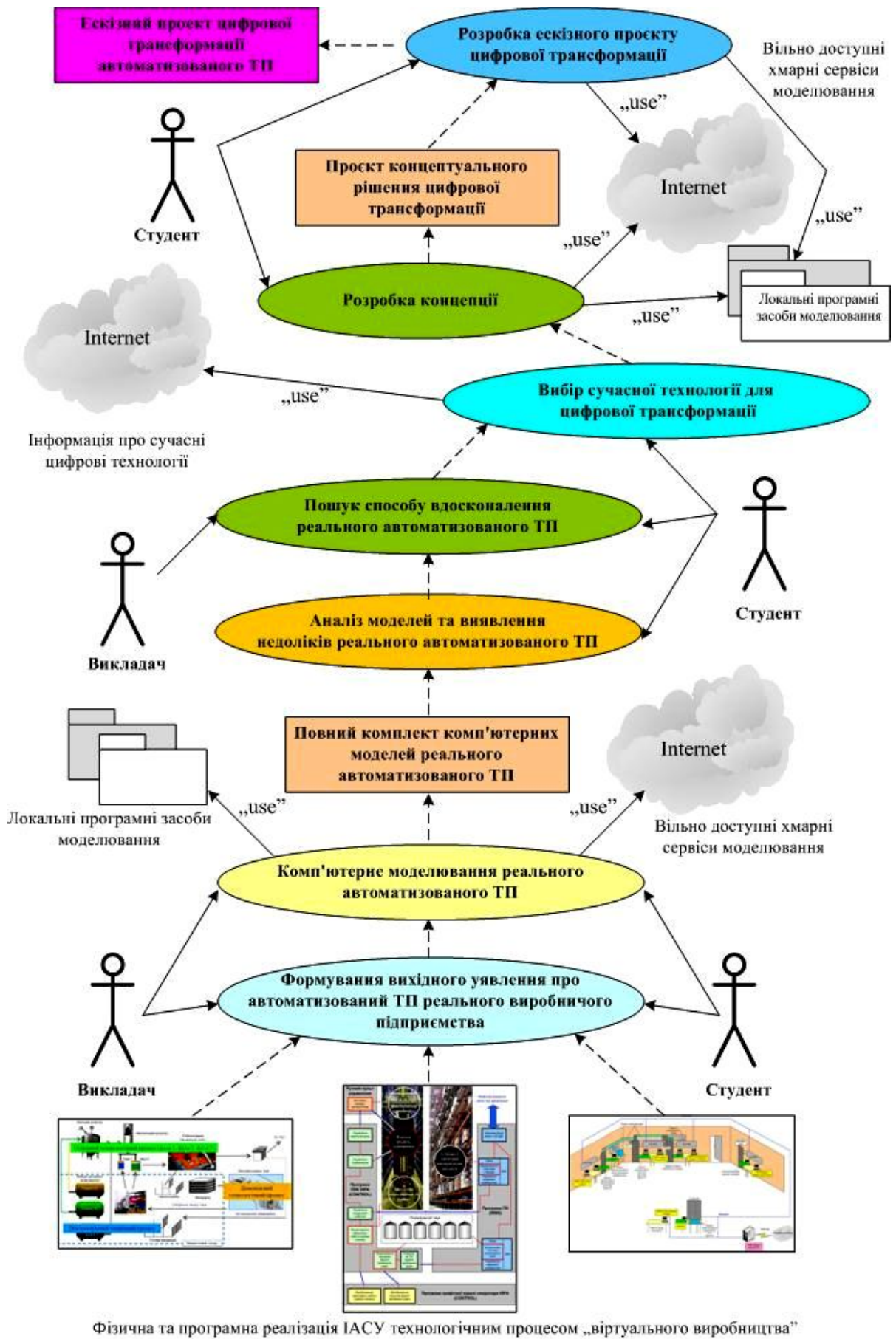


Рисунок 1.20 – Загальна архітектура нових навчальних засобів

здійснюється як студентом за індивідуальним завданням в рамках окремих професійних дисциплін або проєктного практикуму, так і викладачем при підготовці навчально-методичних матеріалів цих професійних дисциплін або проєктного практикуму. В результаті таких дій розробляється повний комплект комп'ютерних моделей можливої реалізації автоматизованого ТП на реальному виробничому підприємстві. При виконанні наступних стадій цифрової трансформації цей комплект моделей має бути доступним для перегляду студентом як на комп'ютерах лабораторії, так і на домашньому комп'ютері.

Після цього студент переходить до наступної стадії цифрової трансформації, під час якої він досліджує комплект комп'ютерних моделей можливої реалізації автоматизованого ТП на реальному виробничому підприємстві з метою визначення тих чи інших недоліків такої реалізації, які в подальшому можна буде усунути шляхом її цифрової трансформації. З усіх знайдених недоліків студент (або викладач) обґрунтовано вибирає найбільш важливий і переходить до пошуку способу вдосконалення реального автоматизованого ТП, що призведе до усунення цього недоліку. Такий пошук студент може виконувати за участі викладача, який надаватиме додаткові консультації та роз'яснення.

Після того, як буде намічені шляхи вдосконалення реального автоматизованого ТП, студент переходить до виконання наступної стадії цифрової трансформації – вибір та обґрунтування тієї сучасної технології або технологій в рамках концепції «Індустрія 4.0» для реалізації наміченого вдосконалення реального автоматизованого ТП. При цьому студент обов'язково здійснює пошук на відповідних ресурсах Інтернет найновішої інформації у даній предметній області та її ретельний аналіз.

Коли потрібна технологія або технології цифрової трансформації знайдені, студент переходить до виконання наступної стадії цифрової трансформації – розробка концепції цифрової трансформації реального автоматизованого ТП, використовуючи при цьому як доступні хмарні сервіси цифрового моделювання, так і наявні локальні програмні засоби моделювання. Готовий проєкт, що відображає запропоноване концептуальне рішення цифрової трансформації

реального автоматизованого ТП, є першим результатом практичного освоєння студентом процесу цифрової трансформації. Цей результат може бути отриманий на рівні бакалаврської підготовки студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», наприклад, в рамках дисципліни «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва».

На основі готового проєкту концептуального рішення цифрової трансформації студент може продовжити проєктування на нових НЗ і перейти до наступної стадії – розробка ескізного проєкту цифрової трансформації реального автоматизованого ТП. Цей етап характеризується більшою деталізацією проєктних рішень і також передбачає активне використання студентом як доступних хмарних сервісів цифрового моделювання (наприклад з технічною анімацією динаміки трансформованого автоматизованого ТП), так і наявних програмних засобів моделювання. Результатом робіт цієї стадії є ескізний проєкт цифрової трансформації реального автоматизованого ТП, який представлений, наприклад, у вигляді відповідної цифрової моделі його можливої реалізації на реальному «розумному» підприємстві. Бажано, щоб функціонування цієї моделі можна було переглядати або на комп'ютері лабораторії, або через доступні хмарні додатки цифрового моделювання, або через локальні програмні засоби моделювання.

Такий ескізний проєкт може бути результатом практичного освоєння процесу цифрової трансформації магістрами спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», наприклад, в рамках дисципліни «Промисловий Інтернет речей».

На основі описаного загального бачення архітектури нових навчальних засобів було розроблене технічне завдання на науково-дослідну роботу для означення основних вимог до подальшої їх розробки (додаток А),

4.5 Висновки до розділу

В результаті виконання досліджень в рамках даного розділу проведений

огляд основних напрямків цифрової трансформації сучасного промислового виробництва, яка здійснюється з метою впровадження ідей четвертої промислової революції «Індустрія 4.0». Для подальшого обґрунтування загальної архітектури нових навчальних засобів дослідження студентами процесу цифрової трансформації була досліджена існуюча в комп'ютеризованій навчальній лабораторії реалізація технологічних процесів промислового складу в рамках «віртуального виробництва» уявної хімічної продукції. Досліджена предметна область цифрової трансформації аналогічних технологічних процесів, та намічені ті її напрями, які можуть досліджуватися на нових навчальних засобах. Розроблена загальна архітектура нових комп'ютеризованих навчальних засобів, яка відображає і складові їх частини, і основні стадії виконання досліджень.

2 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «МОДЕЛЮВАННЯ ІСНУЮЧОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ТП»

2.1 Діаграма станів процесу виконання стадії

Згідно з вимогами ТЗ на науково-дослідну роботу, що розроблене у попередньому розділі, перша стадія дослідження студентом процесу цифрової трансформації автоматизованого ТП (АТП) складу промислового підприємства, що існує на даний час у вигляді лабораторної моделі «віртуального виробництва», має складатися з двох таких етапів:

- формування у студента вихідного уявлення про практичну реалізацію цього АТП на реальному виробничому підприємстві, тобто про реальний АТП, який відповідає існуючій лабораторній моделі;

- додаткове комп'ютерне моделювання статичної та динамічної даного реального АТП.

В результаті виконання цих етапів у студента повинно сформуватися повне уявлення про будову та принцип дії реального АТП складу промислового підприємства, який, по суті, являє собою відображення існуючого лабораторного АТП «віртуального виробництва» у його практичну реалізацію на реальному промисловому підприємстві. При цьому перший етап студент повинен виконувати шляхом самостійного дослідження предметної області реального АТП, що представлена у вигляді комплексу його вихідних комп'ютерних моделей, а викладач при цьому має надавати студенту усі необхідні пояснення та консультації в ході цього дослідження. Другий етап виконується і студентом, і викладачем, а саме, студентом – в ході вивчення відповідної професійної дисципліни або проходження відповідного проєктного практикуму, а викладачем – при підготовці навчально-методичних матеріалів професійної дисципліни або проєктного практикуму.

Проте, крім згаданих моделей, в основі загальної архітектури нових НЗ лежать ще дві інші моделі, з яких і починається весь процес дослідження студентом цифрової трансформації існуючого АТП складу:

– лабораторна гібридна модель ТП (лабораторний ТП) складу «віртуального виробництва»;

– лабораторна програмно-технічна імітаційна модель інтегрованої автоматизованої системи управління (ІАСУ) як «віртуальним виробництвом» в цілому, так і даним лабораторним ТП складу даного виробництва (лабораторна ІАСУ).

Зрозуміло, що разом ці дві моделі і утворюють загальну модель існуючого лабораторного АТП складу, яка означає його будову і принцип дії в рамках комп'ютерно-інтегрованого «віртуального виробництва», реалізованого на практиці у навчальній лабораторії ФІТА (фізична область лабораторії).

Таким чином, аналізуючи вищесказане, можна зробити такі висновки:

– в процесі виконання першої стадії дослідження цифрової трансформації існуючого АТП складу промислового підприємства активною повинна бути не тільки роль актора «Студент», але і роль актора «Викладач», що веде професійну дисципліну або проєктний практикум;

– обидва активні актори «Студент» та «Викладач» у ході виконання даної стадії повинні поступово розробляти дві пов'язані між собою комп'ютерні моделі – існуючого лабораторного АТП та відповідного йому реального АТП.

Опишемо тепер загальне бачення процесу виконання на нових НЗ стадії «Моделювання існуючого АТП» у вигляді діаграми станів цього процесу, яка є інструментом проєктування динаміки програмних систем на основі використання уніфікованої мови моделювання UML (Unified Modeling Language) [24].

Загалом, діаграма станів процесу показує усі дії, що виконуються системою у кожному конкретному своєму стані, та умови переходу з одного стану до іншого.

Тому для процесу виконання на нових НЗ стадії дослідження цифрової трансформації діаграма станів буде моделювати послідовність виконання робіт акторами «Студент» та «Викладач» на окремих її етапах (стани процесу) та умови переходу до наступних етапів дослідження, а також означуватиме вхідні та вихідні дані або об'єкти кожного з цих етапів робіт (рисунок 2.1 та додаток Б).

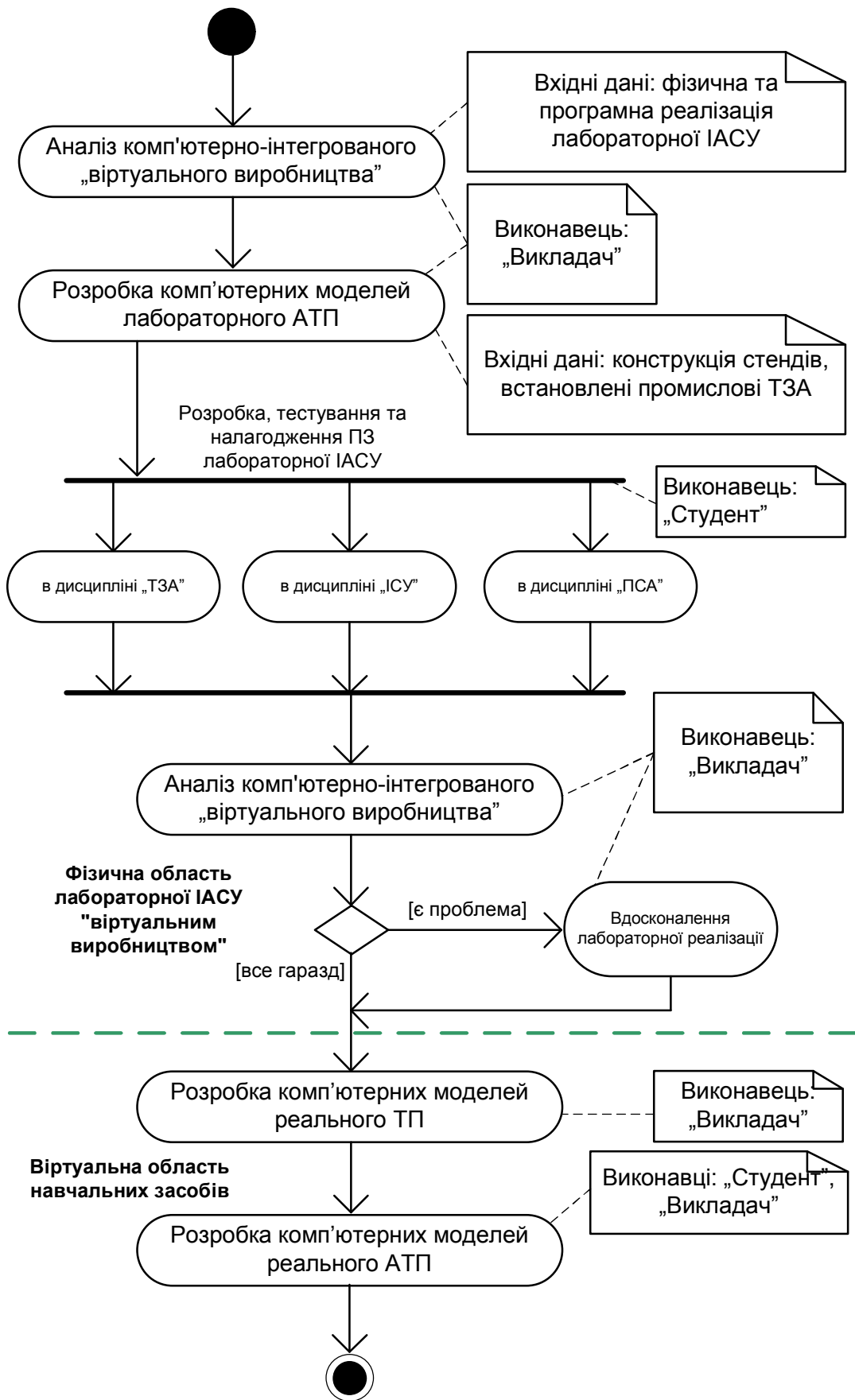


Рисунок 2.1 – Діаграма станів процесу виконання стадії «Моделювання існуючого АТП»

Показані на рисунку роботи (прямокутники з закругленими кутами) виконуються акторами «Викладач» і «Студент» у двох областях НЗ – у фізичній області лабораторної ІАСУ «віртуальним виробництвом» (навчальна лабораторія «Промислова мікропроцесорна техніка» ФПТА) та у віртуальній області комп'ютерного моделювання (програмне забезпечення або лабораторних комп'ютерів, або домашніх комп'ютерів студентів, або хмарних сервісів моделювання). Результати цих діяльностей показані вихідними стрілками з нижнього боку кожного з прямокутників, що означають роботи. У цій моделі актор «Викладач» за своєю ініціативою починає виконання всієї послідовності робіт даної стадії дослідження цифрової трансформації існуючого АТП складу, а далі роботи виконуються вже двома акторами разом (виконавці кожної роботи позначені на діаграмі у примітках справа).

Як зазначено, спочатку актор «Викладач» починає аналізувати комп'ютерно-інтегроване «віртуальне виробництво», яке існує в лабораторії у вигляді програмно-технічної імітаційної моделі ІАСУ всім цим виробництвом в цілому та гібридною моделлю ТП складу, що разом утворюють лабораторний АТП. Така модель комп'ютерно-інтегрованого виробництва складається з фізичної та програмної частин. Фізична частина містить електромеханічну частину моделі ТП складу (модель підйомника складського робота) та реальні промислові засоби його автоматизації. Програмна частина містить як програмні моделі деяких процесів (наприклад пересування робота уздовж складського стелажу) та окремих пристроїв автоматизації (наприклад механізму схоплення з полиць стелажу матеріальних об'єктів «рукою» робота), так і прикладні програми управління даним ТП та виробничим процесом в цілому.

На основі проведеного аналізу актор «Викладач» за допомогою доступних комп'ютерних додатків розробляє вихідний комплект моделей, що описують устрій лабораторного АТП та принцип його дії на «віртуальному виробництві». Після цього цей комплект моделей, оформлених у вигляді електронних навчально-методичних матеріалів, використовує актор «Студент», який на практичному курсі відповідної професійної дисципліни, чи кількох дисциплін, вивчає ІАСУ «віртуальним виробництвом», розробляючи та тестуючи її

програмне забезпечення (ПЗ). Для бакалаврського рівня підготовки такими дисциплінами можуть бути «Технічні засоби автоматизації», «Інтегровані системи управління» та «Проектування систем автоматизації».

Далі актор «Викладач» може додатково зробити аналіз результатів практичної роботи, виконаної актором «Студент», і внести потрібні корективи у вихідний комплект моделей існуючого АТП. Наприклад, за цим сценарієм до електромеханічної моделі ТП складу «віртуального виробництва» були введені додаткові світлові імітаційні моделі резервуарного парку промислового складу та усіх трубопроводів, що зв'язують цей резервуарний парк з ТП хімічного реактора. Ці додаткові моделі актором «Викладач» були описані і у навчально-методичному матеріалі, який надаватиметься актору «Студент» на цьому етапі дослідження.

Загалом, усі описані вище роботи стосуються тільки практичного вивчення студентом існуючої лабораторної ІАСУ, що побудована за концепцією «Індустрія 3.0», тобто поточний стан комп'ютерно-інтегрованого виробництва (на рисунку 2.1 ці роботи відокремлені горизонтальною пунктирною лінією). Проте нові НЗ призначені для дослідження процесу цифрової трансформації, тобто переходу від ІАСУ за концепцією «Індустрія 3.0» до ІАСУ за концепцією «Індустрія 4.0». Чому ж на ньому треба вивчати поточний стан ІАСУ? А тому, що ця ІАСУ реалізує той же самий стандартний підхід до управління періодичним «віртуальним виробництвом» [25, 26], що і ІАСУ за концепцією «Індустрія 4.0» [27]. Іншими словами, вивчаючи поточний стан ІАСУ, актор «Студент» освоює і принцип дії ІАСУ «розумного» періодичного виробництва, у яку він буде далі трансформувати існуючий АТП за допомогою нових НЗ. Крім того, актор «Студент» в ході розробки та тестування прикладного ПЗ з'ясовує для себе його переваги та недоліки, наприклад, обмежений функціонал, що далі буде корисним при обґрунтуванні шляхів цифрової трансформації існуючого АТП.

Для того, щоб актор «Студент» зміг почати виконувати діяльності, пов'язані з цифровою трансформацією існуючого АТП, в першу чергу йому треба надати вихідні моделі реального ТП, постачені текстовими поясненнями.

Розробку таких вихідних моделей виконує актор «Викладач», який на основі свого бачення, знань та досвіду може здійснити фахову уявну

трансформацію лабораторного ТП у реальний ТП промислового підприємства (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Суть уявної трансформації лабораторного ТП

Такі моделі актор «Викладач» розроблює за допомогою доступних комп'ютерних графічних та текстових редакторів (локальних чи хмарних), використовуючи і їх додаткові функції, наприклад, вбудовані мови програмування для технічної анімації моделі реального ТП.

Якщо ці функції відсутні, то «Викладач» може застосувати доступні промислові програмні засоби автоматизації, в яких функція технічної анімації графічних об'єктів є штатною.

В результаті даної роботи актора «Викладач» формується вихідний комплект комп'ютерних моделей реального ТП, який надалі дає можливість актору «Студент» почати виконувати роботу по уявній трансформації реального ТП у реальний АТП, тобто ТП, оснащений усіма технічними засобами автоматизації, що утворюють ІАСУ реальним ТП, який реалізований на промисловому підприємстві (рисунок 2.3).

В результаті такої роботи актора «Студент» створюються комп'ютерні моделі реального АТП, які всебічно описують його будову та принцип дії з потрібним ступенем деталізації.

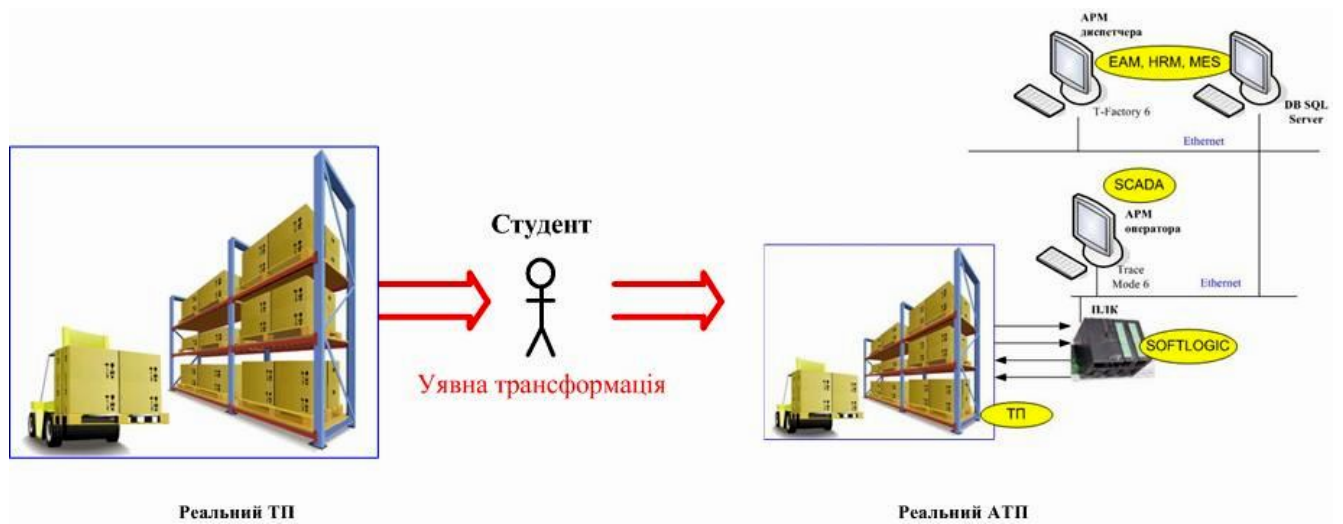


Рисунок 2.3 – Суть уявної трансформації реального ТП в реальний АТП

В якості додаткових моделей статичної та динамічної реального АТП актор «Студент» може використовувати ті комп'ютерні моделі, які він використовував в ході розробки та тестування ПЗ існуючого лабораторного АТП, наприклад, схему програми промислового контролера (алгоритм її дії однаковий і для лабораторного, і для реального АТП), або схему даних АРМ оператора (обробка даних в ПЗ АРМ оператора лабораторного АТП така сама, як і в АРМ оператора реального АТП). Крім того, актор «Студент» для технічної анімації своєї моделі реального АТП може використовувати штатні функції тих промислових програмних систем автоматизації, з якими він мав справу при розробці лабораторного АТП. Актор «Викладач» на цьому етапі моделювання реального АТП також може створювати його додаткові моделі, які допомагають актору «Студент» краще зрозуміти особливості будови та принципу дії цього АТП. Наприклад, викладач може розробити додаткову 3D-модель реального складського робота, щоб студент зміг краще зрозуміти його конструкцію та ґрунтовніше вибрати засоби автоматизації, що мають монтуватися на ньому.

В результаті цих діяльностей у актора «Студент» сформується повне уявлення про будову та принцип дії існуючого реального АТП і він зможе перейти до виконання наступної стадії дослідження цифрової трансформації ТП складу промислового підприємства.

2.2 Розробка моделей існуючого АТП актором «Викладач»

Моделювання будь-якого реального об'єкту стає зараз дуже ефективним інструментом як донесення навчального матеріалу від викладача до студента, так і самостійного вивчення студентом цього об'єкту [28]. Ось чому в нових НЗ також широко застосовується цей інструмент, особливо на стадії «Моделювання існуючого АТП».

Як було зазначено вище, актор «Викладач» при виконанні даної стадії дослідження актором «Студент» цифрової трансформації АТП складу промислового підприємства повинен розробляти різні комп'ютерні моделі, які можна згрупувати у такі групи – «Моделі існуючого лабораторного АТП» та «Моделі існуючого реального АТП». У першу групу входять моделі, які надають достатніх вихідних знань для актора «Студент» щоб він зміг здійснювати діяльність «Розробка, тестування та налагодження ПЗ лабораторної ІАСУ» в рамках практичного курсу однієї чи кількох професійних дисциплін. Усі такі моделі включаються у відповідні навчально-методичні матеріали, які доступні для актора «Студент» через навігатори навчальних дисциплін системи JetIQ [29, 30]. По-перше, ці моделі повинні пояснювати ідею лабораторного «віртуального виробництва», по-друге, будову та принцип дії лабораторної ІАСУ цим виробництвом, по-третє, архітектуру гібридної моделі складу та принцип дії лабораторного АТП.

Для прикладу нижче наведені кілька таких комп'ютерних моделей, розроблених актором «Викладач». На рисунку 2.4 показана модель лабораторного «віртуального виробництва», яка розроблена в додатку «Power Point» у вигляді комп'ютерної презентації. В цій моделі використовуються як статичні об'єкти, що відображають промислове обладнання цього «віртуального технологічного процесу», так і динамічні об'єкти, які демонструють роботу цього обладнання (наприклад резервуарного парку та трубопроводів). До цієї графічної моделі додається детальний текстовий опис, що разом дає можливість актору «Студент» краще зрозуміти принцип його дії та взаємні виробничі зв'язки уявного

промислового обладнання. В подальшому ці знання актор «Студент» може використати при розробці ПЗ лабораторної ІАСУ даним виробництвом.



Рисунок 2.4 – Комп'ютерна модель «віртуального виробництва»

На рисунку 2.5 показана інша графічна модель, що розробляє актор «Викладач». Вона показує принцип організації лабораторної ІАСУ «віртуальним виробництвом» у приміщенні навчальної аудиторії.

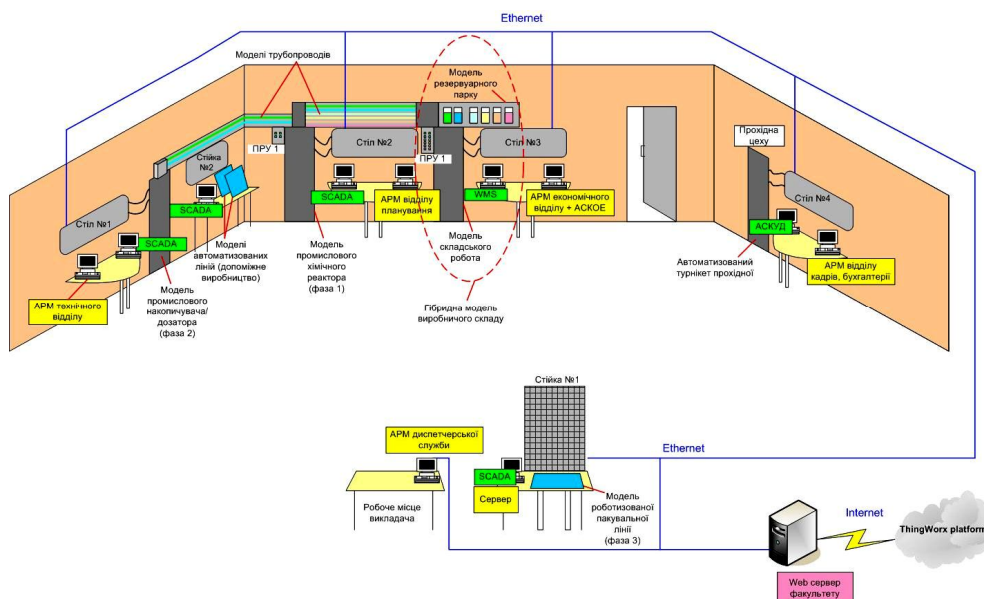


Рисунок 2.5 – Комп'ютерна модель організації ІАСУ у приміщенні лабораторії

На рисунку 2.6 показана стандартна графічна модель функціональної структури системи управління періодичним виробництвом, яка лежить в основі роботи лабораторної ІАСУ.

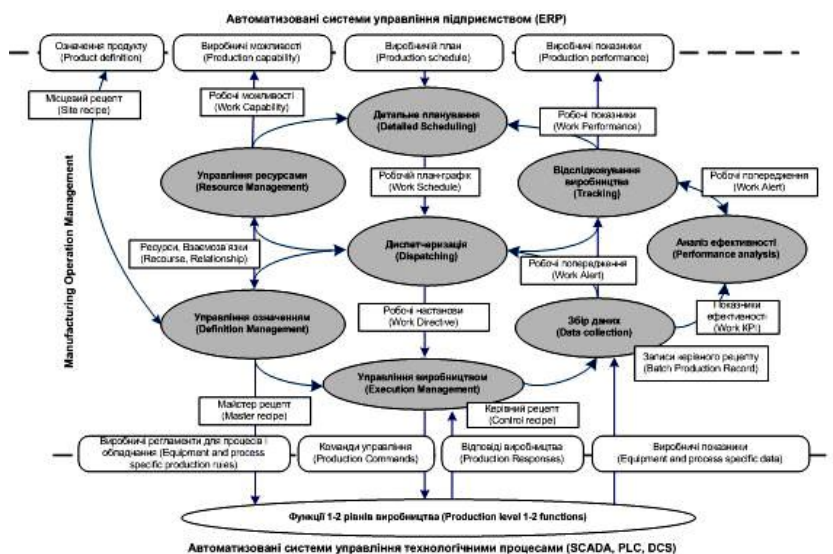


Рисунок 2.6 – Графічна модель функціональної структури лабораторної ІАСУ

Комп'ютерна графічна модель лабораторного ТП, яка розробляється актором «Викладач», вже була наведена вище (див. рисунок 2.2, ліве зображення). На її основі розробляються графічні моделі системи автоматизації цього ТП, наприклад, у вигляді загального бачення лабораторної ІАСУ (рисунок 2.7, зліва) чи її структурної електричної схеми (рисунок 2.7, справа).

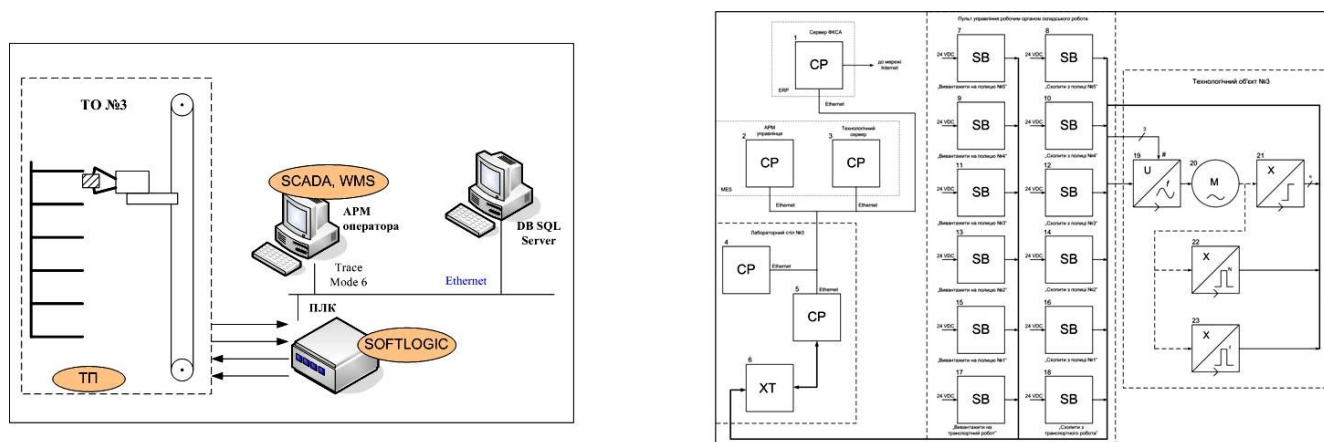


Рисунок 2.7 – Комп'ютерні графічні моделі лабораторного АТП

Тепер розглянемо моделювання, що здійснює актор «Викладач» при розумовій трансформації існуючого лабораторного ТП у реальний ТП (див. рисунок 2.2). Ця модель реального ТП повинна бути достатньо інформативною, щоб актор «Студент» на її основі далі зміг здійснити розумову трансформацію реального ТП у реальний АТП (див. рисунок 2.3). Тому кращим варіантом є використання 3D-моделювання реального ТП з можливістю застосування в цій моделі засобів технічної анімації.

На рисунку 2.8 показаний варіант такої 3D-моделі реального ТП складу промислового підприємства, що розроблена засобами графічного редактора «Visio», доступного на хмарному сервісі [31]. Даний графічний редактор не призначений для повноцінного 3D-моделювання, проте, інструменти побудови ізометричних 3D-зображень розвинені в ньому достатньо сильно, крім того, існують спеціалізовані сайти, де викладені комплекти ізометричних графічних об'єктів, зокрема, для області промисловості.

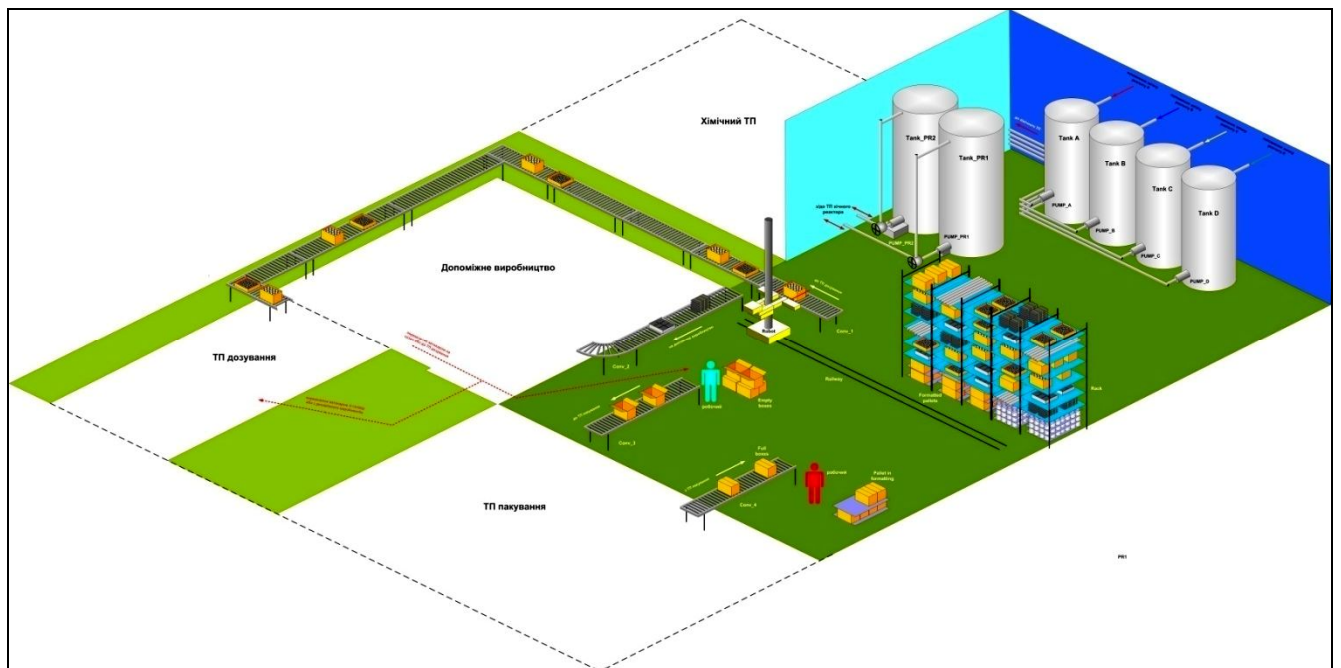


Рисунок 2.8 – Ізометрична графічна модель реального ТП складу

На цій моделі відображено реальне приміщення складу вигаданого промислового підприємства, де змонтовані резервуарний парк та автоматизований

складський стелаж, оснащений спеціальним роботом, та усе інше обладнання, що забезпечує роботу такого складу (наприклад система конвеєрів та трубопроводів).

Дана модель детально описується актором «Викладач» у відповідному текстовому документі, де означається не тільки конструктивна будова цього реального ТП та його принцип дії, але і надається повний перелік встановленого промислового обладнання, його основні конструктивні/технічні/експлуатаційні характеристики, а також перелічуються ті основні матеріальні ресурси, з якими працює це обладнання. У таблиці 2.1 показаний зразок такого переліку.

Таблиця 2.1 – Промислове обладнання та ресурси реального ТП

Позначення	Призначення	Характеристики
1	2	3
Robot	Складський робот автоматизованого стелажу	Тип, встановлені засоби автоматизації та електроприводи
Railing	Електричний механізм пересування робота по заданій траєкторії	- « -
Rack	Складський стелаж	Габаритні розміри, кількість секцій, кількість полиць у кожній секції
Formatted pallets	Готові палети з матеріальними ресурсами	Габаритні розміри, вага, вид матеріального ресурсу, кількість одиниць у палеті, місце зберігання на складі
Pallet in formatting	Палета з матеріальними ресурсами, що формується робочим	- « -
Full boxes	Картонні коробки з упакованою в них готовою продукцією	Габаритні розміри, вага, вид готової продукції, кількість одиниць в коробці, місце зберігання на складі
Empty boxes	Пусті картонні коробки для пакування готової продукції	- « -
Conv_1	Промисловий конвеєр для переміщення коробок з комплектами пустої тари типу 1 (банки меншого розміру та кришки до них) зі складу до дозатора	Розмір, швидкість, вмонтовані засоби автоматизації, тип електричного приводу

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
Conv_2	Промисловий конвеєр для переміщення коробок з заготівками кришок та комплектів заготівок банок зі складу на допоміжне виробництво	- « -
Conv_3	Промисловий конвеєр для переміщення пустих коробок зі складу до ТП пакування готової продукції	- « -
Conv_4	Промисловий конвеєр для переміщення коробок з запакованою готовою продукцією з ТП пакування на склад	- « -
Tank_PR1	Резервуар для зберігання готової продукції типу 1	Габарити, об'єм, властивості рідини, що зберігається
Tank_PR2	Резервуар для зберігання готової продукції типу 2	- « -
PUMP_PR1	Електричний насос для перекачування готової продукції типу 1 зі складського резервуару до ТП хімічного реактора	Потужність, тип електродвигуна, розміри вхідного та вихідного фланців
PUMP_PR2	Електричний насос для перекачування готової продукції типу 2 зі складського резервуару до ТП хімічного реактора	- « -
VENT_PR1	Вентиль подачі готового продукту PR1 або з ТП хімічного реактора до складського резервуару, або зі складського резервуару до ТП хімічного реактора	Пропускна здатність, властивості готового продукту
VENT_PR2	Вентиль подачі готового продукту PR2 або з ТП хімічного реактора до складського резервуару, або зі складського резервуару до ТП хімічного реактора	- « -
Tank A	Ємність для складського зберігання реагенту А	Габарити, об'єм, властивості рідини, що зберігається

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
Tank B	Ємність для складського зберігання реагенту B	- « -
Tank C	Ємність для складського зберігання реагенту C	- « -
Tank D	Ємність для складського зберігання реагенту D	- « -
PUMP_A	Електричний насос для перекачування реагенту A зі складської ємності до ТП хімічного реактора	Потужність, тип електродвигуна, розміри вхідного та вихідного фланців
PUMP_B	Електричний насос для перекачування реагенту B зі складської ємності до ТП хімічного реактора	- « -
PUMP_C	Електричний насос для перекачування реагенту C зі складської ємності до ТП хімічного реактора	- « -
PUMP_D	Електричний насос для перекачування реагенту D зі складської ємності до ТП хімічного реактора	- « -

Таку статичну графічну модель реального ТП актор «Викладач» може «оживити» за допомогою доступного програмного додатку. Наприклад, останні версії графічного редактора «Visio» за рахунок вбудованих макросів дозволяють додавати до графічних моделей елементи технічної анімації. Можна використати і доступні програмні системи промислової автоматизації, наприклад IDE «SCADA Trace Mode 6», яку актор «Студент» використовує для автоматизації лабораторного ТП. На рисунку 2.9 показаний варіант «оживлення» ізометричної моделі реального ТП засобами цієї програмної системи.

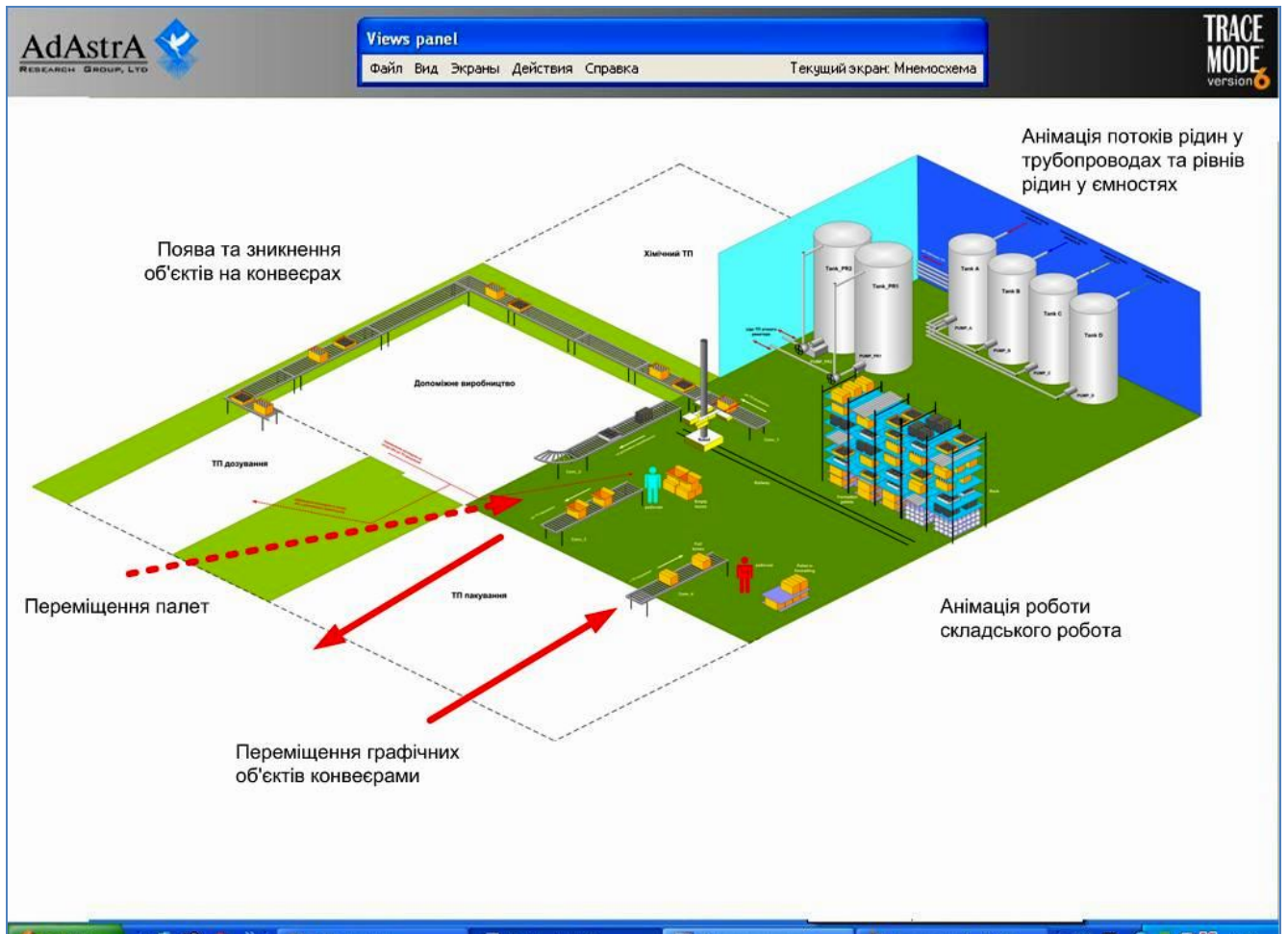


Рисунок 2.9 – Додавання засобів технічної анімації в ізометричну модель

З рисунку видно, що всі графічні об'єкти на чотирьох конвеєрах реального ТП можуть рухатися у потрібному напрямі, а також зникати та з'являтися на цих конвеєрах у потрібний момент часу у відповідності до логіки виконання виробничого процесу. Можна також відобразити переміщення палет з матеріальними ресурсами з приміщень ТП дозування чи допоміжного виробництва, навіть показати автокар, що рухається. Можна відобразити реальні рухи складського робота по переміщенню матеріальних ресурсів зі стелажу на вихідний конвеєр і навпаки. Логіку роботи такої тривимірної анімаційної моделі реального ТП можна програмувати штатними засобами IDE «SCADA Trace Mode б», наприклад, на мовах FBD, IL, ST або C.

Таким чином, у результаті описаних робіт актора «Викладач» буде розроблений повний комплект комп'ютерних моделей реального ТП, які

надаються актору «Студент», щоб він зміг далі почати трансформацію цього реального ТП у реальний автоматизований ТП, використовуючи при цьому і інші вихідні та додаткові комп'ютерні моделі.

2.3 Розробка моделей існуючого АТП актором «Студент»

Як зазначено вище, актор «Студент» приймає активну участь у виконанні кожного етапу даної стадії дослідження цифрової трансформації ТП складу. Так, на першому етапі:

– актор «Студент» спочатку в ході практичного практикуму з однієї чи кількох професійних дисциплін розробляє прикладне ПЗ для лабораторного АТП (лабораторний ТП та лабораторна ІАСУ разом), користуючись при цьому комплектом його вихідних моделей, наданих «Викладачем», та розробляючи свої проєктні моделі даного ПЗ, що поступово призводить до формування його власного уявлення про лабораторний АТП;

– потім актор «Студент», отримавши від актора «Викладач» комплект вихідних комп'ютерних моделей реального ТП в рамках іншої професійної дисципліни (наприклад «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва»), поступово формує у себе вихідне уявлення про реальний АТП (реальний ТП та реальна ІАСУ разом), що функціонує на основі тих же принципів, як і лабораторний АТП.

На другому етапі актор «Студент» в рамках тієї ж професійної дисципліни, використовуючи окремі проєктні моделі прикладного ПЗ лабораторного АТП, розробляє комп'ютерну модель реального АТП, яка являє собою поєднання моделі реального ТП, наданої актором «Викладач», та моделі реальної ІАСУ (має будуватися за тими ж принципами, що і лабораторна ІАСУ, але складатися з інших програмно-технічних засобів автоматизації, які краще відповідають експлуатаційно-технічним характеристикам реального ТП).

Розглянемо спочатку кілька прикладів комп'ютерних моделей, які актор «Студент» розробляє на першому етапі даної стадії дослідження цифрової

трансформації існуючого АТП складу. На рисунку 2.10 показана графічна модель алгоритму роботи складського робота, яка використовується актором «Студент» в процесі проектування прикладної програми контролера, що керує цим роботом.

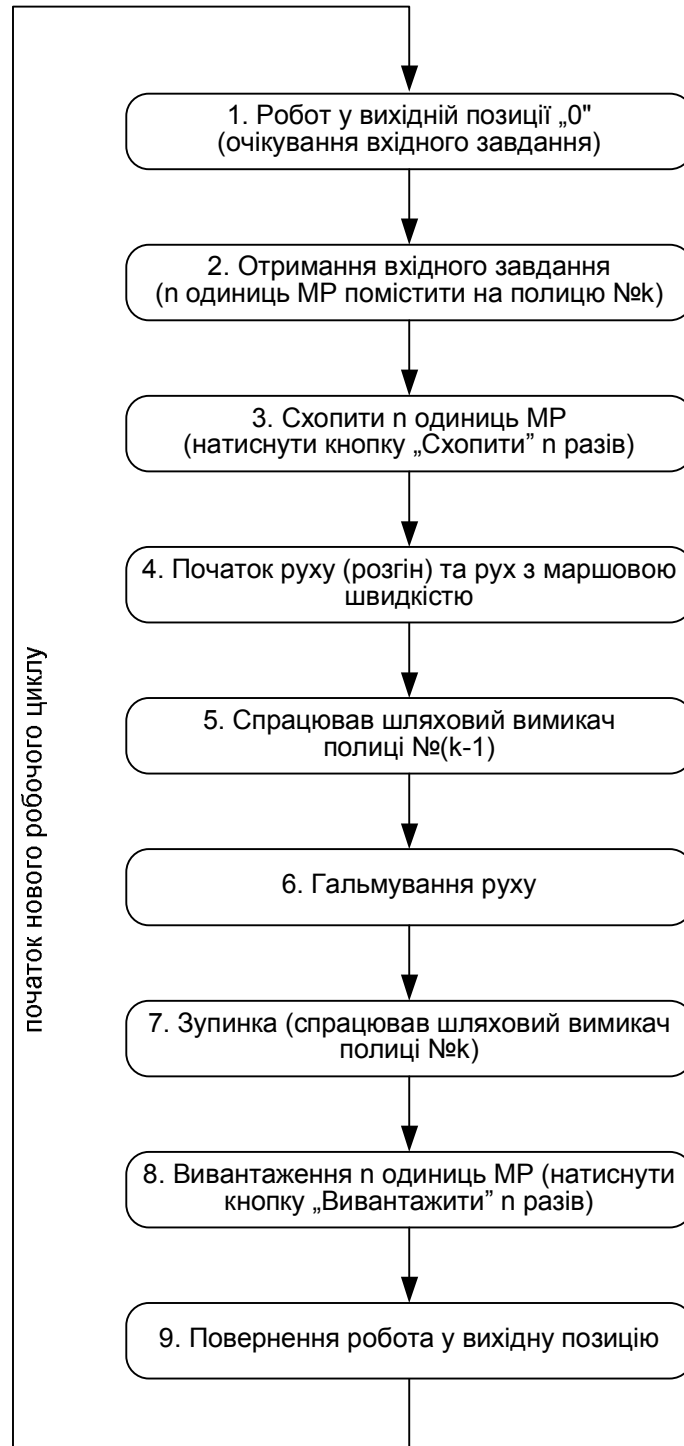


Рисунок 2.10 – Алгоритм роботи підйомника складського робота

На рисунку 2.11 показана ще одна графічна модель прикладного ПЗ промислового контролера (ПЛК), який здійснює управління лабораторним складським роботом. Ця модель відноситься до стадії ескізного проектування ПЗ.

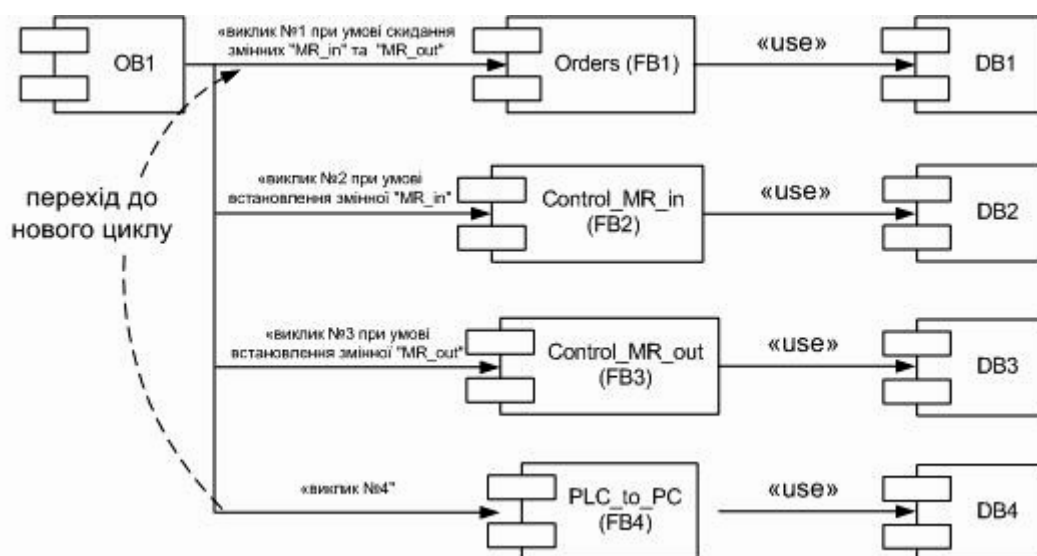


Рисунок 2.11 – Блочна структура прикладної програми ПЛК лабораторного АТП

Ця модель показує, як доцільно побудувати цю програму, щоб можна було здійснювати управління лабораторним складським роботом за алгоритмом, що показаний на рисунку 2.10. Цю та інші ескізні моделі ПЗ промислового контролера актор «Студент» розробляє в рамках практичного курсу відповідної професійної дисципліни, наприклад «Технічні засоби автоматизації».

На рисунку 2.12 показана графічна модель архітектури ПЗ лабораторної ІАСУ ТП складу, яка реалізує стандартні принципи управління періодичним технологічним процесом [32]. Ця модель розробляється актором «Студент» у практичному курсі іншої професійної дисципліни, наприклад «Інтегровані системи управління».

Модель показує усі інструментальні програмні засоби, що мають бути встановленими на обчислювальних ресурсах лабораторної АТП, а також усі прикладні програми, які мають виконуватися на кожному з цих обчислювальних ресурсів для управління лабораторним АТП складу.

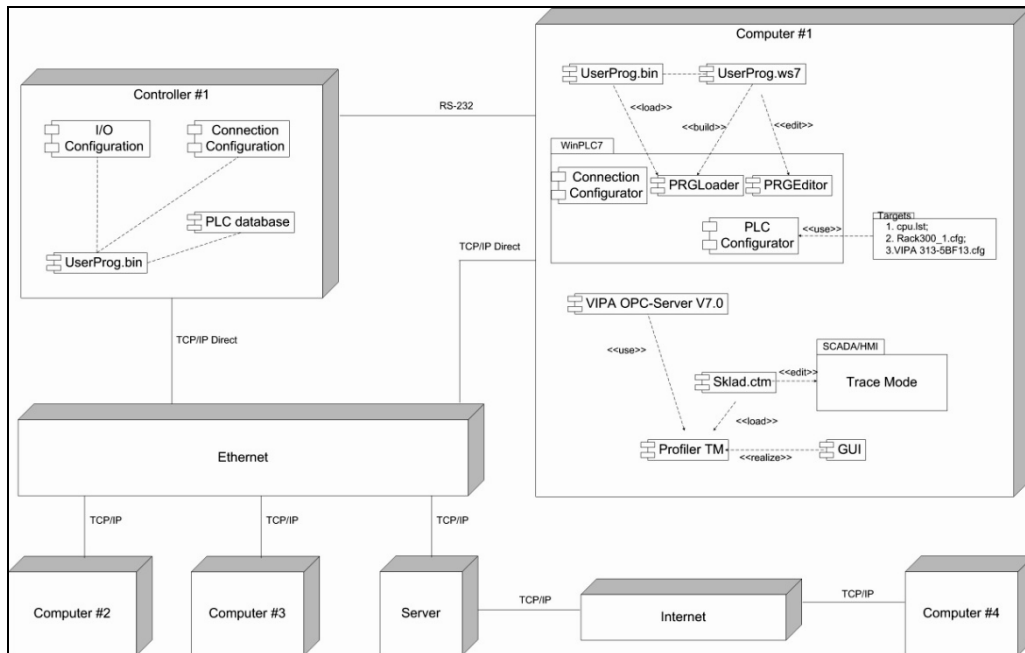


Рисунок 2.12 – Архітектура ПЗ лабораторної ІАСУ ТП складу

Інша графічна модель прикладного ПЗ лабораторної ІАСУ ТП складу, яку актор «Студент» розробляє в рамках вказаної дисципліни, показана на рисунку 2.13.

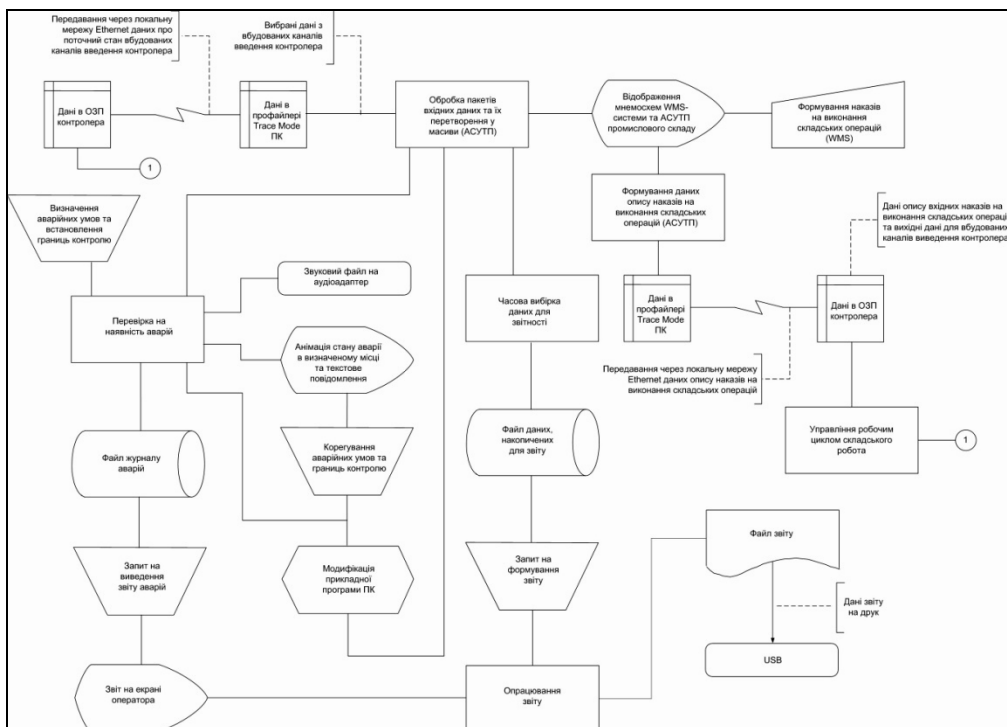


Рисунок 2.13 – Схема даних прикладного ПЗ лабораторної ІАСУ

В рамках практичного курсу професійної дисципліни «Проектування систем автоматизації» актор «Студент» може також розробляти додаткові графічні моделі прикладного ПЗ лабораторного АТП складу. Наприклад, на рисунку 2.14 показана графічна модель шаблону головного екрану НМІ оператора лабораторного АТП складу, яка на стадії технічного проекту реалізується за допомогою IDE «SCADA Trace Mode 6».

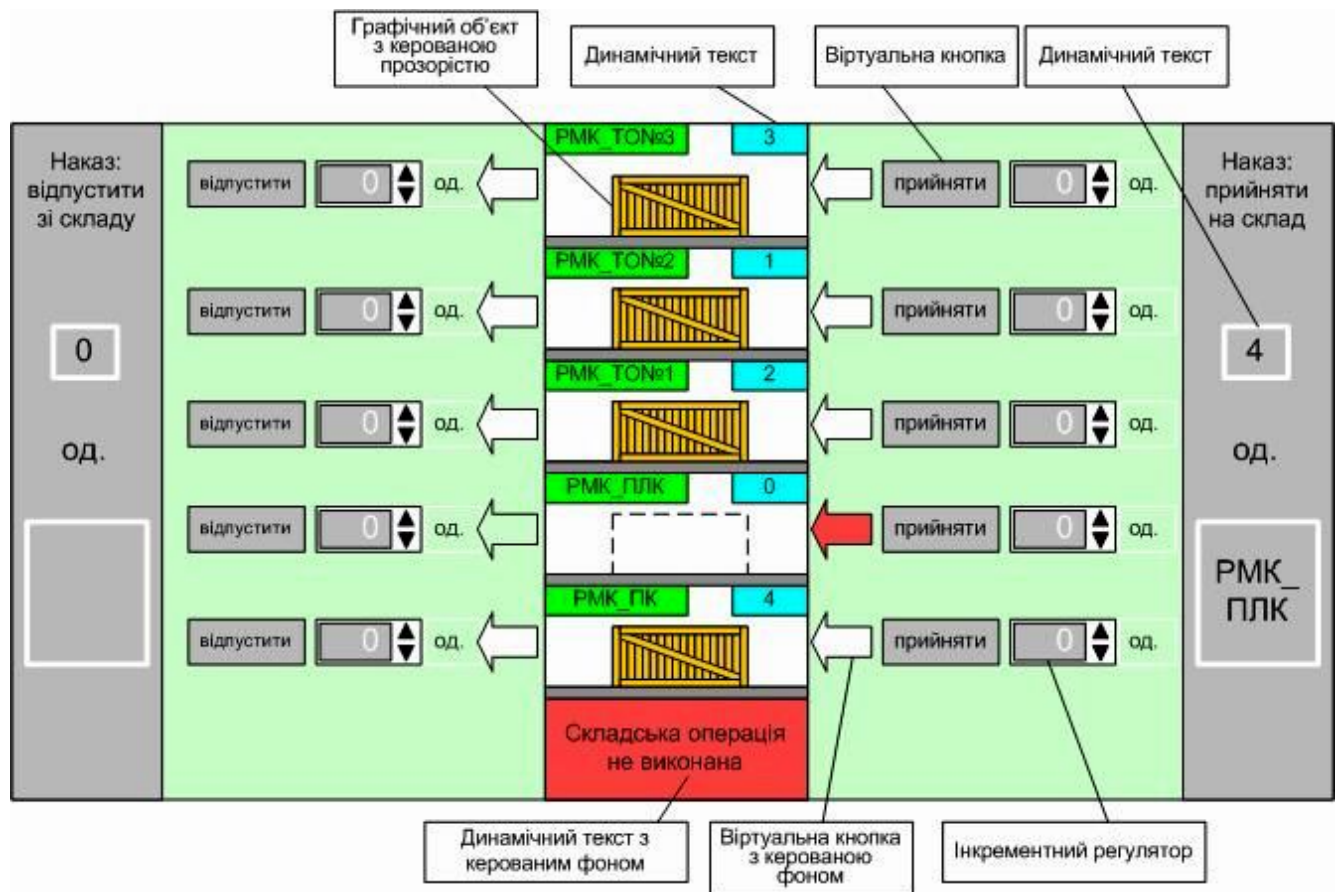


Рисунок 2.14 – Графічна модель шаблону головного екрану НМІ оператора

Усі показані вище моделі актор «Студент» в ході практичних занять реалізує у вигляді прикладного ПЗ, тестує його та налаштовує потрібним чином, отримуючи при цьому цінні знання щодо будови та принципу дії лабораторного АТП в цілому.

Розглянемо тепер ті комп'ютерні моделі, які актор «Студент» обов'язково має розробляти на другому етапі стадії «Моделювання існуючого АТП». Як було зазначено вище, «Студент» використовує при цьому як тривимірну модель

реального ТП, надану актором «Викладач» (див. рисунок 2.8), та додаткову модель динаміки (якщо вона є) цього ТП (див. рисунок 2.9), так і деякі графічні моделі прикладного ПЗ лабораторної ІАСУ, розроблені «Студентом» в рамках різних професійних дисциплін (див. рисунки 2.10 – 2.14).

На даному етапі актор «Студент» повинен розробити модель реальної ІАСУ, яка відображає, по суті, варіант реалізації лабораторної ІАСУ в умовах реального промислового підприємства. Ці умови, без сумніву, відрізняються від тих умов, які є в лабораторії. На підприємстві має бути встановлене реальне промислове обладнання, що має конкретні конструктивні/технічні/експлуатаційні характеристики, а обробляються та переміщуються реальні матеріальні ресурси з відповідними фізико-хімічними властивостями. Тому спочатку актор «Студент» повинен обґрунтовано вибрати для цієї ІАСУ відповідні промислові технічні засоби автоматизації (ТЗА) і розмістити їх на ізометричній моделі реального ТП (рисунок 2.15).

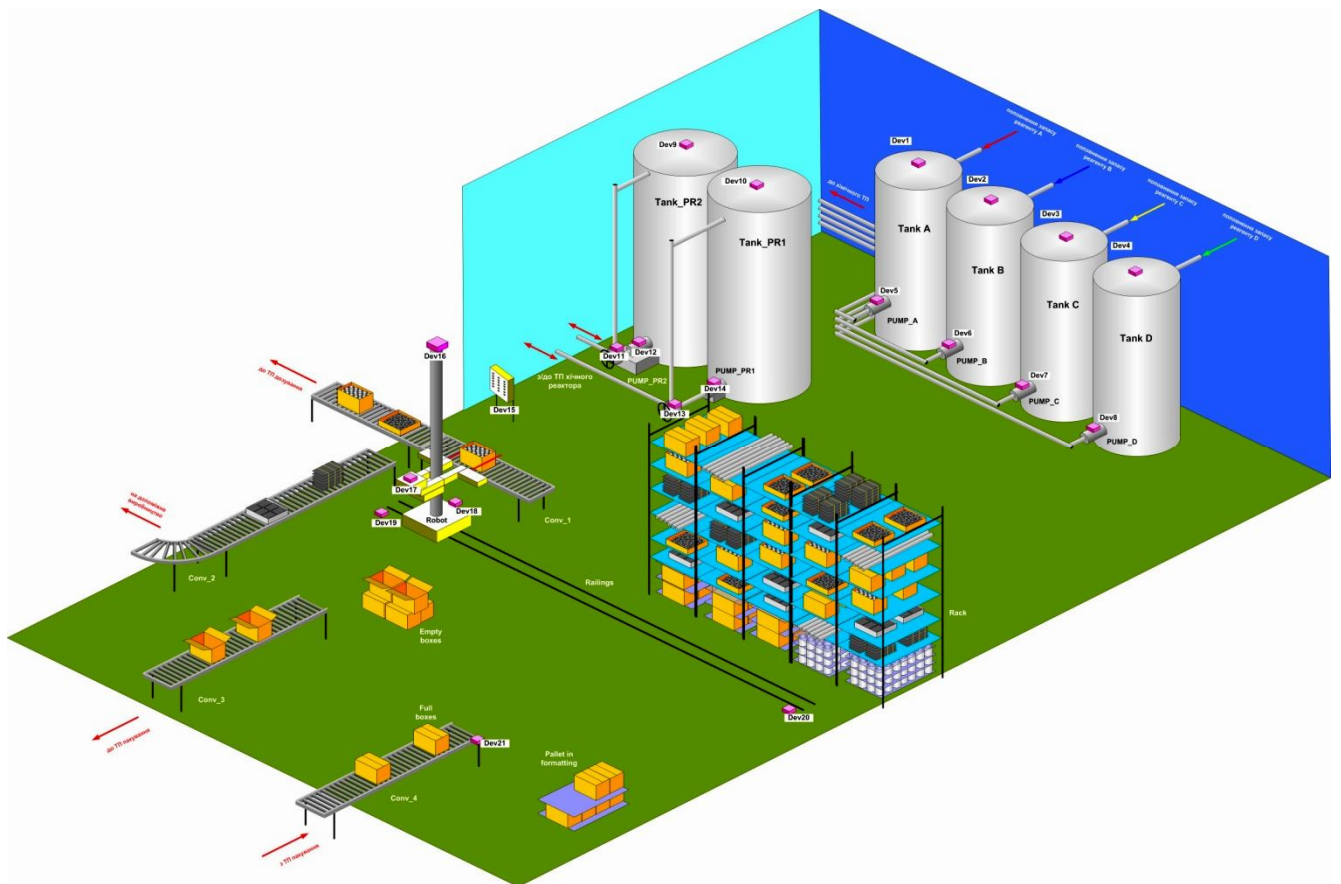


Рисунок 2.15 – Розміщення вибраних ТЗА на тривимірній моделі реального ТП

На рисунку кожному технічному засобу автоматизації (ТЗА) привласнене позиційне позначення «Dev#», де # - позиційний номер. Ці ТЗА обґрунтовано вибираються актором «Студент» з відповідних каталогів промислової автоматизації, враховуючи конструктивні/технологічні/експлуатаційні характеристики промислового обладнання реального ТП, що наведені вище у таблиці 2.1. Графічна модель постачається текстовим переліком усіх вибраних ТЗА з означенням їх призначення, типу та основних конструктивно-технічних характеристик (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Технічні засоби автоматизації реального ТП

Поз. позначення	Призначення	Тип	Характеристики
1	2	3	4
Dev1	Датчик рівня реагенту А у складській ємності	...	...
Dev2	Датчик рівня реагенту В у складській ємності	...	...
Dev3	Датчик рівня реагенту С у складській ємності	...	...
Dev4	Датчик рівня реагенту D у складській ємності	...	...
Dev5	Вбудований контролер електричного насосу «PUMP_A»	...	...
Dev6	Вбудований контролер електричного насосу «PUMP_B»	...	...
Dev7	Вбудований контролер електричного насосу «PUMP_C»	...	...
Dev8	Вбудований контролер електричного насосу «PUMP_D»	...	...
Dev9	Датчик рівня готового продукту типу 2 у складському резервуарі	...	...
Dev10	Датчик рівня готового продукту типу 1 у складському резервуарі	...	...

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4
Dev11	Вбудований контролер вентилля «VENT_PR2»	...	...
Dev12	Вбудований контролер електричного насосу «PUMP_PR2»	...	...
Dev13	Вбудований контролер вентилля «VENT_PR1»	...	...
Dev14	Вбудований контролер електричного насосу «PUMP_PR1»	...	...
Dev15	Загальний промисловий контролер ТП промислового складу	...	...
Dev16	Вбудований загальний контролер складського робота	...	...
Dev17	Вбудований контролер механізму схоплення складського робота	...	...
Dev18	Вбудований цифровий пристрій ідентифікації положення складського робота	...	...
Dev19, Dev20	Датчики-сигналізатори крайніх положень складського робота	...	...
Dev21	Датчик-сигналізатор крайнього положення коробок на конвеєрі «Conv_4»	...	...

Після розміщення усіх ТЗА на тривимірній моделі реального ТП актор «Студент» повинен спроектувати систему сигнальної арматури, яка забезпечить передачу електричних сигналів (вимірювання, управління) між загальним промисловим контролером «Dev15» й рештою ТЗА реального АТП складу. Для «прокладання» сигнальних кабелів на реальному підприємстві зазвичай застосовується спеціальна монтажна арматура. На рисунку 2.16 показаний варіант розміщення цієї арматури у приміщенні реального ТП.

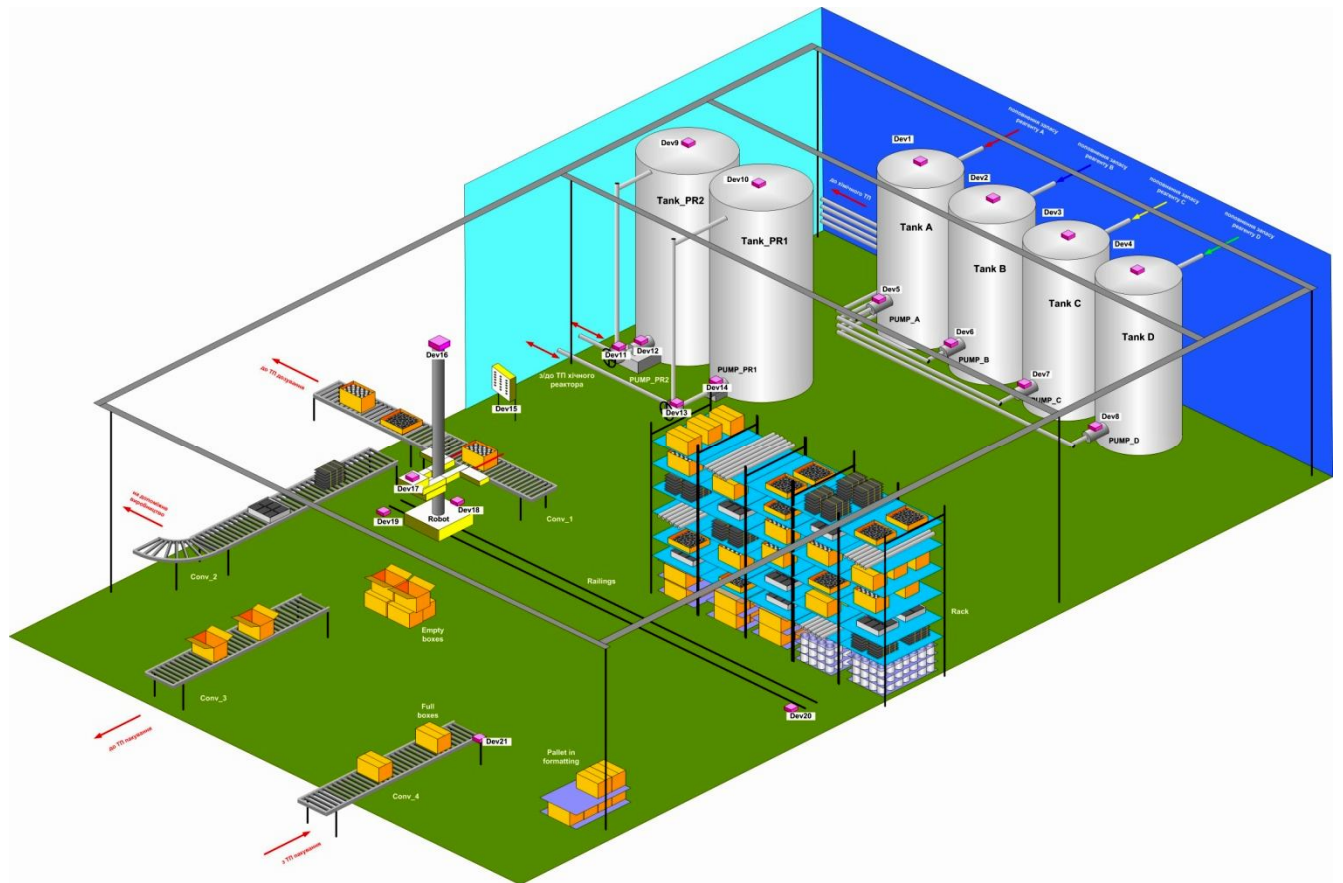


Рисунок 2.16 – Розміщення сигнальної арматури на реальному ТП

Ця арматура являє собою монтажні профілі, що встановлені на вертикальних опорах. Всередині цих профілів при монтажі укладаються сигнальні кабелі, що йдуть від/до промислового контролера. Біля місця розміщення відповідного ТЗА потрібний сигнальний кабель опускається з монтажного профілю і підключається до цього ТЗА.

В результаті прокладки усіх сигнальних кабелів актор «Студент» отримає тривимірну модель електричного монтажу ТЗА на реальному ТП (рисунок 2.17).

Далі актор «Студент» доповнює тривимірну модель реального АТП програмно-технічними засобами оперативного та диспетчерського управління. Оперативне управління має здійснюватися через автоматизоване робоче місце оператора АТП, яке розташовується у окремому приміщенні. Диспетчерське управління періодичним виробництвом реального АТП має здійснюватися через автоматизоване робоче місце диспетчера виробництва, яке також повинно розміщуватися у окремому приміщенні.

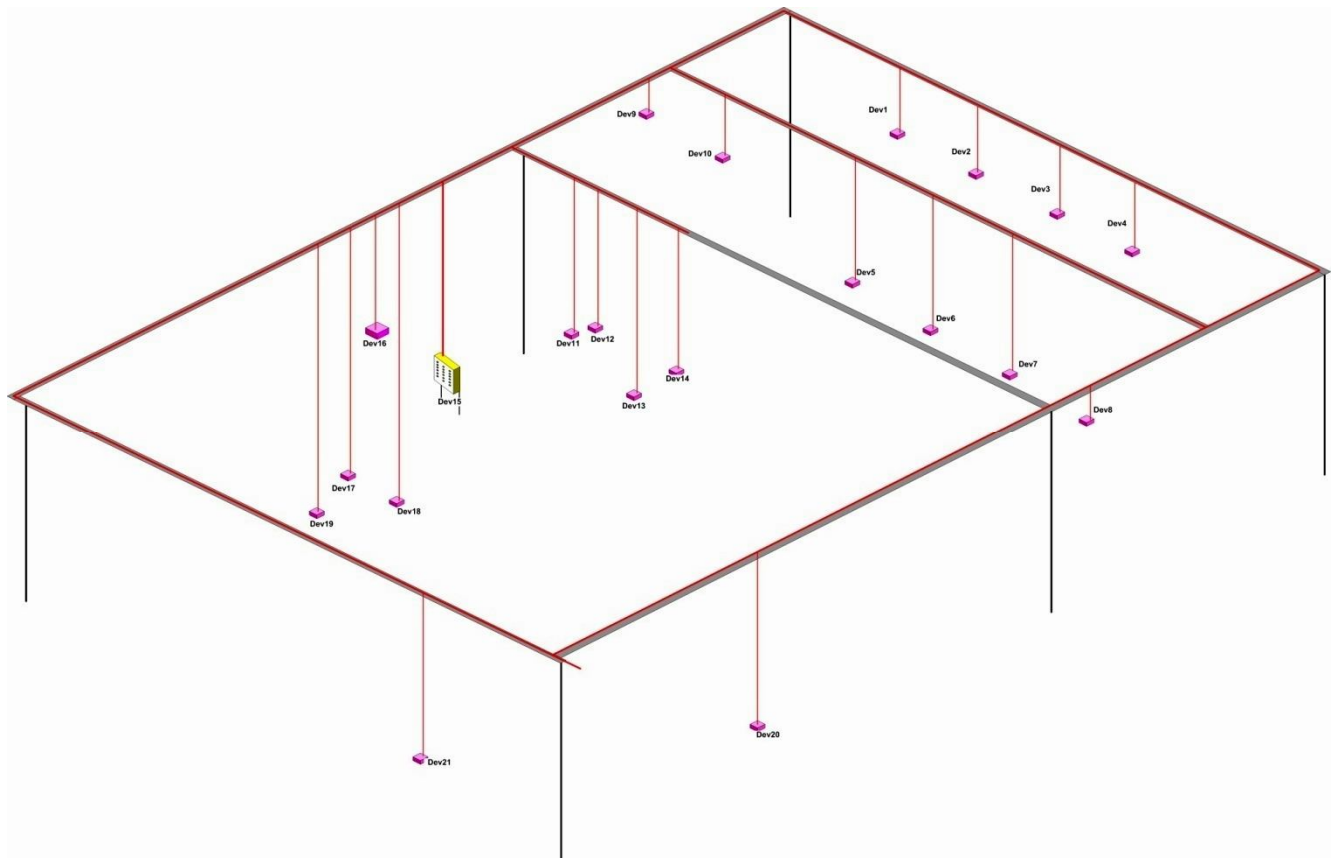


Рисунок 2.17 – Ізометрична модель електричного монтажу ТЗА на реальному ТП

На рисунку 2.18 показані відповідні доповнення тривимірної моделі реального АТП. Автоматизоване робоче місце диспетчера розміщено на другому поверсі будівлі, а оператора – на виробничій ділянці у окремій кімнаті.

Останнє, що повинен зробити актор «Студент», щоб отримати повну тривимірну модель реального АТП, це «прокласти» в приміщенні підприємства корпоративну цифрову мережу, яка з'єднає промислові контролери реального АТП та автоматизовані місця оператора та диспетчера (рисунок 2.19).

На рисунку 2.19 показаний додатковий працівник складу – інженер з контрольно-вимірювальних пристроїв та автоматики (КВПіА), який обов'язково має спостерігати за роботою ТЗА та всієї системи управління в цілому, а також виконувати їх ремонт та налаштування.

На цьому виконання даної стадії дослідження цифрової трансформації ТП промислового складу закінчується і актор «Студент» може перейти до виконання наступної стадії з використанням нових НЗ.

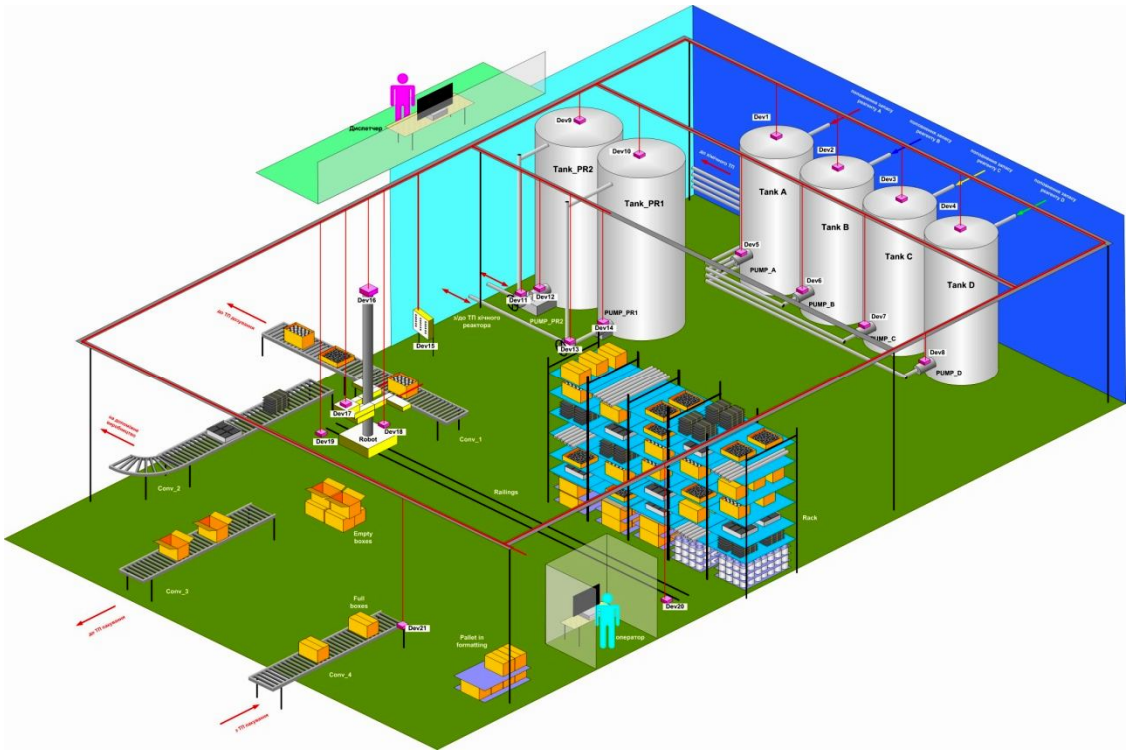


Рисунок 2.18 – Розміщення на ізометричній моделі АРМів оператора і диспетчера

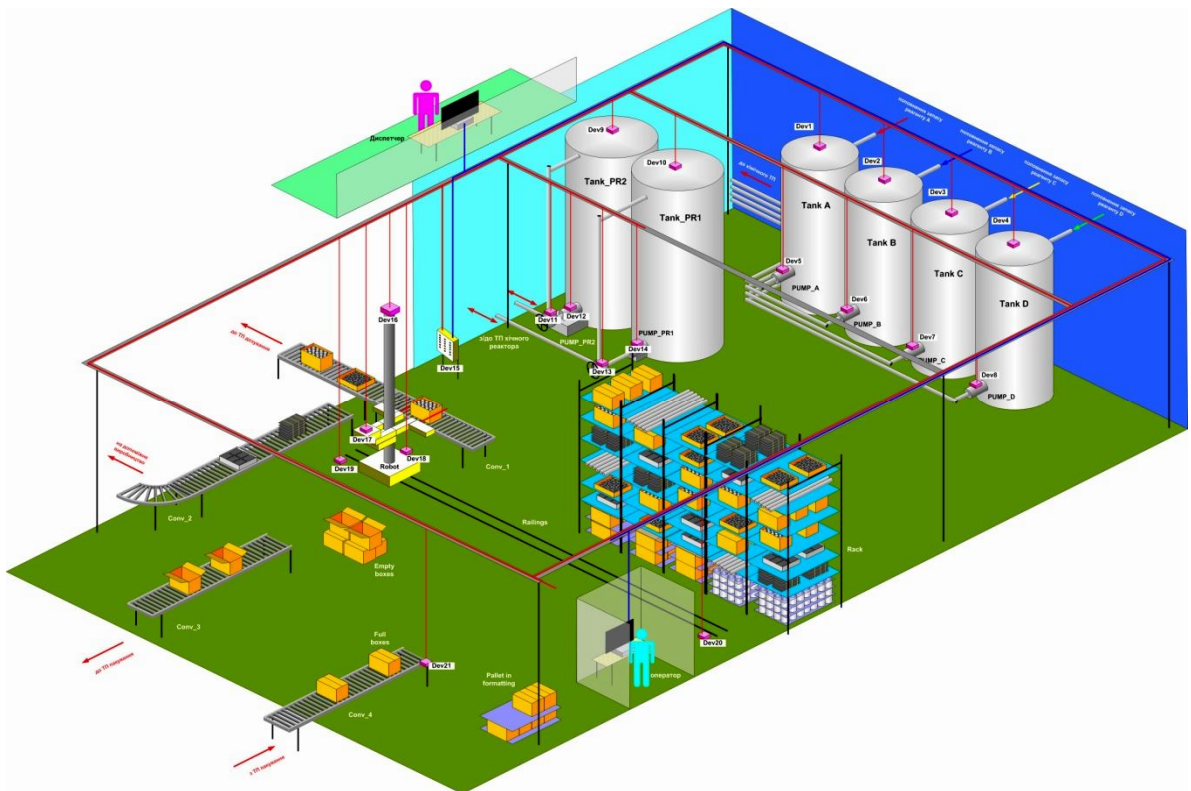


Рисунок 2.19 – «Монтаж» корпоративної цифрової мережі

2.4 Висновки до розділу

В результаті виконання дослідницьких та проектних робіт у даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи була обґрунтована діаграма станів процесу виконання стадії «Моделювання існуючого автоматизованого ТП», який виконує і студент, і викладач, в ході дослідження цифрової трансформації ТП промислового складу. Зроблений огляд та наведені приклади основних комп'ютерних моделей, що має розробляти викладач для навчально-методичного забезпечення навчального дослідження. Зроблений огляд та наведені приклади комп'ютерних моделей, що має розробляти студент в ході цього ж навчального дослідження.

В подальшому на основі цих комп'ютерних моделей студент зможе якісно виконати наступну стадію цифрової трансформації існуючих в лабораторії ТП промислового складу.

3 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «АНАЛІЗ РЕАЛЬНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ТП»

3.1 Загальне бачення

При роботі студента на нових навчальних засобах (НЗ), по суті, відтворюється реальний процес цифрової трансформації існуючого реального АТП промислового складу, побудованого за концепцією комп'ютерно-інтегрованого виробництва «Індустрія 3.0» (I3.0), у досконаліший варіант даного АТП, що в тій чи іншій мірі відповідатиме вимогам перспективної концепції цифрового виробництва «Індустрія 4.0» (I4.0).

Вище була запропонована загальна архітектура нових НЗ, яка відображає стадії цього процесу цифрової трансформації, кожна з яких складається з обов'язкових дій студента та викладача, виконуваних у певному порядку та з залученням відповідних програмно-технічних засобів.

Згідно з цією архітектурою, на стадії «Аналіз існуючого АТП» студент повинен порівняти будову та принцип дії реального АТП, існуючого у вигляді повного комплексу комп'ютерних моделей, а також сформованих уявлень студента, з властивостями більш досконалого АТП цифрового «розумного виробництва» і виявити в результаті такого порівняння основні недоліки існуючого реального АТП, склавши відповідний їх перелік.

Таким чином, загальне бачення процесу виконання даної стадії цифрової трансформації технологічного процесу промислового складу має виглядати так, як показано на рисунку 3.1 і в додатку Б. На попередній стадії процесу цифрової трансформації розробляється повний комплект комп'ютерних моделей реального АТП, в результаті чого у студента формується повне уявлення про його будову та принцип дії. На стадії «Аналіз реального АТП» студент поступово порівнює властивості існуючого реального АТП (будова та принцип дії) з властивостями «розумного виробництва» (з точки зору його автоматизації), аналізує результат порівняння та складає перелік тих недоліків реального АТП, які далі можна буде усунути шляхом впровадження перспективних цифрових технологій.

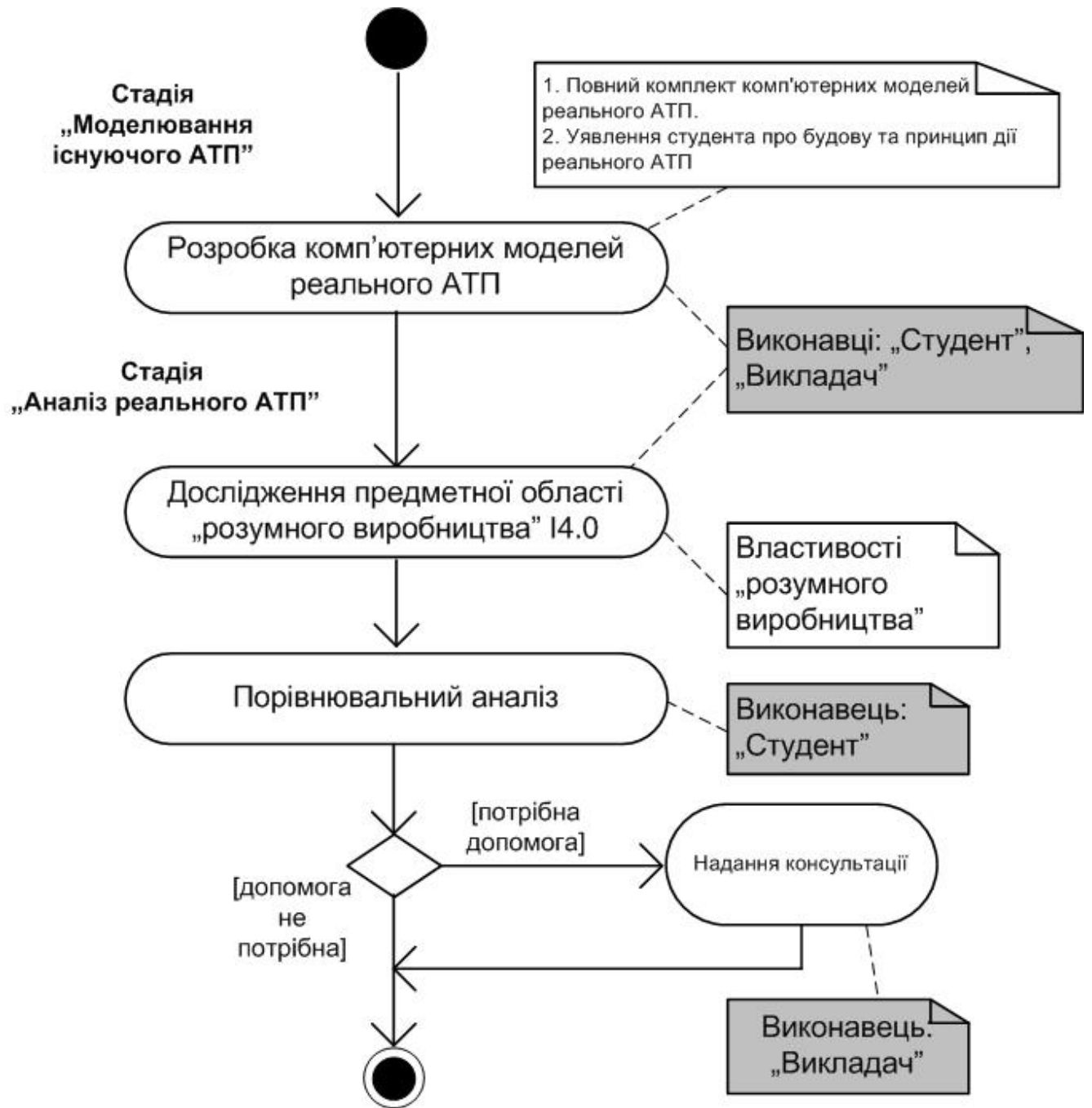


Рисунок 3.1 – Загальне бачення процесу виконання стадії

Порівнювальний аналіз може виконуватися за участі викладача, наприклад, при наданні студенту відповідних консультацій або у підготовці інформації про властивості «розумного виробництва» (у вигляді навчально-методичних матеріалів). На жаль, на сьогодні ще не сформоване остаточне визначення поняттю «розумне виробництво», де б перелічувались усі його основні властивості. Тому цю інформацію треба формувати шляхом відповідного

дослідження предметної області «розумного виробництва. Це дослідження має самостійно виконувати студент, що сприятиме кращому розумінню ним процесу цифрової трансформації. Проте, готувати таку інформацію може і викладач, хоча це зменшуватиме ефективність навчання. У будь-якому випадку, після проведених досліджень властивості «розумного виробництва» (з точки зору автоматизації) можна представити у вигляді переліку його основних ознак. Складемо такий перелік.

Сьогодні цифрові технології швидко змінюють виробництво від виготовлення товарів широкого вжитку до товарів за індивідуальними замовленнями споживачів [33-39]. Тому кінцевою бізнес-метою для промисловців – основою конкурентоздатності у 21-му столітті – стає виготовлення правильного продукту і розповсюдження його між правильними споживачами по правильній ціні. Ідеально, якщо такий продукт матиме ще велику цінність, тобто буде для споживача максимально корисним і, відповідно, дуже привабливим.

Баченню «Industry 4.0» (I4.0) додають також інтелектуальні виробничі системи як основа процесів виробництва та збирання (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 - Інтелектуальні виробничі системи – основа «Industry 4.0»

Ідея «розумної фабрики» є центральною для «Industry 4.0», проте, багато

людей ще використовують цей термін, не розуміючи його повного значення. На жаль, дотепер існує дуже слабкий консенсус серед аналітиків та промисловців щодо значення цього терміну. Описи, що вибрані з промислових досліджень та звітів, дають такі пояснення:

- суттєве покращення розвитку виробничих бізнес-структур та їх позиції у ланцюгу поставок;
- повністю зв'язані та гнучкі системи, які працюють на основі постійного потоку даних від підключених виробничих та операційних систем;
- нетипова автоматизація промислових засобів, особливо у термінах дискретних задач або процесів..

Цей опис може допомогти у розумінні терміну, але не до кінця. Якщо дуже узагальнено, то «розумна фабрика» є концентратором ресурсів, процесів та практик. Для середовища «Industry 4.0» вона є тим місцем, де виробники генерують (формують) цінність (value) продукції.

У зв'язку з тим, що дотепер немає задовільного означення поняттю «розумна фабрика», досить важко і описати її типові характеристики. Тому легше замість цього чітко пояснити те, що вона може робити. Такий підхід до ідентифікації поняття «розумна фабрика» означає такі її можливості:

- здійснює моніторинг, збирання, координацію, управління і інтеграцію даних, використовуючи інформаційні комунікації та технологію управління даними;
- виробляє та розподіляє вироблені товари набагато швидше у відповідності до вимог ринку;
- використовує інтелектуальних агентів та інші кіберфізичні системи для більш ефективної діяльності;
- використовує автоматизовані агенти для оптимізації комплексу виробничих рішень, які зазвичай приймались людьми;
- використовує цифровий зв'язок для взаємодії з постачальниками, покупцями, партнерами та виробничими підрозділами;
- може бути підключена до глобальної мережі аналогічних виробничих

систем та цифрових ланцюгів поставок;

- розвивається з метою адаптації до змінюваних бізнес-цілей організації.
- адаптується до нових/змінюваних умов та навчається на них в режимі реального або майже реального часу.

При цьому 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. Сила кіберфізичних систем полягає в тім, що вони надають нових можливостей для реалізації значно складніших виробничих процесів.

Вимоги до побудови «розумної фабрики», які відповідають можливостям існуючих зараз технологій, засновані на 6 основних принципах проектування фабрики. Розглянемо їх детальніше.

Модульність (modularity): цей проектний принцип дає можливість системним компонентам бути зібраними, розібраними та скомпонованими іншим чином досить швидко та легко. На рівні виробництва цей принцип означає можливість додавання, переміщення або зміни порядку слідування компонентів виробничої лінії без значних зусиль за мінімальний час. Вищій рівень модульного проектування дає можливим швидкої інтеграції розумних активів від різних виробників.

Здатність до взаємодії (interoperability): проект «розумної фабрики» має означувати здатність до взаємодії, що означає можливість розповсюдження технічної інформації поза (або між) системними компонентами. Така бізнес інформація може бути далі розповсюджена між виробничими підприємствами, постачальниками та покупцями (споживачами).

Децентралізація (decentralization): перенесення децентралізованого та автономного прийняття рішень до машин та кіберфізичних систем є головною ціллю Industry 4.0. При цьому на увазі маються і автономні системні елементи, такі як модулі, системи обробки матеріалу та продукти, розміщені де завгодно на рівні виробництва. Головною метою є надати кіберфізичним системам можливість приймати рішення без втручання централізованого управління

(людини чи машини).

Існують два можливих шляхи реалізації автономності на «розумній фабриці»:

- надати можливість кіберфізичній системі приймати рішення щодо виробничого процесу автономно у реальному часі, якщо результат не порушує бізнес-цілей високого рівня;

- дозволити вбудованим комп'ютерам допомагати автономним кіберфізичним системам взаємодіяти з їх виробничим середовищем через сенсори та виконавчі пристрої.

Режим реального часу (*real-time capability*): конфігурація «розумної фабрики», що побудована на принципі модульності, може бути швидко зміненою ззовні або самостійно у відповідності до змін – зовнішніх чи внутрішніх. Цей швидкий відгук заснований на можливості збирання та аналізування поточних даних. Завдяки цьому, виробники отримають інформацію щодо трендів та спрогнозують потенціальний ризик незапланованої зупинки, так само, як змінять план виробничої лінії з урахуванням зміни уподобань покупців.

Віртуалізація (*virtualization*): цей процес об'єднує фізичні виробничі системи та дані процесу для створення віртуального виробничого середовища, яке може:

- здійснювати моніторинг, управління та імітацію фізичних систем і процесів;

- надсилати дані для оновлення віртуальної моделі у реальному часі;

- виконувати проєктні зміни фабрики шляхом створення цифрових прототипів;

- навчати робочу силу виконувати ручні завдання;

- діагностувати та прогнозувати виходи з ладу;

- керувати працівниками при виконанні задач з обслуговування/ремонту.

Сервісна орієнтація (*service orientation*): цей проєктний принцип зміщує фокус з продажу продуктів на продаж продуктів та послуг. Розумні фабрики зі стратегією, орієнтованою на сервіси, будуть проєктувати та виробляти продукти,

створювати відповідні сервіси та продавати їх разом. Цей підхід заохочує як інноваційне покращення основних процесів, так і, якщо необхідно, аутсорсінг або усунення інших процесів.

Живий відгук (responsiveness): спроможність, яка забезпечує реакцію на зміни у статусі внутрішніх виробничих систем, уподобань покупців або на інші зміни на ринку. Для цього проекти «розумної фабрики» повинні:

- використовувати моніторинг даних реального часу та аналітичні методи для ідентифікації процесів, обладнання або ринкових змін;
- включати достатній обсяг модульності для спрощення процесів відновлення системи або зміни виробничих систем/обладнання;
- забезпечувати реакцію у реальному часі на внутрішні зміни, результати моніторингу та управління.

Аналізуючи усі наведені вище можливості «розумної фабрики», побудованої за концепцією I4.0, можна виділити основні властивості її виробництва, що характеризуються відповідними ознаками. Ці ознаки можна віднести до таких трьох груп: «Економічні ознаки», «Технічні/функціональні ознаки» та «Соціальні/суспільні ознаки» (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Основні ознаки «розумного виробництва» I4.0

Ознака	Коротка характеристика
1	2
Економічні ознаки	
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, удосконалення 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 вдосконалення виробництва потрібна постійна його оптимізація. При цьому недостатньо самого прагнення до безперервного вдосконалення, а необхідні ресурси й технології для досягнення цієї мети.

Продовження таблиці 3.1

1	2
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 оперативного 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).
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.
Технічні/функціональні ознаки	
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.

Продовження таблиці 3.1

1	2
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).
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.
Соціальні/суспільні ознаки	
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 (IT) і операційних технологій (OT) 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.

Продовження таблиці 3.1

1	2
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
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).

Розроблений перелік основних властивостей «розумного виробництва» дає достатнє уявлення про його переваги перед виробництвом І3.0 в цілому. Тобто на основі цих ознак можна виконувати загальний порівняльний аналіз обох видів виробництв. Але для навчального порівнювального аналізу треба розробити такий його алгоритм, який би враховував структурну будову виробництв, яка включає різні компоненти – процеси, обладнання, функції, дані тощо. Тоді можна буде порівнювати усі ці компоненти і виявити більшу кількість недоліків існуючого реального АТП промислового складу.

3.2 Розробка алгоритму виконання аналізу

Для виконання порівнювального аналізу спочатку треба вибрати ту структурну будову АТП, яку далі використовувати в якості взірця. У нас є вже структура існуючого реального АТП (у вигляді повного комплексу комп'ютерних моделей), яка ґрунтується на концепції І3.0. Проте у світовій практиці існує і

структура АТП «розумного виробництва, що ґрунтується на концепції І4.0.

Виходячи з навчально-методичних міркувань, буде більш доцільним взяти за взірць структурної будови саме останній варіант АТП, тобто той, що має бути отриманий в результаті цифрової трансформації існуючого реального АТП. По-перше, властивості «розумного виробництва», виявлені вище, ідеально суміщаються саме з цією структурою, по-друге, відсутність якогось компонента структури І4.0 у складі структури існуючого реального АТП можна буде зразу вважати його недоліком, тобто сам процес аналізу спрощується.

На даний час структурну будову «розумного підприємства» І4.0 та його «розумного виробництва» регламентують декілька стандартних моделей, які називаються референтними [40-43]. Наприклад, референтна модель Reference Architecture Model for Industry 4.0 (RAMI 4.0) описує нейтральну щодо подальшої реалізації найкращу (рекомендовану) архітектурну модель для тих додатків, що використовують Інтернет Речей (ІоТ), аналітику великих даних та інші технологічні новації у виробничих процесах «розумного виробництва» [40].

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.

Дана модель може бути інструментом для означення різних концепції в рамках І4.0, так і їх практичних використань. В цій моделі окремі компоненти І4.0 описуються на рівні їх структури та функцій. Модель вимагає формулювання вимог щодо конкретного застосування з метою опису та подальшої розробки І4.0 концепцій та продуктів.

Модель RAMI 4.0 базується на технології Smart Grid Architecture Model (SGAM), яка була розроблена у свій час для комунікацій у мережах джерел відновлюваної енергії, а також на технологіях Computer Integrated Manufacturing Open System Architecture (CIMOSA) та стандарті ISA-95. CIMOSA – це технологія до моделювання процесів виробництва у інтегрованому комп'ютеризованому

каркасі, що заснована на подіях. Стандарт ISA-95 є архітектурною моделлю, що описує інтеграцію функцій підприємства та керуючих систем. Вона утворює ієрархічну структуру виробничих систем, починаючи від технологічних процесів і закінчуючи вищим рівнем, тобто бізнес логістикою.

Референтна модель RAMI 4.0, що показана на рисунку 3.3, базується на трьохвимірній системі координат – «Шари» (Layers), «Ієрархічні рівні» (Hierarchy Levels) та «Життєвий цикл та потік формування цінності» (Life Cycle & Value Stream).

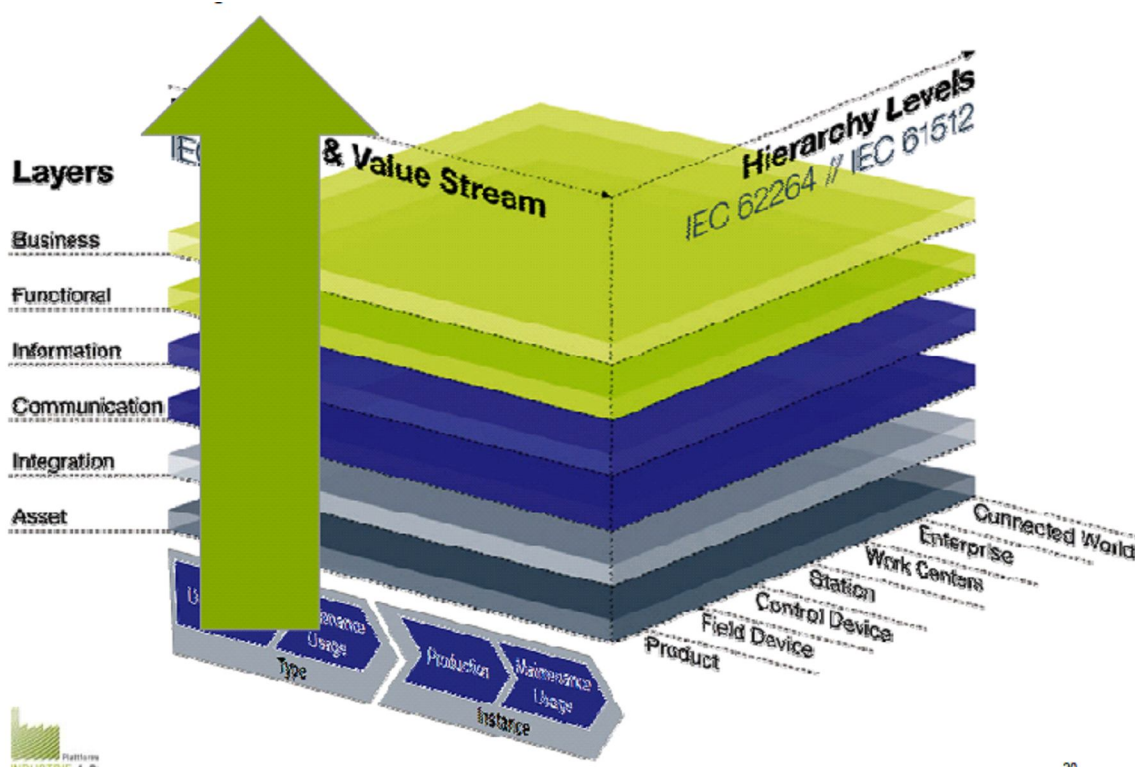


Рисунок 3.3 - Референтна архітектурна модель RAMI 4.0

На даному рисунку означений напрямок проектування ІТ-представлення деякого І4.0 компонента чи всієї системи в цілому, яке отримало назву «знизу догори». За цим способом проект будується поступово, описуючи послідовно такі шари моделі RAMI4.0:

1). Шар активів (Asset): представляє реальність, тобто фізичну сутність активу (ресурсу), яка представлена усіма іншими шарами, або дані, що є

результатом виконання активом відповідних функцій

2). 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).

3). 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).

4). 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.

5). 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).

6). 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.

По вісі «Ієрархічні рівні» (Hierarchy Levels) відображаються у порядку підпорядкування рівні виробничої установки чи системи, яка об'єднана в мережу за допомогою Інтернет (тобто є інтегрованою і складається з окремих

компонентів, що виконують функції різного рівня). При цьому ієрархічні рівні моделі RAMI4.0 в основному збігаються з рівнями піраміди автоматизації (рисунок 3.4), що описана стандартом ISA 95 [44].

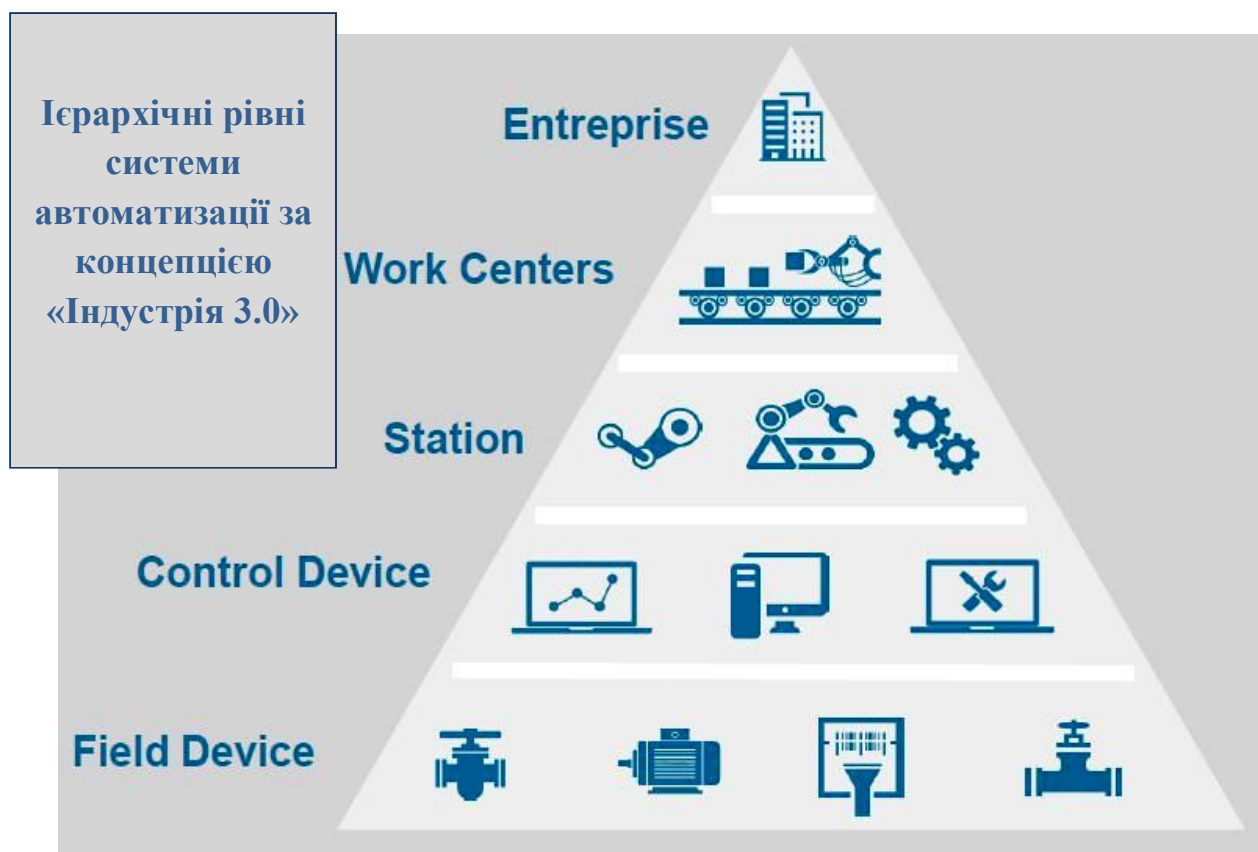


Рисунок 3.4 – Піраміда автоматизації за концепцією «Індустрія 3.0»

Недоліками такого бачення будови системи автоматизації, яке відноситься до концепції «Індустрія 3.0», є такі:

- структуру системи визначають використовувані апаратні засоби;
- функції прив'язані до апаратних засобів;
- комунікації (зв'язки) здійснюються між рівнями системи;
- продукт (у широкому розумінні – фізичний актив, ресурс) ізольований від протікання процесів в системі.

Модель RAMI4.0 пропонує інше, більш сучасне, бачення системи автоматизації «розумного виробництва», що передбачає децентралізацію управління та більшу автономність окремих компонентів системи (рисунок 3.5).

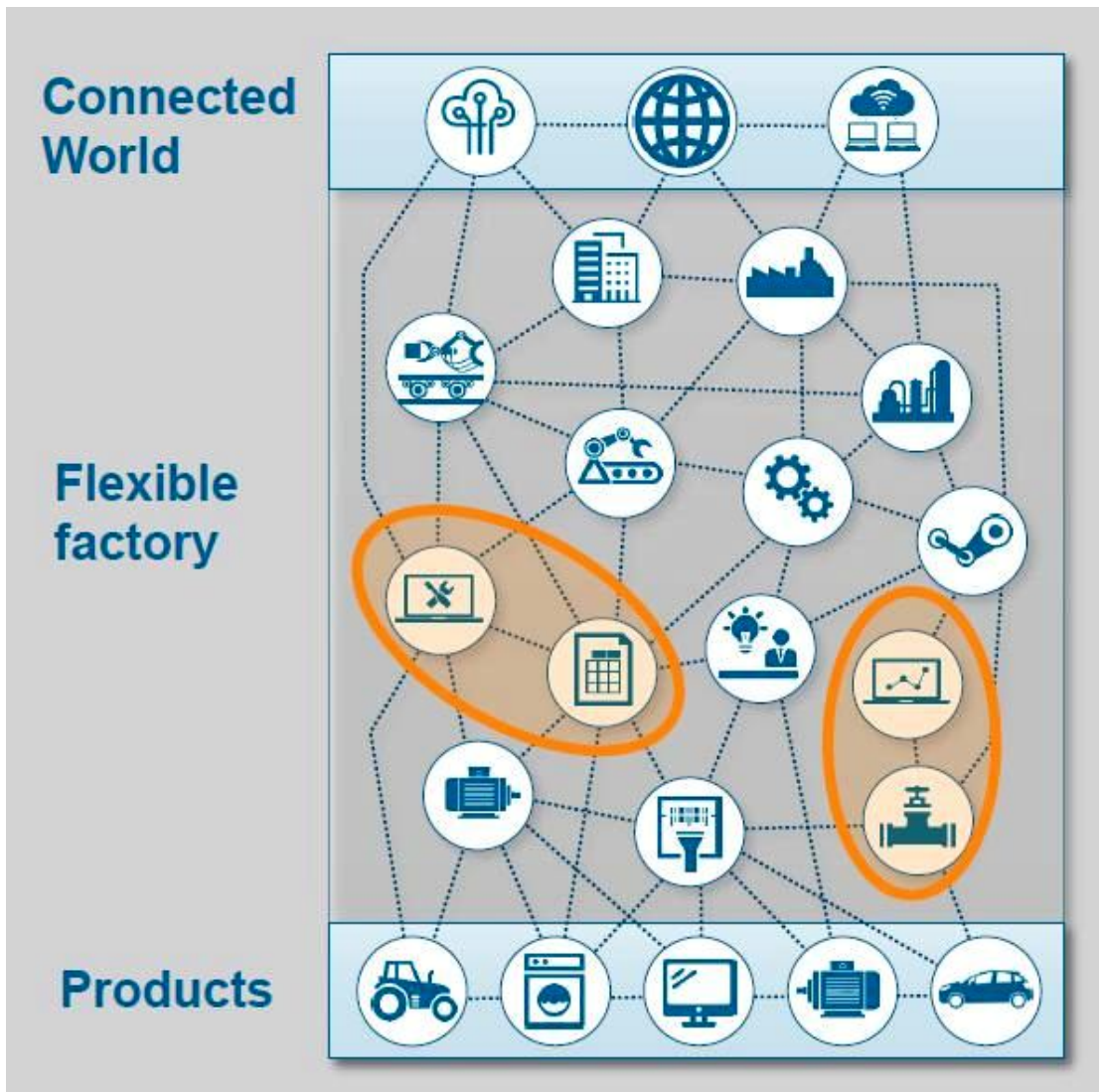


Рисунок 3.5 – Ієрархічна будова системи автоматизації I4.0

Перевагами такої системи автоматизації виробництва є такі:

- висока гнучкість систем та виробничих машин, функції яких розподілені (децентралізовані) по мережі;
- мережа може перетинати границі виробничого підприємства;
- учасники процесу управління (компоненти системи) взаємодіють через ієрархічні рівні;
- усі учасники процесу управління (компоненти системи) мають змогу зв'язуватися (комунікувати) один з одним;
- продукт (у широкому розумінні – фізичний актив, ресурс) є частиною мережі.

Таким чином, ієрархічні рівні (Hierarchy Levels) представляють в моделі RAMI4.0 різні функціональні рівні «розумного підприємства»:

1). «Зв'язаний Світ» (Connected World) описує зв'язок між активом (ресурсом) або комбінацією активів (ресурсів) з іншим активом (ресурсом) чи комбінацією активів (ресурсів) іншої віддаленої інсталяції або компанії. Цей рівень представлений тільки у даній референтній моделі.

2). «Підприємство» (Enterprise) представляє будь-яку ділову організацію, ініціативу, підприємство або починання з означеною місією. Підприємство об'єднує одну або кілька майданчиків (sites). Воно відповідальне за визначення тих продуктів, які будуть вироблятися, на яких майданчиках та, загалом, яким чином.

3). «Робочі центри» (Work Centres) відображає той факт, що в залежності від типу виробничої системи (дискретна, періодична, неперервна), майданчики по різному можуть бути організовані у виробничі елементи вищого рівня (наприклад, виробнича лінія, зона зберігання, виробнича комірка). В RAMI4.0 усі такі елементи вищого рівня уніфіковані щодо концепції робочого центру для гарантування узгодженості рішення уздовж різних організаційних моделей. В результаті, робочі центри представляють вищий рівень елемента, що виконує виробничі функції та на який спрямоване планування та створення розкладів. Робочі центри мають добре визначені виробничі можливості та відповідні ємності (продуктивності). Робочий цент містить один або кілька робочих вузлів.

4). «Робочі вузли або станції» (Work Units or Station) представляє елементи нижчого рівня, що виконують виробничі функції та до яких застосовується планування та складання розкладів. Прикладом є робочі комірки для дискретних виробничих процесів або вузли процесу для періодичних виробничих процесів. Робочі вузли мають добре визначені можливості та ємності (продуктивності) і складаються з вузлів обладнання нижнього рівня, до яких не виконується планування та складання розкладів.

5). «Керуючий пристрій» (Control Device) представляє логічне управління з боку польових пристроїв.

6). «Польовий пристрій» (Field Device) представляє пристрій,

інстальований на польовому рівні, який фізично взаємодіє з виробничим процесом та продуктом (продукцією), наприклад датчик або виконавчий механізм.

7). «Продукт» (Product) представляє продукт, який має бути виготовлений, або технологічне встаткування, яке виготовляє продукт.

Таким чином, в процесі цифрової трансформації АТП промислового складу в якості структурних компонентів для його порівнювального аналізу ми можемо використовувати усі ті архітектурні компоненти, які відображені на референтній моделі RAMI4.0, а саме:

- компоненти, що розміщуються на різних ієрархічних рівнях системи автоматизації (продукт, польовий пристрій, пристрій управління і т.д.);
- компоненти, що відображаються на різних шарах ІТ - представлення системи автоматизації (актив/ресурс, інтеграція, комунікація, інформація, функціонал, бізнес);
- компоненти, що відображають різні процеси у часі (розробка типу продукту/системи, обслуговування типу продукту/системи, виробництво екземпляру продукту/системи, обслуговування екземпляру продукту/системи і т.д.).

Послідовність пошуку вказаних компонентів в існуючому реальному АТП, їх порівнювальний аналіз з властивостями «розумного виробництва» та означення виявлених недоліків має проводитись студентом у певному порядку.

На рисунку 3.6 та в додатку Б наведений алгоритм виконання студентом за участі викладача даної стадії цифрової трансформації, який пропонується для використання у новому КНЗ.

Як було вже відмічено вище, студент починає виконувати дану стадію цифрової трансформації, маючи повний комплект комп'ютерних моделей реального АТП та сформоване особисте уявлення про його будову та принцип дії.

В першу чергу студент повинен згрупувати усі наявні в реальному АТП архітектурні компоненти по двох висях архітектурної моделі RAMI4.0 – «Ієрархічні рівні» (Hierarchy Levels) та «Шари» (Layers). В результаті він отримає

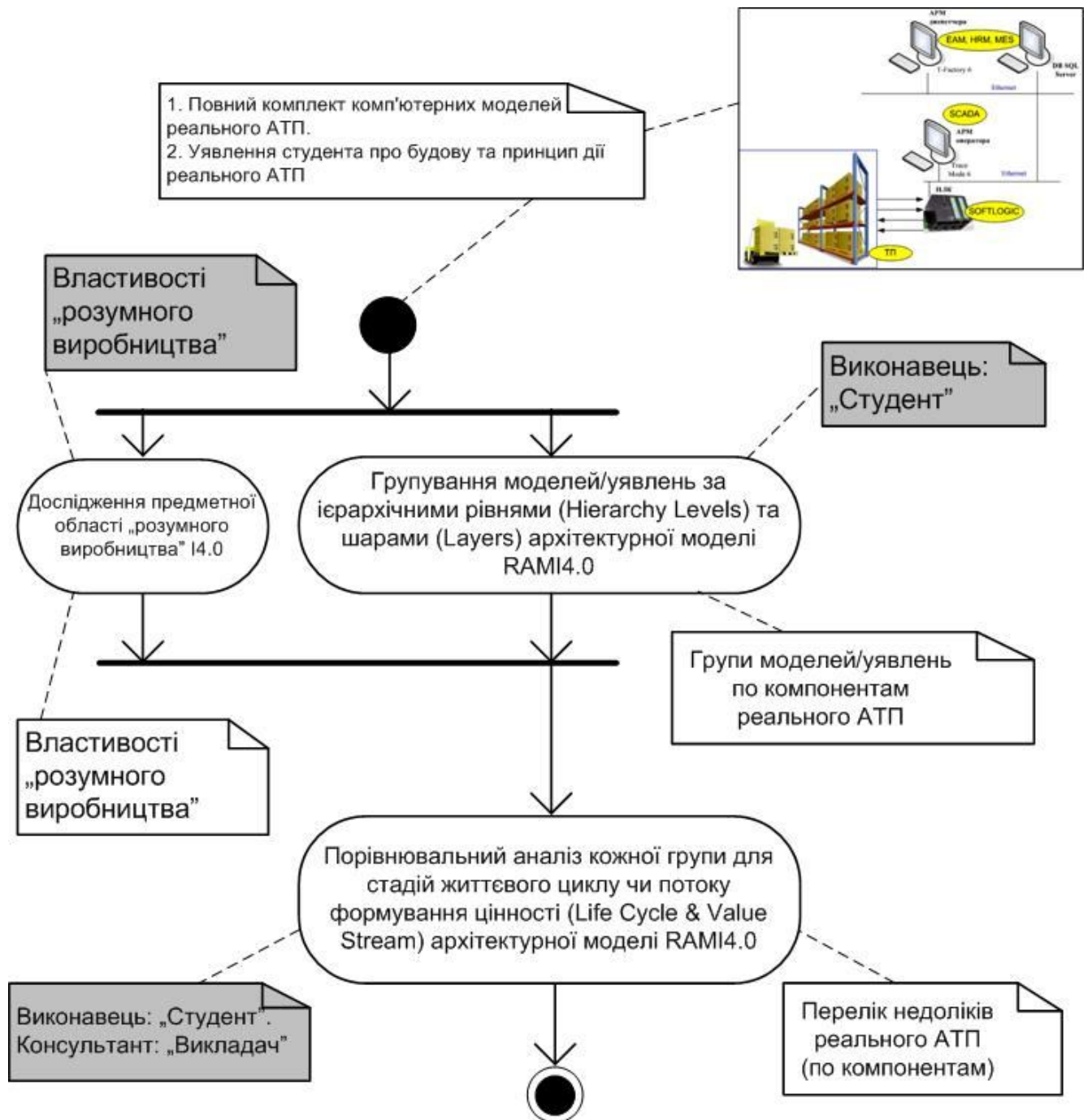


Рисунок 3.6 – Алгоритм виконання стадії «Аналіз реального АТП»

комплект з кількох груп компонентів існуючого реального АТП, кожна з яких має своє призначення (роль) у системі автоматизації, тобто забезпечує відповідну її властивість або властивості.

Далі студент має розглядати кожний компонент у кожній групі послідовно на різних стадіях його життєвого циклу та потоку формування цінності (Life Cycle

& Value Stream).

При цьому студентом для кожної стадії життєвого циклу та потоку формування цінності виконується порівняння властивості самого компоненту або властивості, що цей компонент надає існуючому реальному АТП, з, відповідно, властивостями «розумного виробництва» в цілому або з властивостями його аналогічного компоненту.

В результаті формується перелік виявлених недоліків існуючого реального АТП в цілому чи його компонентів у порівнянні з усім АТП «розумного виробництва» чи з окремими його компонентами, що відображені на референтній архітектурній моделі RAMI4.0.

3.3 Приклад виконання аналізу

Розглянемо приклад використання запропонованого алгоритму. Візьмемо довільний фрагмент існуючого реального АТП промислового складу, ізометрична модель якого показана на рисунку 3.7.

Ця модель відображує виконання роботизованого ТП промислового складу, пов'язаного з переміщенням будь-якого матеріального ресурсу (позначений на рисунку як «Матеріальний ресурс») за допомогою складського робота (позначений на рисунку як «Робот») або з полиці стелажу (позначений на рисунку як «Стелаж»), де цей ресурс до того зберігався, до вихідного конвеєру складу (на рисунку не показаний), або з вхідного конвеєру складу (на рисунку не показаний) на полицю стелажу, де цей матеріальний ресурс надалі буде зберігатися. У здійсненні цього роботизованого ТП приймають участь кілька керуючих пристроїв, зв'язаних цифровою мережею, а саме, контролер, вбудований у складський робот (позначений на рисунку як «Контролер робота»), потужний промисловий контролер промислового складу (позначений на рисунку як «Контролер складу») та промисловий комп'ютер, що виконує функцію автоматизованого робочого місця оператора складу (позначений на рисунку як «АРМ оператора»).

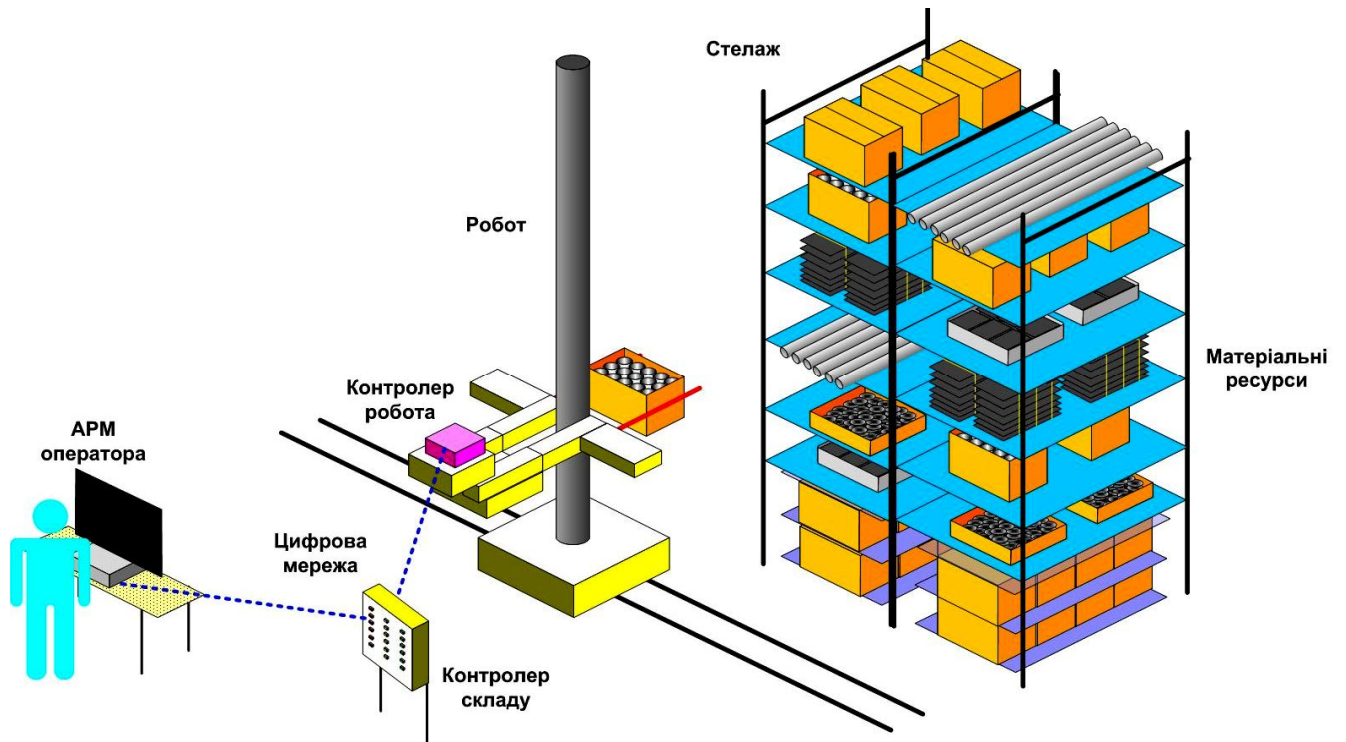


Рисунок 3.7 – Фрагмент реального АТП для виконання порівняльного аналізу

Спочатку, згідно з описаним вище алгоритмом, виділяємо усі основні компоненти даного фрагменту існуючого АТП. Усі ці компоненти вже позначені нами на рисунку 3.7 – «Робот», «Матеріальний ресурс», «Стелаж», «Контролер робота», «Контролер складу» та «АРМ оператора».

Тепер розподіляємо ці компоненти так, як це показано на рисунку 3.8 та у додатку Б, по ієрархічним рівням (Hierarchy Levels) моделі RAMI4.0. В нашому прикладі три перші виділені компоненти відносяться до рівня «Product» (продукція, виробниче встаткування/системи), а решта виділених компонентів – до рівня «Control Device».

Далі переходимо до вісі «Layers» моделі RAMI4.0, означуючи на ній відповідні активи/ресурси реального АТП, які важливі для ІТ - відображення реального АТП. Для нашого прикладу ми маємо вказати у шарі «Asset» вісі «Layers» не тільки ці шість фізичних компонентів з ієрархічного рівня «Product», але ще і ті цифрові дані (віртуальний актив/ресурс), які використовують вказані вище керуючі пристрої в процесі виконання даного ТП. Тому вказуємо у цьому шарі ще «Дані виконання операцій» для компонента «Контролер робота»

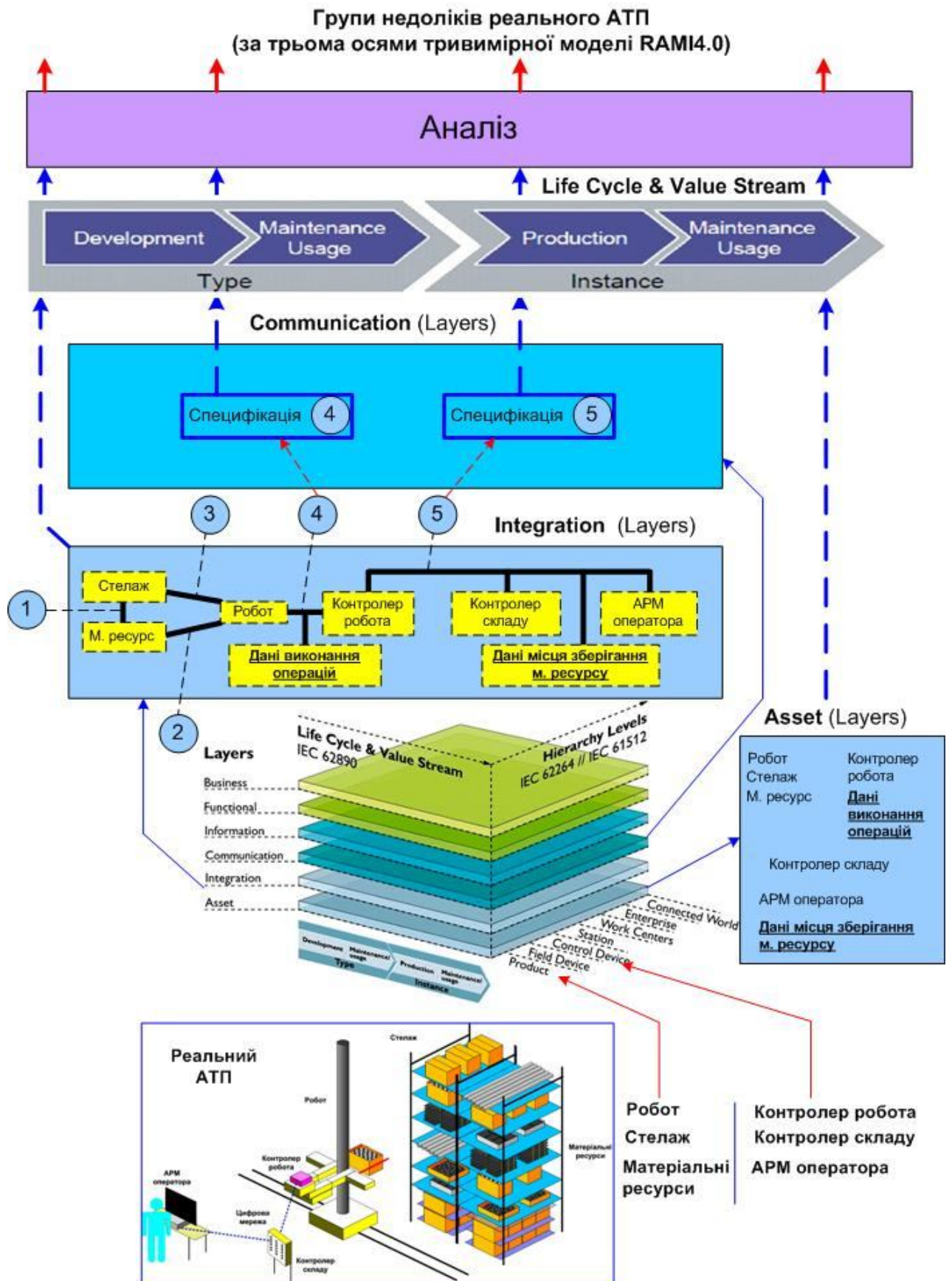


Рисунок 3.8 – Приклад виконання порівнювального аналізу для фрагмента реального ATP

(інформація про поточні операційні завдання робота та результати їх виконання) та «Дані місця зберігання м. ресурсу» для компонента «АРМ оператора» (інформація про місце на стелажі, де зберігається матеріальний ресурс і звідки робот має його забрати, або про місце на стелажі, куди робот повинен помістити матеріальний ресурс для подальшого зберігання).

Переходимо далі по вісі «Layers» у шар «Integration». Тут можна означити ті об'єднання (інтеграційні зв'язки) між компонентами шару «Asset», які важливі для функціонування даного фрагменту реального АТП. В нашому випадку важливі п'ять об'єднань (інтеграційних зв'язків):

- «М. ресурс» та «Стелаж», що позначено як «1» (забезпечує потрібні умови зберігання матеріального ресурсу на відповідній полиці стелажу);

- «М. ресурс» та «Робот», що позначено як «2» (забезпечує процес переміщення матеріального ресурсу складським роботом);

- «Стелаж» та «Робот», що позначено як «3» (забезпечує надіну орієнтацію складського робота у секціях та полицях стелажу);

- «Робот», «Контролер робота» та «Дані виконання операцій», що позначено як «4» (забезпечує управління складським роботом з боку прикладної програми вбудованого контролера);

- «Контролер робота», «Контролер складу», «АРМ оператора» та «Дані місця зберігання м. ресурсу», що позначено як «5» (забезпечує управління технологічним процесом з боку оператора складу).

Слід обов'язково відмітити, що на практиці у шарі «Integration» для АТП «розумного виробництва» повинні відображатися зовсім інші об'єднання, а саме, інтеграція даного «розумного виробництва» з віддаленими у мережі Інтернет іншими «розумними виробництвами» або з НМІ працівників. Тобто за визначенням модель RAMI4.0 не призначена для опису існуючого реального АТП, яке відноситься до ІЗ.0. Але ми, виходячи тільки з навчально-методичних міркувань, свідомо змінюємо призначення даного шару моделі RAMI4.0 для того, щоб створити умови для подальшого виконання порівнювального аналізу існуючого реального АТП.

Тепер перейдемо у шар «Communication», де опишемо тим чи іншим способом властивості двох інтеграційних зв'язків (об'єднань), які оперують з цифровими даними, позначивши ці описи як специфікації – «Специфікація 4» та «Специфікація 5».

В результаті всіх виконаних вище дій ми сформуємо такі групи компонентів існуючого реального АТП промислового складу для проведення їх аналізу у порівнянні з властивостями «розумного виробництва»:

- «Робот», «Стелаж» та «М. ресурс» (компоненти ієрархічного рівня «Product» інтегрованої системи автоматизації);

- «Контролер робота», «Контролер складу» та «АРМ оператора» (компоненти ієрархічного рівня «Control Device» інтегрованої системи автоматизації);

- «Робот», «Стелаж», «М. ресурс», «Контролер робота», «Дані виконання операцій», «Контролер складу», «АРМ оператора» та «Дані місця зберігання м. ресурсу» (компоненти шару «Asset» вісі «Layers» ІТ – представлення інтегрованої системи автоматизації);

- «1», «2», «3», «4» та «5» (компоненти шару «Integration» вісі «Layers» ІТ – представлення інтегрованої системи автоматизації);

- «Специфікація 4» та «Специфікація 5» (компоненти шару «Communication» вісі «Layers» ІТ – представлення інтегрованої системи автоматизації).

Проведемо далі порівнювальний аналіз компонентів кожної з цих груп для окремих стадій їх життєвого циклу чи потоку формування цінності, складаючи при цьому перелік недоліків існуючого реального АТП. Для прикладу далі наведемо тільки окремі з цих недоліків, які можна виявити в результаті такого порівнювального аналізу.

Так, компонент «Стелаж» на рівні «Product» (вісь «Hierarchy Levels») для стадії «Usage» ніяким чином не включений у інтегровану систему автоматизації виробництва, бо не оснащений жодними пристроями генерування цифрових даних, наприклад, для ідентифікації кожної полиці зберігання матеріального

ресурсу або контролю локальних умов зберігання, що у порівнянні з I4.0 властивістю/ознакою «Цифрова виробнича система» (див. таблицю 3.1) є суттєвим недоліком, бо не дає змоги системі управління у режимі реального часу та в повному обсязі реагувати на складські процеси.

Якщо розглянути інші три компоненти цього рівня – «АРМ оператора», «Контролер складу» та «Контролер робота», то для стадії «Usage» у порівнянні з I4.0 властивістю/ознакою «Децентралізація» (див. таблицю 3.1) вони жорстко підпорядковані один одному в плані виконання функцій управління – «АРМ оператора» надсилає наказ щодо складської операції, а решта компонентів по черзі суворо його виконують. Тому в реальному АТП неможливо організувати гнучкий алгоритм управління виконанням складської операції, коли компоненти «Контролер складу» чи «Контролер робота» могли б самостійно приймати деякі рішення у залежності від мінливої виробничої ситуації на місці. Наприклад, у реальному АТП «Контролер робота» у разі виникнення збою у якомусь вузлі складського робота не може самостійно змінити алгоритм виконання наказу від «АРМ оператора», а саме, через доступний канал зв'язку викликати працівника складу, щоб він здійснив поточну складську операцію вручну, та сповістити ремонтні служби про поломку конкретного вузла складського робота.

Розглядаючи компонент «Робот» у шарі «Asset» вісі «Layers» ІТ – представлення інтегрованої системи автоматизації, можна зробити висновок, що цей компонент на стадії «Usage» не забезпечує систему управління цифровими даними реального часу щодо стану своїх вузлів, а система управління не може вчасно виявити потенціальну загрозу виходу їх з ладу і відреагувати на це, організувавши, наприклад, профілактичний ремонт або непланову заміну вузла. Тобто реальний АТП у даному випадку не відповідає I4.0 властивостям/ознакам «Цифрова виробнича система» та «Висока стійкість (надійність)» (див. таблицю 3.1).

Якщо ж розглянути об'єднання компонентів «Стелаж», «М. ресурс» та «Робот» у шарі «Integration» вісі «Layers», то для стадії проектування (Development) у порівнянні з I4.0 властивістю/ознакою «Віртуалізація виробничого середовища» цей інтеграційний зв'язок має такий суттєвий недолік –

при проектуванні складських операцій не використовуються цифрові моделі вказаних компонентів, що в результаті не дає змоги моделювати їх сумісну дію в режимі реального часу з прив'язкою до віртуального виробничого середовища. Це дало б можливість оптимізувати ці дії (наприклад, оптимально розміщувати матеріальні ресурси на полицях стелажу для мінімізації часу складських операцій), тестувати ці дії для різних типів компонента «М. ресурс», перевіряти можливість виникнення різних нештатних ситуацій (наприклад робот ненадійно захопив матеріальний ресурс і він впав з полиці на підлогу).

Розглянувши далі, наприклад, властивості інтеграційних зв'язків «Специфікація 4» та «Специфікація 5», що відображені у шарі «Communication» вісі «Layers» IT – представлення інтегрованої системи автоматизації, можна для стадії використання «Usage» у порівнянні з властивістю/ознакою I4.0 «Цифрова виробнича система» виявити такий їх суттєвий недолік – компонент «Дані виконання операцій», що пов'язані з контролером робота, та «Дані місця зберігання м. ресурсу», що пов'язані з АРМ оператора, не зв'язані між собою у режимі реального часу. Тобто виконання складської операції роботом (наприклад зняття матеріального ресурсу з полиці) тільки опосередковано визначає зміну місця зберігання матеріального ресурсу (оператор через свій АРМ змінює місцезнаходження матеріального ресурсу по факту виконання роботом складської операції). При цьому реальне місцезнаходження матеріального ресурсу для системи невідомо, наприклад, при знятті матеріальний ресурс впав на підлогу або робот насправді помилився і зняв з полиці зовсім інший матеріальний ресурс. Таким чином, в реальному АТП не відстежуються реальні місця знаходження конкретних екземплярів матеріальних ресурсів, що в кінці кінців може призвести до порушення всього виробничого процесу, тому реальний АТП не відповідає і I4.0 властивості/ознаці «Висока стійкість (надійність)».

Усі перелічені недоліки конкретного фрагменту існуючого реального АТП насправді складають невелику частку тих недоліків, які можна було б виявити шляхом ретельного порівнювального аналізу усіх компонентів даного АТП за описаним вище алгоритмом. Тобто навчальний потенціал проекрованої стадії практичного вивчення студентом цифрової трансформації є дуже великим.

3.4 Висновки до розділу

В результаті виконання дослідницьких та проектних робіт у даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи було сформоване загальне бачення процесу виконання стадії «Аналіз реального автоматизованого ТП» при дослідженні цифрової трансформації ТП промислового складу. На основі цього бачення був розроблений деталізований алгоритм виконання робіт студентом та викладачем в рамках даної стадії навчального дослідження. Для пояснення практичного виконання такого алгоритму наведений приклад процесу виконання аналізу існуючого АТП та виявлення його недоліків у порівнянні з властивостями/ознаками «розумного виробництва» І4.0.

4 ЗАКЛЮЧНА СТАДІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ РЕАЛЬНОГО АТП

4.1 Означення основних станів процесу дослідження

На цій стадії дослідження цифрової трансформації реального АТП промислового складу студент та викладач повинні виконувати певні діяльності, результат яких буде означувати певні стани процесу дослідження, яке має кінцеву мету – набуття студентом потрібного обсягу теоретичних знань та практичного досвіду, достатніх для самостійного виконання цифрової трансформації реального промислового підприємства, де студент потім буде працювати (рисунок 4.1).

Виконання даної стадії дослідження починається з етапу «Пошук способу цифрової трансформації існуючого реального АТП». Цей АТП побудований за концепцією І3.0 і тому має суттєві недоліки, що виявлені на попередній стадії. Тому в результаті його цифрової трансформації потрібно отримати більш досконалий АТП промислового складу, побудований вже за концепцією І4.0. Даний етап студент повинен виконувати самостійно, але викладач має обов'язково надавати йому відповідний навчально-методичний матеріал, консультації та додаткові роз'яснення.

Після того, як студент намітить шляхи вдосконалення реального АТП промислового складу, вибравши відповідний спосіб чи способи цифрової трансформації, він має обґрунтовано вибрати І4.0 цифрову технологію чи технології, які дозволять реалізувати ці вдосконалення. Щоб кваліфіковано здійснити цей вибір студент обов'язково повинен ретельно дослідити предметну область І4.0 промислової автоматизації, використовуючи при цьому як доступні ресурси Інтернет, так і наявні навчально-методичні матеріали, підготовлені викладачем в рамках відповідної професійної дисципліни або проєктного практикуму. Коли потрібна технологія або технології цифрової трансформації будуть обґрунтовано вибрані, то студент перейде до виконання наступного етапу – «Розробка концепції цифрової трансформації реального АТП». На цьому етапі для представлення свого бачення цієї концепції студент може

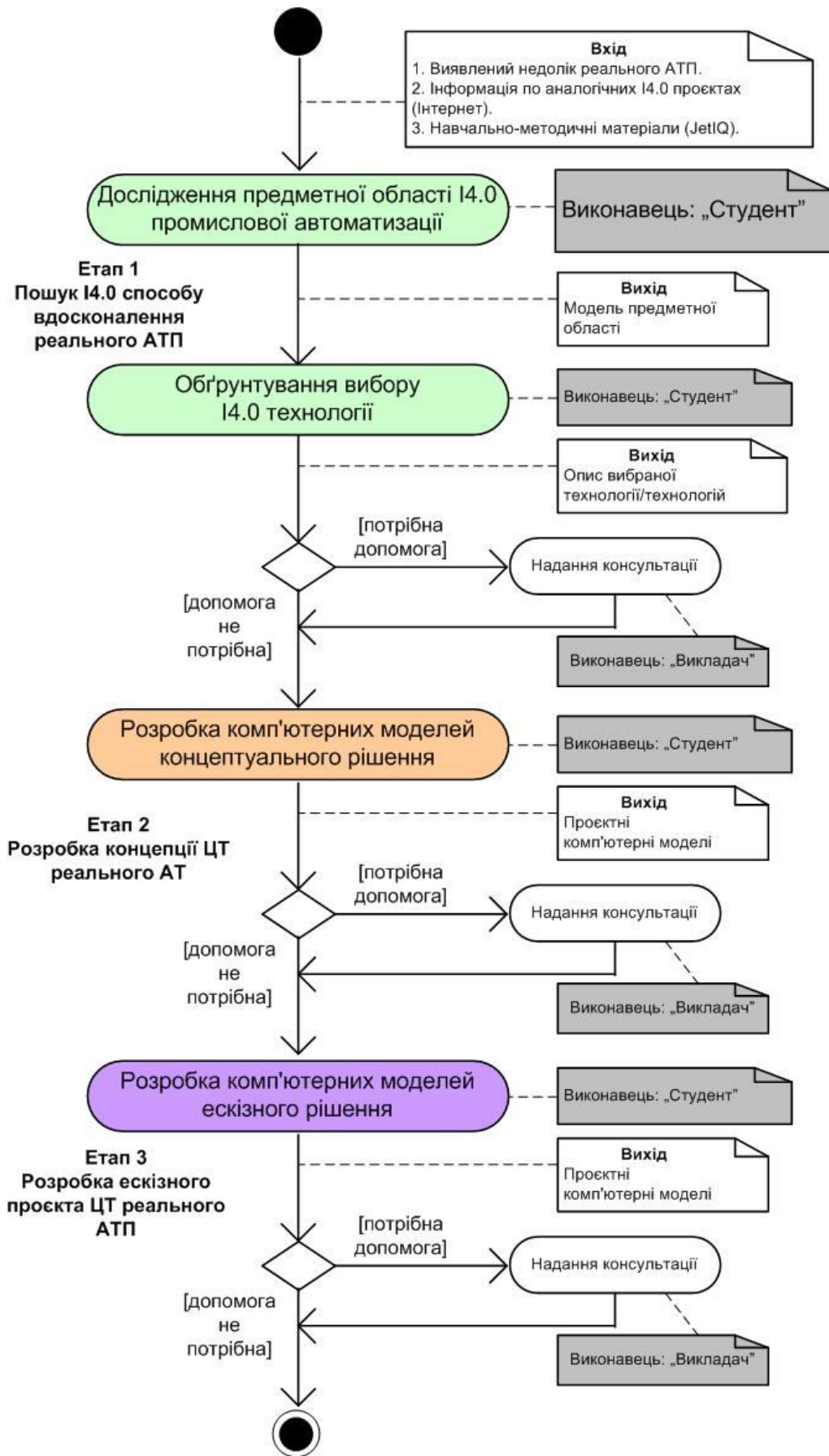


Рисунок 4.1 – Діаграма станів процесу виконання заключної стадії дослідження цифрової трансформації реального ATP

використовувати як доступні хмарні сервіси цифрового моделювання того чи іншого виду, так і наявні локальні програмні засоби такого моделювання. Готовий проєкт, що відображає запропоноване концептуальне рішення цифрової трансформації реального АТП промислового складу, буде першим результатом дослідження студентом процесу цифрової трансформації за допомогою нових НЗ. Бажано, щоб цей практичний результат студент отримав в ході навчального процесу бакалаврського рівня підготовки, наприклад, це може бути навчальний процес у рамках професійної дисципліни «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва».

Якщо студент продовжить навчання в магістратурі вузу, то він зможе на основі описаного вище концептуального рішення цифрової трансформації реального АТП промислового складу продовжити дослідження його цифрової трансформації, виконуючи наступний його етап – «Розробка ескізного проєкту цифрової трансформації реального АТП». Цей етап характеризується більшою деталізацією проєктних рішень і також передбачає активне використання студентом як доступних хмарних сервісів цифрового моделювання того чи іншого виду (наприклад з цифровою симуляцією поведінки трансформованого АТП), так і наявних локальних програмних засобів такого моделювання. Результатом діяльності студента на цьому етапі стане ескізний проєкт цифрової трансформації реального АТП промислового складу, який повинен бути представлений у вигляді відповідних комп'ютерних моделей статичної та динамічної трансформованого АТП промислового складу. Усі розроблені студентом комп'ютерні моделі ескізного проєкту повинні мати формат, що дозволить викладачу без проблем переглядати їх або на комп'ютерах навчальної лабораторії, або на доступних хмарних сервісах цифрового моделювання, або за допомогою наявних локальних програмних засобів моделювання. Таким чином, ескізний проєкт стане заключним результатом дослідження цифрової трансформації реального АТП промислового складу на нових НЗ. Цей практичний результат може бути досягнутий або в рамках професійної дисципліни магістерського рівня підготовки, наприклад, «Промисловий Інтернет речей», або в рамках відповідного проєктного практикуму.

4.2 Дослідження предметної області I4.0 промислової автоматизації

Ця діяльність є однією з найбільш складних та тривалих в ході виконання даної стадії цифрової трансформації реального АТП. Вона пов'язана не тільки з трудомістким процесом збирання потрібної інформації та її відповідного оброблення, але і з процесом поступового її осмислення студентом, в результаті чого обсяг накопичених студентом теоретичних знань має перерости у відповідну якість – здатність самостійно використовувати ці знання при практичному вирішенні конкретної задачі цифрової трансформації.

Тому для дослідження предметної області I4.0 промислової автоматизації треба спочатку вибрати той науковий метод дослідження, за яким студент, використовуючи доступні інформаційні ресурси, зможе отримати потрібний результат. На наш погляд, найкращим науковим методом для даного дослідження є метод онтологічного аналізу, який дозволяє на основі вибраної концепції досить швидко виявити базові поняття предметної області (базові об'єкти) та базові відношення між ними (базові «зв'язки»). Якщо ж студент в ході дослідження буде ще і будувати відповідну графічну концептуальну модель предметної області, то це принесе йому ще більше користі в процесі осмислення інформації та формування глибокого розуміння суті I4.0 промислової автоматизації.

На рисунку 4.2 наведений варіант побудови такої графічної концептуальної моделі предметної області I4.0 промислової автоматизації. В якості відправної точки її будовання вибране класичне означення промислової кіберфізичної системи (КФС), яка є фундаментом промислової автоматизації за концепцією I4.0, – «Кіберфізична система промислової автоматизації – це людська праця, «розумні» машини й транспорт, інтегровані в єдиному цифровому просторі за допомогою мереж, «розумних» пристроїв, сенсорних систем, аналітичних платформ і хмарних обчислень» [45]. Усі наведені у цьому означенні поняття (базові об'єкти) зв'язані між собою класичними відношеннями (базові «зв'язки»), які відображені на класичній графічній моделі предметної області промислових КФС. Ця класична модель на рисунку 4.2 розміщена в середині моделі у площині базових об'єктів та «зв'язків» I4.0.

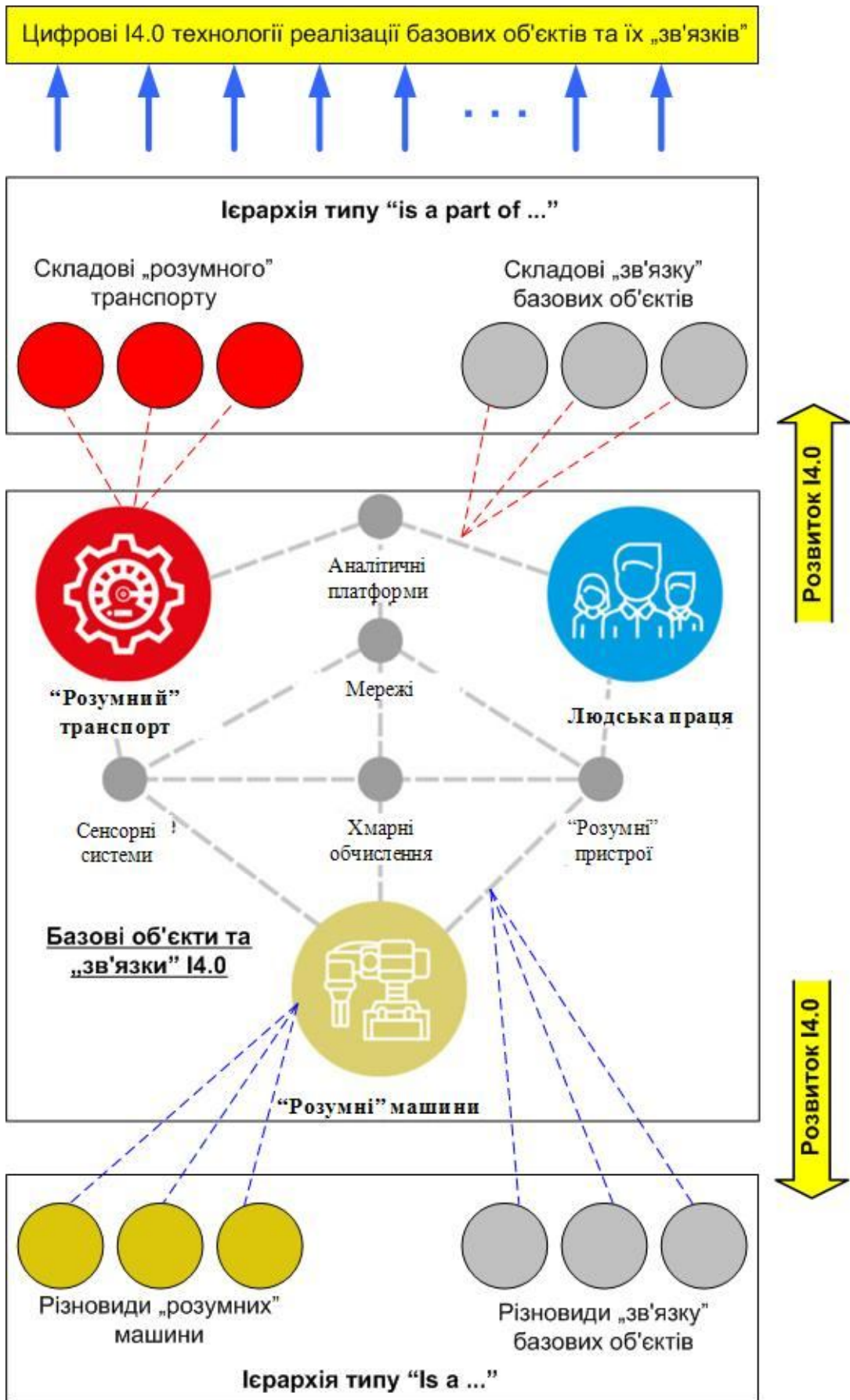


Рисунок 4.2 – Варіант графічної концептуальної моделі предметної області І4.0 промислової автоматизації

Нижче та вище площини базових об'єктів та «зв'язків» І4.0 поміщені площини, де відображується подальший розвиток І4.0 промислової автоматизації по відношенню до класичного її бачення.

Знизу розміщена площина, у якій відображаються різновиди базових об'єктів та «зв'язків», які поступово виявляються в ході онтологічного аналізу предметної області. Тобто ці відображення зв'язані з базовими об'єктами та «зв'язками» через ієрархію типу «is a ...» («є ... (чимось)»). По мірі розвитку І4.0 промислової автоматизації кількість варіантів базових об'єктів та «зв'язків» стрімко збільшується, що пояснюється і новими областями застосування ідей четвертої промислової революції, і швидкою появою нових цифрових технологій, які уможливають реалізацію нових варіантів І4.0 об'єктів та «зв'язків».

Зверху в моделі на рисунку 4.2 поміщена площина, у якій відображаються складові базових І4.0 об'єктів та «зв'язків». Тобто ці відображення зв'язані з базовими об'єктами та «зв'язками» через ієрархію типу «is a part of ...» («є частиною ... (чогоось)»). Це найбільш змінювана за контентом область даної моделі, бо швидка поява нових цифрових технологій та розширення областей цифрової трансформації промислового виробництва призводять до інших технічних рішень вихідних базових І4.0 об'єктів та «зв'язків». Наприклад, нещодавно з'явилося нове поняття, яке означено як «АІоТ», тобто додані «розумні» пристрої автоматизації, які підключені до Інтернету речей (одна складова), виконують свої функції на основі реалізованих в них алгоритмів штучного інтелекту (друга складова). Такого інтегрованого виконання «розумних» пристроїв раніше не було.

Яким же чином студент може далі використовувати таку графічну концептуальну модель предметної області? По-перше, в ході оброблення інформації він вже може виявляти практичні задачі, які вирішувались при цифровій трансформації аналогічних АТП. При цьому він буде бачити у який спосіб вирішувались проблеми цих АТП (шлях цифрової трансформації). По-друге, студент буде бачити, які саме цифрові технології вирішують аналогічні задачі (на рисунку 4.2 показано угорі). По-третє, коли кількість осмисленої інформації перейде у якість, то студент зможе генерувати власні проєктні ідеї.

Для прикладу у таблиці 4.1 наведені результати аналізу предметної області І4.0 промислової автоматизації, які відображають існуючі натепер способи реалізації головних ознак «розумного» виробництва, тобто шляхи ЦТ.

Таблиця 4.1 – Способи реалізації головних ознак «розумного виробництва»

Ознака	Коротка характеристика способу реалізації
1	2
Економічні ознаки	
<p>Висока виробнича ефективність (КПЕ)</p>	<p>1. Нові моделі ведення бізнесу. Зниження ризиків, удосконалювання процесів і прогнозування показників продуктивності за допомогою <u>об'єднання потужних можливостей віртуального середовища й реального світу</u>, де люди використовують машини для трансформації виробництва. <u>Цифрова підтримка прийняття ефективних рішень</u> і безперервного вдосконалювання. Комплексний моніторинг робіт</p> <p>2. Ощадливе виробництво. Скорочення витрат на експлуатацію, персонал і обслуговування. Прозорість, контроль, узгодження й автоматизація всієї експлуатаційної діяльності в рамках однієї <u>віртуальної платформи</u> спільної роботи. Зменшення кількості дефектів. Краще використання сировини й необхідних ресурсів. Прискорення й оптимізація реагування на виробничі проблеми. Скорочення числа неефективних задач. Аналіз альтернативних сценаріїв, що представлені у вигляді <u>цифрових моделей</u>, з метою виявлення й зниження ризиків виникнення взаємних залежностей і "вузьких місць" виробничих процесів.</p> <p>3. Поліпшення синхронізації всіх дій, пов'язаних з виробництвом. Наприклад, надання потрібних матеріалів у потрібному місці й у потрібний час, а також запис і відстеження історичних відомостей про компоненти. <u>Аналіз накопичених цифрових даних</u> з метою добування інформації, корисної для планування й оптимізації процесів (наприклад, виявлення тенденцій, відхилень і повторюваних помилок, або кореляції між проблемами й можливими їхніми джерелами чи сприятливими їм обставинами).</p> <p>4. Підвищення ефективності виробничих активів. <u>Цифрова симуляція</u> робочих процесів для аналізу показників використання виробничих активів. <u>Вільний доступ</u> до цифрових зведень, пов'язаних з виробничою діяльністю активів. Зіставлення й обмін передовими практиками, пов'язаними з робочими процесами. <u>Цифрова підтримка процесів вибору оптимального часу для планових профілактичних робіт</u> (до виникнення проблем і з найменшим впливом на показники обслуговування).</p> <p>5. Підготовка персоналу майбутнього. Розвиток потенціалу співробітників шляхом збору, передачі й повторного використання знань і ноу-хау для створення нових категорій екологічних рішень. Капіталізація, обмін і розвиток робочих навичок. Реалізація перетворень, починаючи з вищого керівництва, і <u>комунікація з усіма співробітниками</u> (повідомлення про результати, історію успіху).</p>

Продовження таблиці 4.1

1	2
<p>Нові бізнес-моделі управління виробництвом</p>	<p>1. Мережі створення цінності. Перетворення ланцюжків поставок у цифрові мережі створення цінності за рахунок <u>усунення бар'єрів</u> між потенційними бізнес-партнерами й створення нових бізнес-моделей для надання інноваційної продукції споживачам. По-суті, створення спеціалізованої екосистеми технологічних партнерів і керування ними (горизонтальна інтеграція структурної моделі бізнесу – value networks; стандарт ІЕС 62890). Цінністю вважається тільки знаннях і ноу-хау, використані при створенні продукції, а також ті можливості, які виріб надає споживачеві.</p> <p>2. Скорочення витрат. Динамічна зміна термінів для зменшення наслідків від витратних виробничих збоїв. Скорочення запасів без впливу на виробництво. Поліпшення перевезень і скорочення витрат на поставки за допомогою <u>оптимізованого складання маршрутів</u>.</p> <p>3. Персоналізація продукції та послуг. Управління вимогами й очікуваннями клієнтів для створення персоналізованих виробів і скорочення термінів поставки. <u>Зв'язування цифрової інформації про виробництво з цифровою інформацією про кінцевий продукт</u>, наприклад, для управління гарантійним обслуговуванням або для зовнішнього використання кінцевими клієнтами. Сервісна орієнтація виробництва (Service orientation).</p> <p>4. Комплексне цифрове моделювання та симуляція. <u>Оперативна перевірка на моделях</u> й тестування виробничих стратегій, процесів і продуктивності для розуміння роботи підприємства. За рахунок цифрової симуляції скорочення часу й витрат на впровадження й модифікацію продуктів або внесення змін у конфігурацію підприємства.</p> <p>5. Моніторинг у реальному часі й підвищення продуктивності виробничих активів за допомогою промислового Інтернету речей (IoT). <u>Моніторинг ефективності виробничої системи в реальному часі.</u> Контроль фактичного часу доступності виробничого обладнання, швидкості його роботи й частоти помилок (OEE-index - OverallEquipmentEffectiveness, індекс загальної ефективності обладнання). Прямий контроль робочих параметрів з рівня MES-системи управління виробництвом. Іншими словами, <u>наскрізна цифрова інтеграція виробничих процесів</u> (digital integration of engineering) по всій структурній моделі бізнесу.</p> <p>6. Використання алгоритмів <u>машинного навчання</u> й <u>аналітики</u> для оптимізації використання виробничих активів.</p> <p>7. Широке використання цифрових соціальних мереж і методів <u>спільної роботи</u>. Об'єднання всіх цифрових даних <u>на єдиній платформі</u> й надання доступу до цих даних всім робочим групам для підвищення ефективності їх спільної роботи й ступеня їх залучення до постійних вдосконалень виробництва.</p> <p>8. Гнучкі й ефективні виробничі активи. Оптимізація витрат для підвищення прибутковості. Прозорість, контроль, узгодження й автоматизація експлуатаційної діяльності.</p> <p>9. Управління продуктивністю й КПЕ, пов'язаними з <u>ощадливим виробництвом</u>. Вертикальна інтеграція внутрішнього виробничого ланцюжку підприємства – networked manufacturing.</p>

Продовження таблиці 4.1

1	2
<p>Висока якість продукції</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Комплексне управління якістю в реальному часі в масштабі всього підприємства. 2. 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. 4. Використання контексту у моделі даних для рішення задач по якості за рахунок застосування комплексного набору типів даних і джерел. 5. Сенсоризація. Введення в окрему машину або всю виробничу лінію спеціальних датчиків для контролю й оптимізації якості продукції. Наприклад, тепловізійних камер, профілометрів, стереоскопічних камер тощо. 6. Цифрова візуалізація для виявлення складних проблем, що впливають на якість. 7. Прийняття рішень на основі систем AI, що враховують широкий спектр проблем якості продукції й процесів.
Технічні/функціональні ознаки	
<p>Цифрова виробнича система</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Цифровізація виробничих процесів. Невід'ємна частина (початкова стадія) більш масштабної цифрової трансформації - перетворення всієї промислової екосистеми в єдину <u>віртуальну цифрову структуру</u>. Вимагає комплексного підходу із продуманою концепцією й поетапним планом розвитку підприємства і його екосистеми. Наприклад, для початку задіяти <u>цифровий зв'язок для взаємодії з постачальниками, покупцями, партнерами та виробничими підрозділами</u>. 2. Цифрові технології. Вони підвищують продуктивність і конкурентоспроможність за рахунок <u>моделювання й оцінки виробів</u> ще до фактичного виготовлення продукції. Розширюють можливості творчості, дозволяючи створювати <u>нові середовища</u> й одночасно виконувати їх <u>візуалізацію та моделювання</u>, а також <u>управляти ними</u>. 3. Збір та накопичування цифрових даних. <u>Збирання цифрових даних</u> про розробку, навчання, виготовлення й продаж продукції. <u>Аналіз накопичених цифрових даних</u> з метою добування інформації, корисної для планування й оптимізації процесів (наприклад, виявлення тенденцій, відхилень і повторюваних помилок, або кореляції між проблемами й можливими їхніми джерелами чи сприятливими їм обставинами). Це дозволяє краще зрозуміти виробничий процес й поглибити знання щодо нього, а потім і удосконалити цей процес. 4. Використання підключених цифрових пристроїв. Ці пристрої підключаються до верстатів, інструментів, датчиків, RFID-міток, візків AGV і ін. Вони забезпечують більш високий рівень візуалізації операцій і захисту операторів, поліпшують контроль якості виробів і можливість відстеження продукції та її компонентів. 5. Цифрова безперервність проєктування й виробництва в режимі реального часу. Використання САПР для <u>3D-моделювання</u> деталей, машин, систем та цілих підприємств. САПР дозволяє з метою оптимізації та забезпечення кращої ефективності проєктувати по шарах процеси, потоки та розташування об'єктів на виробництві. <u>Симуляція</u> дозволяє тестувати роботу об'єктів до їх реального впровадження. <u>Конвергенція</u> – цифрові дані про продукт доступні на всіх етапах його життєвого циклу - від розробки до експлуатації. 6. Цифрові виробничі специфікації, технологічні плани і робочі інструкції. Можуть надаватися співробітникам виробничих цехів навіть у 3D форматі. У випадку внесення змін весь процес автоматично оновлюється за рахунок цифрової безперервності. При обслуговуванні виробничого обладнання автоматичне відправлення на мобільні пристрої технічних фахівців цифрових зведень відповідного замовлення. 7. Віртуальне навчання працівників. Наприклад, за допомогою <u>віртуального навчання</u> оператори вчаться працювати на складальній станції, використовуючи методи "покажіть мені", "допоможіть мені" і "дозвольте мені".

Продовження таблиці 4.1

1	2
<p>Віртуалізація виробничого середовища</p>	<p>1. Використання інфраструктури спеціальної віртуальної платформи. Таке рішення дозволяє здійснювати через віртуальне середовище візуалізацію і контроль того, що неможливо фізично побачити в реальному світі, - єдину промислову екосистему.</p> <p>2. Цифрові мережі створення цінності. Дозволяють <u>усунути бар'єри</u> між потенційними бізнес-партнерами й створити нові бізнес-моделі для надання інноваційної продукції споживачам.</p> <p>3. Об'єднання можливостей віртуального середовища й реального світу. Дозволяє знизити ризики, вдосконалити процеси і <u>прогнозувати показники продуктивності</u>. Люди отримують можливість використовувати машини для трансформації виробництва. Підприємства одержують доступ <u>до всіх видів аналітики</u> (дескриптивної, діагностичної, предикативної та такої, що пропонує), використовуючи для швидкої й ефективної роботи з даними повноцінні <u>платформи Big Data або IoT</u> (драйвери, шлюзи, транспортна мережа, аналітичні можливості).</p> <p>4. Комплексне цифрове моделювання й симуляція. Створення <u>віртуальних моделей</u> будь-яких виробничих активів, виробів і процесів для рішення поточних і майбутніх завдань. Приклад – <u>цифрові «двійники» активів</u>. При цьому об'єднання цифрових технологій стирає границі між фізичними й цифровими системами, утворюючи так звані "<u>кіберфізичні системи</u>". <u>Віртуальна симуляція</u> дозволяє знизити ризики інвестицій у нові виробничі активи або модернізацію існуючих об'єктів, всебічно перевірити й оцінити прогнозовані результати. <u>Цифрове моделювання</u> виробничих процесів ще на стадії їх проектування дозволяє перевірити функціонування ресурсів в умовах, наближених до реальних. <u>Аналіз альтернативних сценаріїв</u>, що представлені у вигляді цифрових моделей, дозволяє виявити або знизити ризики виникнення взаємних залежностей і "вузьких місць" у виробничих процесах.</p>
<p>Абсолютна гнучкість виробничих процесів</p>	<p>1. Модульність (Modularity). Впровадження <u>комплексного й спеціалізованого набору технологій</u> з можливістю масштабування. Дає можливість системним компонентам бути зібраними, розібраними та скомпонованими іншим чином досить швидко та легко. На рівні виробництва цей принцип означає можливість додавання, переміщення або зміни порядку слідування компонентів виробничої лінії без значних зусиль за мінімальний час. Вищий рівень модульного проектування дає можливим швидкої інтеграції розумних активів від різних виробників.</p> <p>2. Структурований контроль кожної зміни виробничих процесів.</p>
<p>Децентралізація (Decentralization)</p>	<p>1. Перенесення децентралізованого та автономного прийняття рішень до машин та кіберфізичних систем, в тому числі, і <u>до автономних системних елементів</u> – модулів, систем обробки матеріалів та продуктів, що розміщені де завгодно на рівні виробництва.</p> <p>2. Надання кіберфізичним системам можливості приймати рішення без втручання централізованого управління (людини чи машини). Кіберфізична система приймає рішення щодо виробничого процесу автономно у реальному часі, якщо результат не порушує бізнес-цілей високого рівня.</p> <p>3. Дозвіл вбудованим комп'ютерам (модулям управління) надавати автономним кіберфізичним системам можливість взаємодіяти з їх виробничим середовищем через сенсори та виконавчі пристрої.</p>

Продовження таблиці 4.1

1	2
Здатність до взаємодії (Interoperability)	<p>1. 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).</p> <p>2. Підключене «Розумне виробництво». Має можливість підключення до глобальної мережі аналогічних виробничих систем та цифрових ланцюгів поставок.</p>
Висока стійкість (надійність)	<p>1. Раннє попередження аварійних/нештатних виробничих подій.</p> <p>2. Прогнозне обслуговування виробничих активів.</p>
Здатність до безперервної й нескінченної самооптимізації	<p>1. Кіберфізичні системи (Cyber-physical systems, CPS). Вони відіграють ключову роль в постійній зміні технології і процесу, надають додаткових можливостей фізичним системам завдяки злиттю можливостей комп'ютерних обчислень і зв'язку з фізичними процесами. Наприклад, дозволяють реалізовувати у фізичному світі значно складніші виробничі процеси та швидко досягати їх оптимальності.</p>
Висока функційна безпечність	<p>1. Функціональна безпечність. Зниження частоти небезпечних подій на «розумному виробництві» за рахунок широкого застосування цифрових технологій як у виробничих системах, що не пов'язані з безпекою, так і у системах, що пов'язані з безпекою, а також в процесі виконання управлінських заходів (згідно зі стандартом ДСТУ EN 61508). Наприклад, застосування надійної реєстрації усіх цифрових даних у промисловому роботі, що у випадку збою живлення допомагає відновити ті дії, де зупинився промисловий робот. Також цифрові дані «останнього моменту» дозволяють проаналізувати те, що відбулося безпосередньо перед збоєм і що потенційно могло призвести до збою.</p> <p>2. Кібернетична безпека. Цифрові методи для забезпечення кібернетичної безпеки згідно зі стандартами серії IEC 62443.</p>
Соціальні/суспільні ознаки	
Новий характер людської праці	<p>1. Використання автоматизованих агентів. Здійснюють оптимізацію комплексу виробничих рішень, які зазвичай приймалися людьми.</p> <p>2. Повне усунення ручної рутинної та важкої праці.</p> <p>3. Розвиток потенціалу співробітників майбутнього (збір, передача й повторне використання знань і ноу-хау для створення нових категорій екологічних рішень).</p>
Екологічна безпечність	<p>1. Скорочення кількості браку й відходів, що сприяє екологічно безпечнішій діяльності підприємства.</p> <p>2. Застосування більш екологічно безпечних процесів, що оптимально споживають енергоресурси й зменшують забруднення навколишнього середовища</p>
Ергономічна безпечність	<p>1. Створення ергономічних робочих місць. Цифрова симуляція й перевірка завдань операторів дозволяє визначити, які процеси можуть бути небезпечними для нього, а підсистема аналітики автоматично розміщає віртуальний манекен відповідно до виконуваного завдання.</p> <p>2. Використання підключених цифрових пристроїв. Ці пристрої підключаються до технологічного встаткування та виробничих апаратів. Забезпечують більш високий рівень візуалізації умов праці і захисту операторів/працівників.</p>
Принципово нові продукти (продукція)	<p>Кіберфізичні системи дозволяють створювати набагато складніші виробничі процеси, які здатні забезпечити виготовлення інноваційних видів продукції під нові вподобання та вимоги споживачів (електричні авто, літаючі такси, окуляри доповненої реальності, домашня роботи і т.д.).</p>

4.3 Ескізний проєкт початкової стадії цифрової трансформації АТП

Одним з перших кроків по шляху цифрової трансформації існуючого реального АТП промислового складу може бути проєкт, що має на меті надання йому таких властивостей/ознак І4.0 «розумного виробництва» як «Цифрова виробнича система» та «Здатність до взаємодії (Interoperability)». В результаті цього в існуючому реальному АТП промислового складу з'явиться додатковий обсяг цифрової виробничої інформації, що збільшить його прозорість для процесу управління, а також можливість розповсюдження через глобальну мережу технічної та бізнес інформації як серед фахівців даного підприємства, так і поза ним, наприклад, для аналогічних виробничих систем або цифрових ланцюгів поставок.

Однією з найбільш розповсюджених цифрових технологій, за допомогою якої можна вирішити таку проєктну задачу, є «Хмарні платформи промислового Інтернету речей (IIoT)». Одну з таких платформ, а саме «ThingWorx Foundation» від компанії PTC [46, 47], ми на практиці вивчали в дисципліні «Промисловий Інтернет речей» магістерського рівня підготовки (рисунок 4.3).

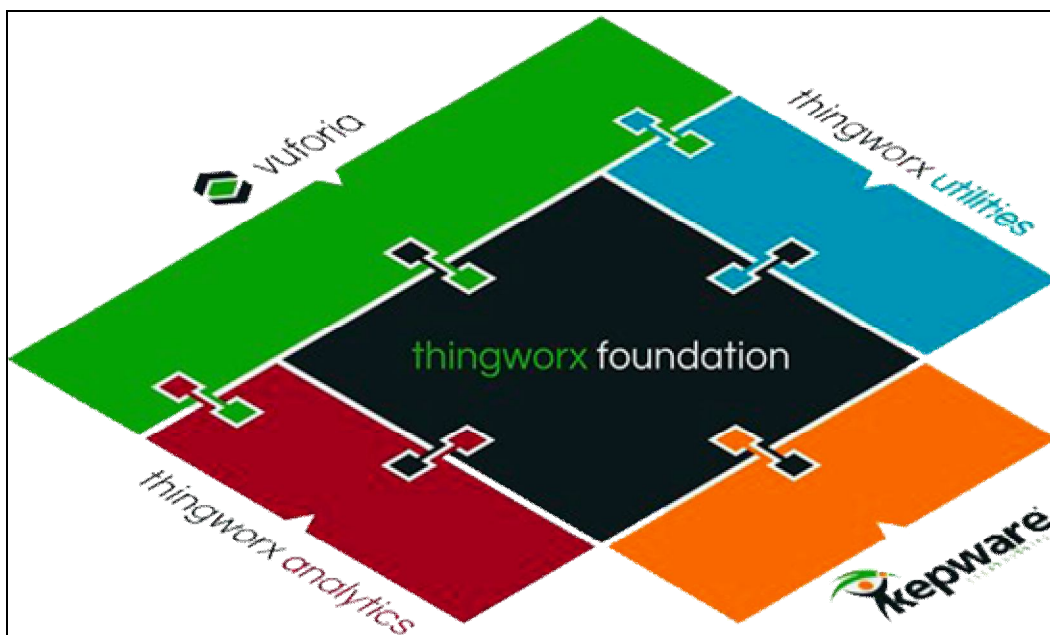


Рисунок 4.3 - Загальна архітектура платформи «ThingWorx Foundation»

Тому для ескізного проектування цифрової трансформації існуючого реального АТП промислового складу застосуємо саме цю хмарну платформу. Ядро платформи містить у собі базову складову – базу даних по інформаційній моделі тих виробничих процесів та "розумних" об'єктів, для яких виконується цифрова трансформація. Для зв'язку з контрольованими інтелектуальними об'єктами служить сервер «ThingWorx Connectivity», який також дозволяє у режимі реального часу виконувати будь-яку первинну обробку даних від підключених об'єктів та пристроїв. Також для спеціалізованої функціональності та розширення можливостей розробки на базі даної платформи слугує сервер «ThingWorx Utilities». Його використання дає можливість включати до складу платформи "розумного виробництва" такі прикладні задачі, як управління активами, управління ризиками, управління потоками задач та ролеве управління.

В компанії РТС за розвиток сервера «ThingWorx Connectivity» відповідає фірма-партнер «Kepware Technologies» [48-50], яка розробила та впровадила для цього свій програмний продукт - промислову комунікаційну платформу «KEPServerEX», що створює на окремому підприємстві чи виробничому об'єднанні єдине джерело цифрових даних промислової автоматизації для всіх користувальницьких додатків. Для цього комунікаційна платформа «KEPServerEX» використовує OPC та протоколи інформаційних систем – SNMP, REST, ODBC, Web-протоколи. Зокрема, OPC є провідним стандартом для комунікацій промислової автоматизації, що побудований за архітектурою "клієнт – сервер". «KEPServerEX» підтримує також перспективну специфікацію цього стандарту – OPC Unified Architecture (OPC UA), а також багато класичних його специфікацій – OPC Data Access (OPC DA), OPC Alarms and Events (OPC AE) та OPC Historical Data Access (OPC HDA).

Для обміну цифровими даними між комунікаційною платформою «KEPServerEX», розгорнутою в рамках локальної промислової системи автоматизації, та додатками користувача, реалізованими на «хмарній» платформі IoT, використовується спеціальний сервер «IoT Gateway» (рисунок 4.4). Він у реальному масштабі часу реалізує такий інформаційний обмін у формі безшовного потоку даних.

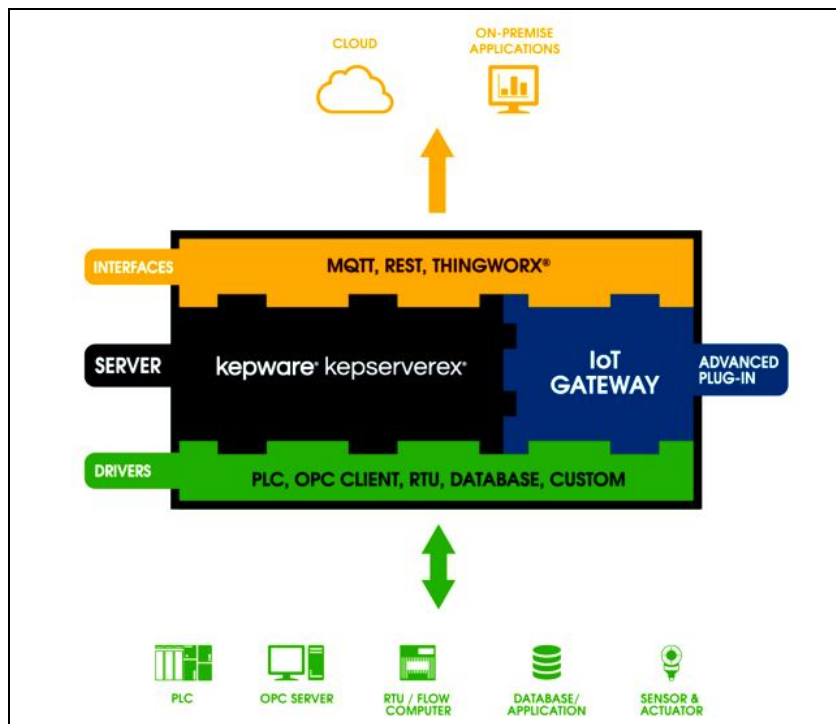


Рисунок 4.4 – Використання сервера «IoT Gateway» для передачі даних до «хмарних» додатків IoT

Крім того, сервер "IoT Gateway" включає в себе спеціальний агент «ThingWorx Agent» для максимально швидкої передачі промислових даних з технологічного рівня до «хмарної» платформи «ThingWorx Foundation» за захищеним бінарним протоколом «ThingWorx AlwaysOn».

Для забезпечення обробки цифрових даних від різних інтелектуальних об'єктів та пристроїв локальної системи автоматизації в комунікаційній платформі «KEPServerEX» є такий інструмент як «Advanced Tags» (AT) [42]. Наприклад, такі AT для машино-машинної взаємодії (M2M) можуть додавати логічні та математичні функції у операційні зв'язки, або для системи управління виробництвом генерувати нові цифрові дані шляхом логічної та математичної обробки даних реального часу від інтелектуальних об'єктів та пристроїв.

Таким чином, використовуючи описаний вище функціонал «хмарної» платформи IoT «ThingWorx Foundation», можна розробити ескізний проєкт цифрової трансформації існуючого реального АТП шляхом його підключення через комунікаційну платформу «KEPServerEX» та її «Advanced Tags» (AT) до

спеціального програмного додатку, реалізованого на «хмарній» платформі «ThingWorx Foundation», який буде здійснювати у режимі реального часу, наприклад, контроль активів реального АТП і розповсюджувати його результати через глобальну мережу.

На рисунку 4.5 та в додатку Б наведений проєкт такої цифрової трансформації архітектури програмного забезпечення АТП для І4.0.

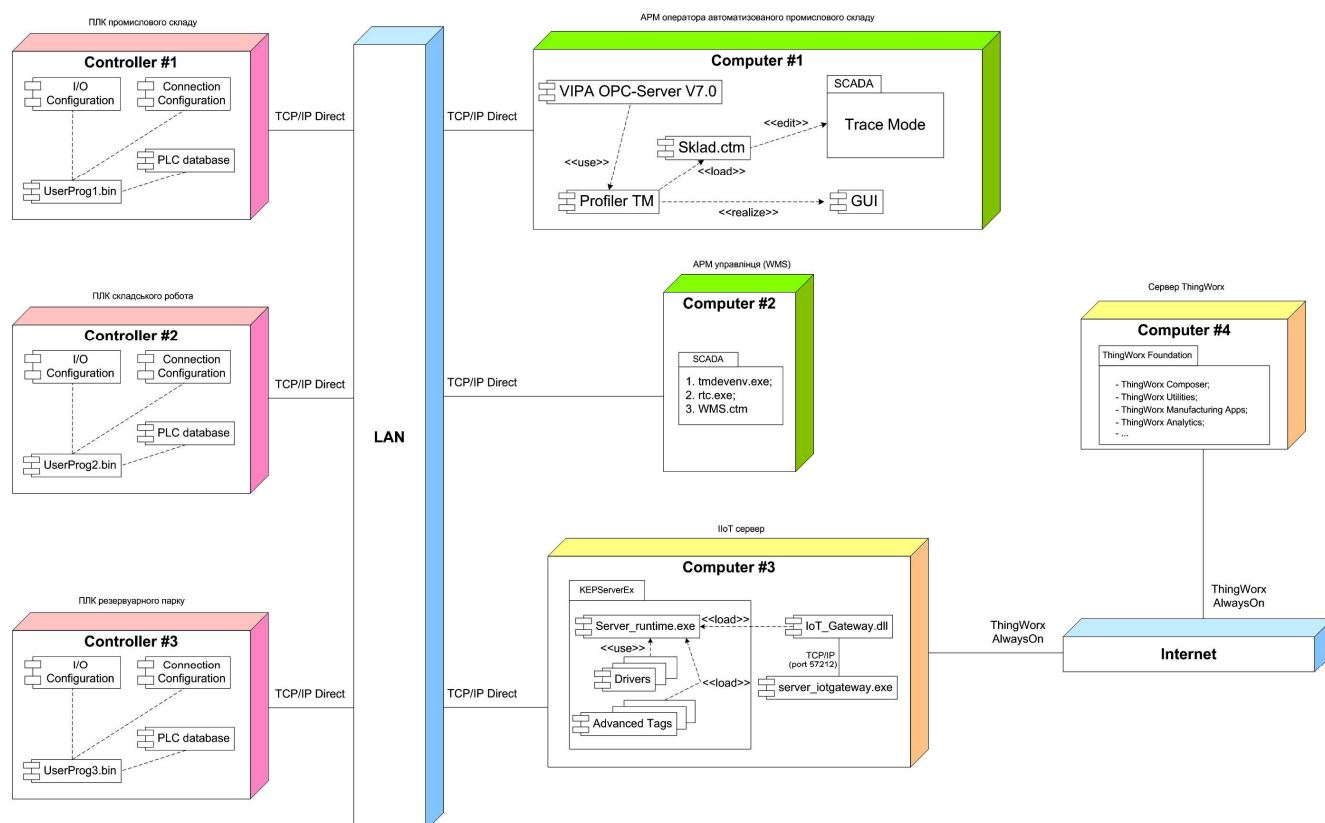


Рисунок 4.5 - Проєкт архітектури програмного забезпечення АТП для І4.0

Архітектурна модель складається з таких вузлів:

- "Controller #1" (ПЛК промислового складу);
- "Controller #2" (ПЛК складського робота);
- "Controller #3" (ПЛК резервуарного парку);
- "Computer #1" (АРМ оператора автоматизованого промислового складу);
- "Computer #2" (АРМ управлінця з функцією WMS – управління логістичними процесами промислового складу);

- "Computer #3" (локальний сервер ІСУ виробництвом, ПоТ сервер);
- "Computer #4" («хмарний» сервер «ThingWorx» компанії РТС);
- "LAN" (обчислювальні засоби локальної мережі підприємства);
- "Internet" (обчислювальні засоби глобальної мережі Internet)..

Вузли "Controller #1", "Controller #2", "Controller #3" та "Computer #1" зв'язані між собою асоціацією "TCP/IP Direct". Ця асоціація моделює обмін даними між контролерами та ПК оператора автоматизованого промислового складу через мережу LAN підприємства за протоколом TCP/IP Direct в режимі м'якого реального часу.

На вузлі "Computer #1" розгорнутий інструментальний пакет "SCADA". Він моделює інтегроване середовище розробки та виконання прикладної програми "Sklad.ctm" АРМ оператора автоматизованого промислового складу, наприклад SCADA "Trace Mode 6".

Пакет "SCADA" дозволяє розробити та відредагувати файл "Sklad.ctm" проекту прикладної програми АРМ оператора автоматизованого промислового складу. Ця програма завантажується до виконавчого середовища SCADA, наприклад для «Trace Mode 6» це буде «Profiler TM», яке і виконує прикладну програму в режимі м'якого реального часу (МРЧ). При виконанні прикладної програми "Sklad.ctm" виконавче середовище "Profiler TM" використовує три OPC-сервера, наприклад "VIPA OPC-Server V7.0", для обміну даними з відповідними вузлами "Controller #1", "Controller #2" та "Controller #3", а також реалізує графічний інтерфейс оператора (програмний компонент "GUI").

До вузла "Controller #1" завантажується файл прикладної програми "UserProg1.bin" для загального управління ТП промислового складу. Цей файл також встановлює в цьому ПЛК настройки його області введення/виведення (програмний компонент "I/O Configuration") та інтерфейсу зв'язку TCP/IP Direct (програмний компонент "Connection Configuration"). При виконанні прикладної програми "UserProg1.bin" в ПЛК буде формуватися база даних "PLC database", яка містить інформацію про вхідні та вихідні фізичні сигнали, що обробляє прикладна програма "UserProg1.bin", а також про її внутрішні змінні.

До вузла "Controller #2" завантажується файл прикладної програми "UserProg2.bin" для локального управління технологічними операціями складського робота. Цей файл також встановлює в цьому ПЛК настройки його області введення/виведення (програмний компонент "I/O Configuration") та інтерфейсу зв'язку TCP/IP Direct (програмний компонент "Connection Configuration"). При виконанні прикладної програми "UserProg2.bin" в ПЛК буде формуватися база даних "PLC database", яка містить інформацію про входні та вихідні фізичні сигнали, що обробляє прикладна програма "UserProg2.bin", а також про її внутрішні змінні.

До вузла "Controller #3" завантажується файл прикладної програми "UserProg3.bin" для локального управління технологічними операціями резервуарного парку. Цей файл також встановлює в цьому ПЛК настройки його області введення/виведення (програмний компонент "I/O Configuration") та інтерфейсу зв'язку TCP/IP Direct (програмний компонент "Connection Configuration"). При виконанні прикладної програми "UserProg3.bin" в ПЛК буде формуватися база даних "PLC database", яка містить інформацію про входні та вихідні фізичні сигнали, що обробляє прикладна програма "UserProg3.bin", а також про її внутрішні змінні.

На вузлі "Computer #2" (APM управлінця WMS) розгорнутий інструментальний пакет "SCADA", який моделює інтегроване середовище розробки та виконання прикладної програми "WMS.ctm" (управління логістикою промислового складу), наприклад SCADA "Trace Mode 6". Програма "WMS.ctm" вузла "Computer #2" через локальну мережу LAN підприємства взаємодіє з прикладною програмою "Sklad.ctm" (управління ТП промислового складу) вузла "Computer #1", що забезпечує горизонтальну інтеграцію двох систем управління.

На вузлі "Computer #3" (IoT сервер) встановлена програма сервера комунікаційної платформи "KEPServerEx", виконавче середовище якого "Server_runtime.exe" застосовує вбудовані драйвери " Drivers" для доступу до джерел даних системи управління (ПЛК, SCADA), а також набір тегів типу «Advanced Tags» для реалізації розрахунку додаткових даних для системи управління ТП промислового складу.

Для зв'язування даних IoT сервера з «хмірними» сервісами платформи «ThingWorx Foundation» на вузлі "Computer #3" встановлений програмний компонент «IoT Gateway», який складається з плагіну сервера «IoT_Gateway.dll» та IoT агента «server_iotgateway.exe». Плагін сервера «IoT_Gateway.dll» відповідає за конфігурування агентів протоколів MQTT, ThingWorx AlwaysOn, REST client та REST server, за збирання даних з виконавчого середовища «Server_runtime.exe» та за конфігурування налаштувань програмного компонента «IoT Gateway». IoT агент «server_iotgateway.exe» (системний сервіс) керує з'єднаннями з «хмарними» сервісами промислового Інтернету речей, зберігає у буфері дані, зібрані з плагіну сервера «IoT_Gateway.dll», та забезпечує рівень авторизації та шифрування для кожного агента.

На вузлі "Computer #4", який є «хмарним» сервером ThingWorx компанії PTC, розгорнута платформа промислового Інтернету речей (IIoT) «ThingWorx Foundation», в якій для реалізації як контролю активів промислового складу, так і розрахунку додаткових даних для системи управління ТП промислового складу, можуть бути використані такі компоненти: «ThingWorx Composer», «ThingWorx Utilities», «ThingWorx Analytics», «ThingWorx Manufacturing Apps» та інші. Дані до цих сервісів передаються через мережу Internet за оригінальним протоколом «ThingWorx AlwaysOn» компанії PTC до відповідного додатку користувача «UserApp».

На вузлі "Computer #5" (АРМ фахівця (КВПіА)) встановлений звичайний браузер Інтернету ("Internet browser"), за допомогою якого він переглядає сторінки інтерфейсу користувача (UI) програми «UserApp» на "хмарному" сервері ThingWorx компанії PTC, що виконує, наприклад, аналітичну обробку технологічних даних, отриманих з АТП промислового складу, для виявлення в них аномалій, що сигналізують про порушення режимів роботи технологічного обладнання складу, або для прогнозування ймовірності виходу з ладу цього технологічного обладнання.

На основі даної архітектури ПЗ можна розробити проект відповідної інформаційної бази трансформованого АТП промислового складу, що надасть йому згаданих вище властивостей/ознак І4.0 «розумного виробництва».

На рисунку 4.6 показана концепція організації цієї інформаційної бази на основі "Advanced Tags" (AT) комунікаційної платформи "KEPServerEx".

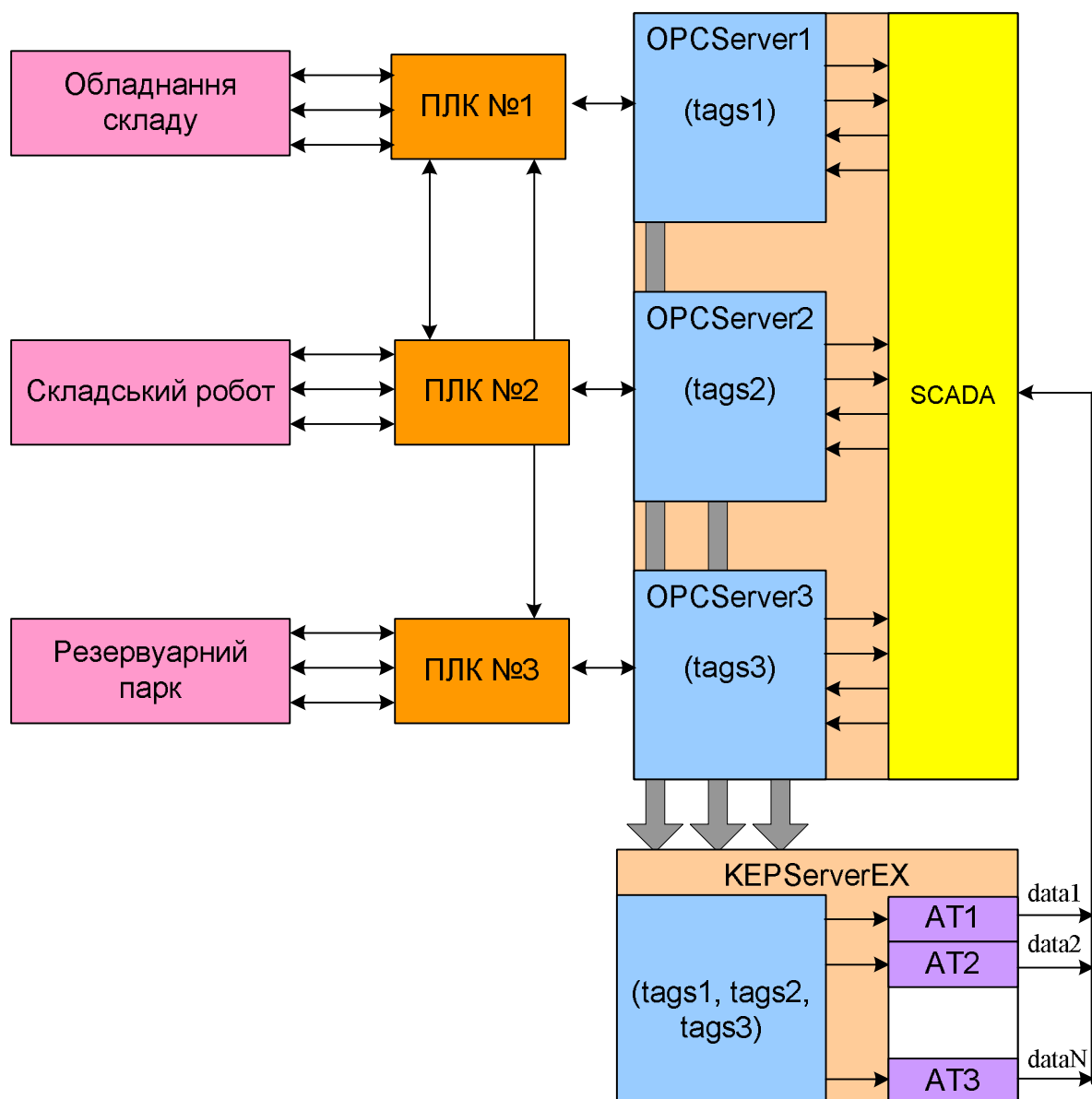


Рисунок 4.6 – Концепція організації інформаційної бази трансформованого АТП

Різноманітні вихідні електричні сигнали з ТП промислового складу вводяться до промислових контролерів ПЛК №1 – ПЛК №3, а потім передаються в цифровій формі до значень тегів (tags1, tags2, tags3) відповідних трьох OPC-серверів (OPCServer1- OPCServer3). До тегів OPC-серверів додаються також дані з прикладної програми оперативного управління ТП промислового складу (SCADA). Комунікаційна платформа «KEPServerEX» створює ІоТ сервер, теги

якого читають дані з відповідних тегів OPC-серверів (OPCServer1- OPCServer3). Крім цих тегів в даному сервері створюються теги типу "Advanced Tags" (AT1, AT2, ... ATN), які в якості вхідних значень використовують вихідні значення звичайних тегів ПоТ сервера (tags1, tags2, tags3). Кожний з "Advanced Tags" реалізує задану обробку вхідних даних, в результаті чого на виході кожного такого тегу формуються нові цифрові дані ("data1", "data1", ..., "dataN"), які несуть додаткову інформацію для системи управління ТП промислового складу. Вихідні значення тегів AT1 – ATN або зчитуються локальними OPC-клієнтами, наприклад, прикладною програмою «SCADA», або спеціальним програмним додатком «UserApp», що виконується на «хмарному» сервері з ПоТ платформою «ThingWorx Foundation».

Спроекуємо тепер для прикладу процедуру обробки в ПоТ сервері вхідних цифрових даних за допомогою АТ тегів.

На рисунку 4.7 показана схема обробки даних DP1, в результаті якої проводиться аналіз розподілу складських операцій поміж полицями складу.

Зліва показані звичайні теги сервера «KEPServerEX», які пов'язані з відповідними тегами OPC-сервера «OPCServer2», що встановлений на ПК оператора промислового складу. Теги "N_NUL" та "START_INV" записуються в OPC-сервер прикладною програмою SCADA ("START_INV" – інверсна логічна змінна пуску системи управління, "N_NUL" – короткий одиничний імпульс, що формується по передньому фронту змінної "START_INV"). Теги "ORDER_1" – "ORDER_5" записуються в OPC-сервер з прикладної програми контролера ПЛК №2 ("ORDER_1" – логічний сигнал наказу на виконання складської операції, пов'язаною з полицею №1, "ORDER_2" – логічний сигнал наказу на виконання складської операції, пов'язаною з полицею №2, "ORDER_3" – логічний сигнал наказу на виконання складської операції, пов'язаною з полицею №3, "ORDER_4" – логічний сигнал наказу на виконання складської операції, пов'язаною з полицею №4, "ORDER_5" – логічний сигнал наказу на виконання складської операції, пов'язаною з полицею №5). Для розрахунку кількості операцій для кожної полиці складу (N1, N2, N3, N4, N15) в сервері «KEPServerEX» створюються шість "Advanced Tags": один типу "Link Tag" (AT1) та п'ять типу "Derived Tag"

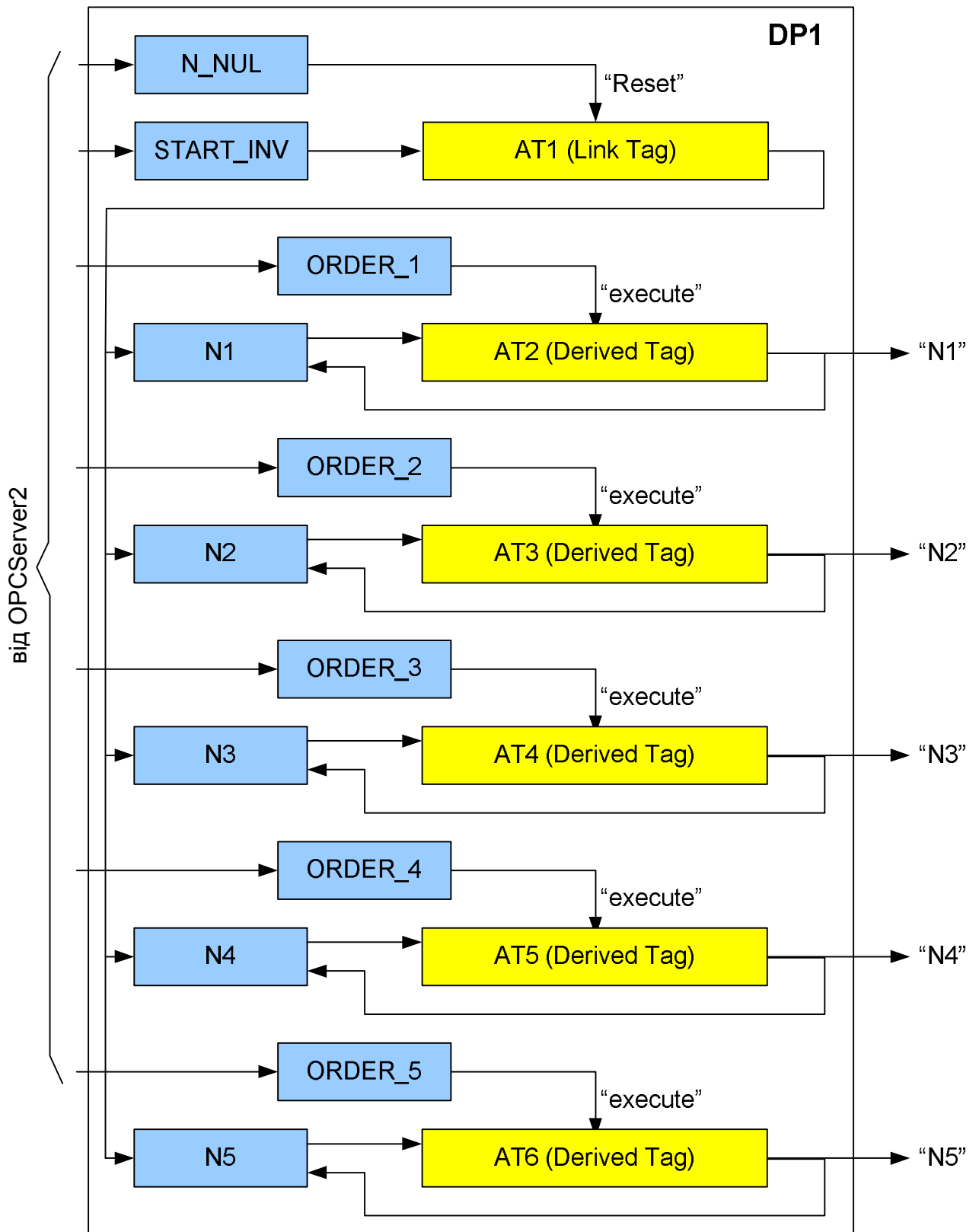


Рисунок 4.7 – Схема аналізу розподілу складських операцій між полицями складу (AT2-AT6). Тег AT1 призначений для запису нуля (операція скидання "Reset") в

теги "N1" – "N5" при пуску системи до роботи. Тег AT2 повинен збільшувати значення тегу "N1" на одиницю при кожному встановленні логічної змінної тегу "ORDER_1" в одиницю (виконується операція с полицею №1). Теги AT3-AT6 працюють аналогічно, перераховуючи, відповідно, значення тегів "N2" – "N5". Результати аналітичної обробки "N1" – "N5" можуть зчитуватися прикладною програмою SCADA і, наприклад, виводитись на графічний інтерфейс оператора.

На основі даних "N1" – "N5" можна організувати подальшу обробку даних, наприклад, провести аналіз розподілу загальної вартості складських операцій між полицями складу. Для виконання такого аналізу необхідна така додаткова інформація: ΔW – витрата електроенергії підйомником складського робота при його русі між двома сусідніми полицями, W_PRICE – вартість одиниці електроенергії. Ці дані можна отримати з прикладної програми SCADA.

Тоді, використовуючи значення тегу "N1", що розрахований в DP1, можна визначити загальну вартість усіх складських операцій з полицею №1:

$$S1 = 2 \cdot N1 \cdot \Delta W \cdot W_PRICE \text{ [грн.]} \quad (4.1)$$

Схема організації такого розрахунку в IoT сервері показана на рисунку 4.8.

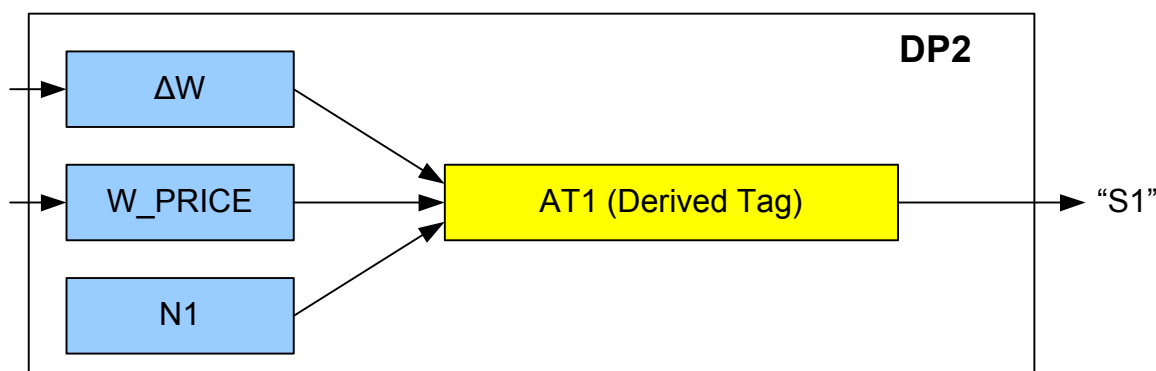


Рисунок 4.8 – Схема розрахунку вартості операцій з полицею №1

Аналогічно можна розрахувати вартість складських операцій по іншим полицям однієї секції складського стелажу. Для полиці №2 за формулою:

$$S2 = 4 \cdot N2 \cdot \Delta W \cdot W_PRICE \text{ [грн.]} \quad (4.2)$$

Для полиці №3:

$$S3 = 6 \cdot N3 \cdot \Delta W \cdot W_PRICE \text{ [грн.]} \quad (4.3)$$

Для полиці №4:

$$S4 = 8 \cdot N4 \cdot \Delta W \cdot W_PRICE \text{ [грн.]} \quad (4.4)$$

Для полиці №5:

$$S5 = 10 \cdot N5 \cdot \Delta W \cdot W_PRICE \text{ [грн.]} \quad (4.5)$$

На основі концепції організації інформаційної бази трансформованого АТП промислового складу (див. рисунок 4.6) розробимо тепер проєкт інформаційного обміну в рамках даної інформаційної бази.

Для цього доцільно використати схему мережних інформаційних потоків, яка графічно показує увесь масив даних у базах даних вузлів АТП та їх взаємозв'язок через інформаційні потоки [51]. Основне призначення даної схеми – показати реалізацію інформаційних потоків з точки зору інформаційного забезпечення (ІЗ) системи автоматизації, оскільки апаратна частина показується та описується на відповідних її структурних схемах.

На рисунку 4.9 та в додатку Б наведено результати розробки такої схеми. Цей проєкт дозволяє усунути один з недоліків реального АТП, який був означений у розділі 3. Так, розглядаючи компонент «Робот» у шарі «Asset» вісі «Layers», був зроблений висновок, що цей компонент на стадії «Usage» не забезпечує систему управління цифровими даними реального часу про поточний стан своїх вузлів, а тому система управління не може вчасно виявити

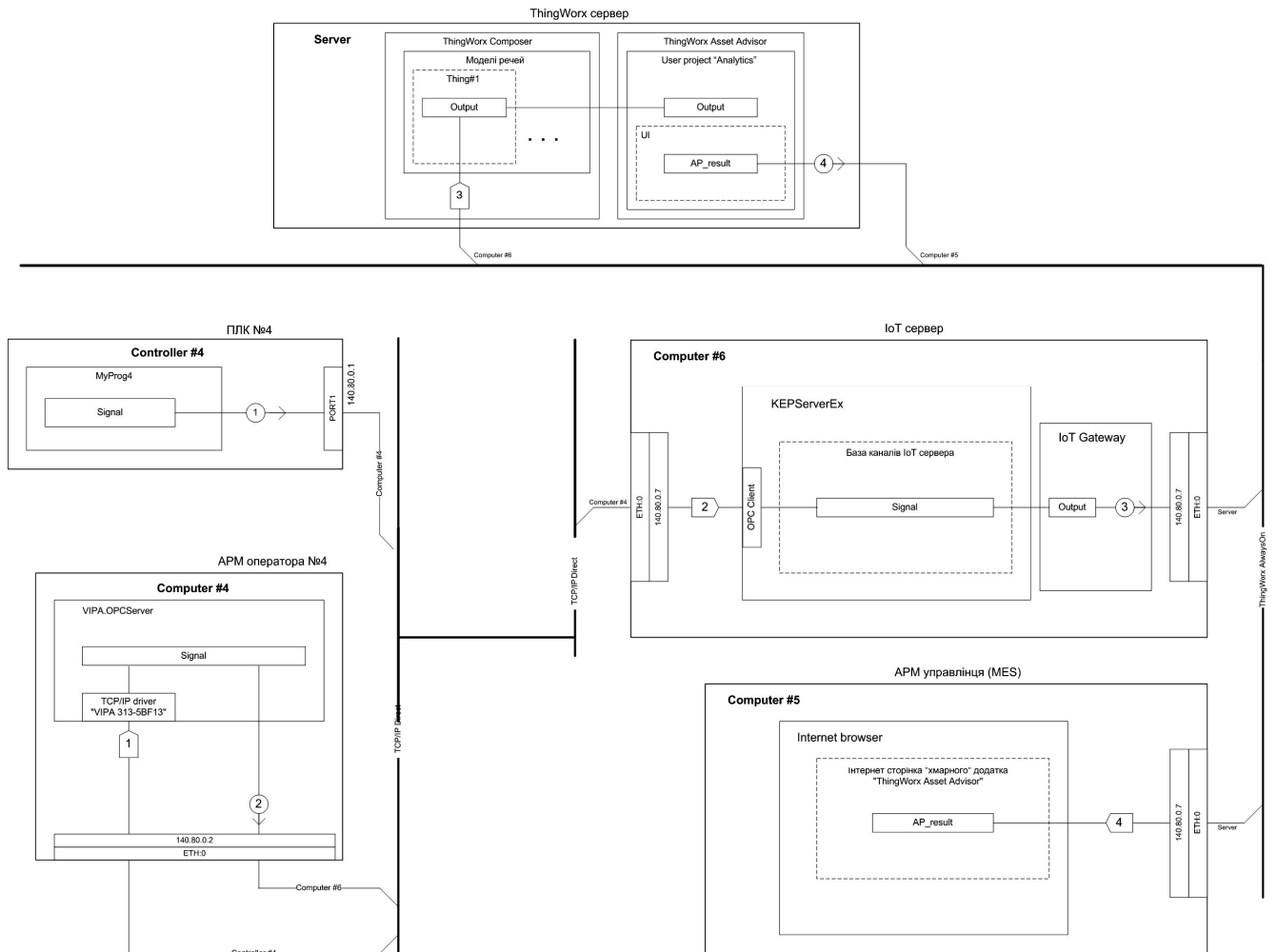


Рисунок 4.9 - Схема мережних інформаційних потоків АТІ для І4.0

загрозу виходу їх з ладу і оперативно відреагувати на це, організувавши, наприклад, профілактичний ремонт або непланову заміну вузла. Тобто реальний АТІ у даному випадку не відповідає І4.0 властивостям/ознакам «Цифрова виробнича система» та «Висока стійкість (надійність)».

Тому при розробці схеми мережних інформаційних потоків у якості відправної точки була взята деяка змінна "Signal" прикладної програми "MyProg2" контролера ПЛК №2 (ПЛК складського робота), яка пов'язана з вихідним сигналом додаткового цифрового датчика важливого технологічного параметра цього робота. Значення змінної "Signal" повинно з певною періодичністю записуватися до відповідного тегу OPC-сервера («OPCServer2»), встановленого на ПК оператора промислового складу (АРМ оператора автоматизованого промислового складу).

Опишемо кожний з показаних на схемі інформаційних потоків.

Потік 1 забезпечує передавання значення змінної "Signal" (цифрова форма сигналу) з локальної бази даних прикладної програми "MyProg2" вузла "Controller" (ПЛК складського робота) через мережу з протоколом TCP/IP Direct та драйвер "TCP/IP driver ПЛК" до програми "OPCServer2", що виконується на вузлі "Computer #1" (АРМ оператора автоматизованого промислового складу). Частота передавання інформації визначається налаштуваннями середовища виконання "OPCServer2".

Потік 2 забезпечує передавання даних тега "Signal" програми "OPCServer2", що виконується на вузлі "Computer #1" (АРМ оператора автоматизованого промислового складу) через мережу з протоколом «TCP/IP Direct» та драйвер "OPC Client" до тегу відповідного каналу комунікаційної платформи "KEPServerEx" вузла "Computer #2" (IIoT сервер). Значення цього тегу по внутрішній віртуальній мережі вузла "Computer #2" передається до тегу програми "IoT Gateway" ("Output"), де зберігаються для подальшого передавання потоком 3 до «хмарного» сервісу платформи «ThingWorx Foundation».

Потік 3 забезпечує передавання даних, що містять змінну "Output" (реальне значення вихідного сигналу датчика технологічного параметру складського робота) з програми "IoT Gateway" та мережу Internet з протоколом «ThingWorx AlwaysOn» до масиву даних (властивостей) моделі речі "Thing#1 (складській робот)" інструментального середовища розробки проєктів Інтернету речей "ThingWorx Composer". Інструментальне середовище "ThingWorx Composer" є складовою частиною платформи «ThingWorx Foundation», яка розгорнута на вузлі "Server" (ThingWorx сервер). Значення властивості "Output" моделі речі "Thing#1 (складській робот)" по внутрішніх каналах передається до прикладної програми «UserApp», реалізованої на сервері "ThingWorx Asset Advisor" (моніторинг та аналіз станів виробничих активів), який виконує відповідну їх аналітичну обробку, а результат обробки "AP_result" розміщує в програмному блоці графічного інтерфейсу користувача "GUI" прикладної програми «UserApp».

Потік 4 забезпечує передавання масиву даних, що містить результат

аналітичної обробки "AP_result" сигналу датчика технологічного параметру складського робота, через мережу Internet з протоколом «TCP/IP» до програми "Internet browser" вузла "Computer #3" (АРМ фахівця_КВПіА), куди завантажується Web-сторінка графічного інтерфейсу GUI прикладної програми «UserApp» з сервера "ThingWorx Asset Advisor" вузла "Server" (ThingWorx сервер). Через цей графічний інтерфейс фахівець з контрольно-вимірювальних приладів і автоматики (КВПіА) спостерігає за роботою складського робота, а "хмарна" аналітична обробка вихідного сигналу датчика його технологічного параметру дозволяє виявити аномалії в його роботі і сповістити про це фахівця.

За такою ж схемою мережних інформаційних потоків можна організувати діагностику роботи усього технологічного обладнання промислового складу.

4.4 Концепція поглибленої цифрової трансформації АТП

В розділі 3 проаналізований існуючий реальний АТП промислового складу та на основі цього аналізу біли означені основні його недоліки у порівнянні з І4.0 властивостями/ознаками «розумного» виробництва. Так, компонент «Стелаж» на рівні «Product» (вісь «Hierarchy Levels») для стадії «Usage» ніяким чином не включений у інтегровану систему автоматизації виробництва, бо не оснащений жодними додатковими цифровими пристроями, наприклад, для ідентифікації кожної його полиці, що у порівнянні з І4.0 властивістю/ознакою «Цифрова виробнича система» (див. таблицю 3.1) є суттєвим недоліком, бо не дає змоги системі управління логістикою складу (WMS), наприклад, оперативно відстежувати реальні переміщення матеріальних ресурсів до або з стелажу.

Також в розділі 3 було зазначено, що об'єднання компонентів «Стелаж», «М. ресурс» та «Робот» у шарі «Integration» вісі «Layers» для стадії проектування (Development) має суттєвий недолік – при їх проектуванні не використовувались цифрові моделі, що не дало змогу моделювати їх сумісну дію в режимі реального часу з прив'язкою до навколишнього виробничого середовища. А це дало б можливість, наприклад, оптимізувати складські операції (оптимальне розміщення

матеріальних ресурсів на полицях стелажу для мінімізації часу їх переміщення), або тестувати дії складського робота для різних типів компонента «М. ресурс» та виявляти можливі нештатні ситуації, наприклад, робот ненадійно захоплює матеріальний ресурс і він падає з полиці на підлогу.

Крім того, для властивостей інтеграційних зв'язків «Специфікація 4» та «Специфікація 5» шару «Communication» вісі «Layers» для стадії використання «Usage» був також виявлений їх суттєвий недолік – компонент «Дані виконання операцій», які пов'язані з контролером складського робота, та «Дані місця зберігання м. ресурсу», що пов'язані з АРМ оператора автоматизованого промислового складу, не зв'язуються між собою у режимі реального часу. Тобто виконання будь-якої операції складським роботом по переміщенню конкретного матеріального ресурсу тільки опосередковано, а не напряму, визначає зміну місця його зберігання, тому що тільки оператор по факту виконання операції складським роботом може змінити місцезнаходження матеріального ресурсу у базі даних на своєму АРМ. При цьому реальне місцезнаходження даного матеріального ресурсу, насправді, для системи невідоме, наприклад, в ході виконання операції матеріальний ресурс впав на підлогу або складській робот помилився і зняв з полиці зовсім інший матеріальний ресурс. Таким чином, в реальному АТП не відстежуються реальні місця знаходження матеріальних ресурсів, що може призвести до порушення всього виробничого процесу, а це не відповідає І4.0 властивості/ознаці «Висока стійкість (надійність)».

Для усунення усіх перелічених вище недоліків існуючого реального АТП розробимо концепцію його поглибленої цифрової трансформації. В [20] описане одне з таких сучасних рішень цифрової трансформації складських процесів у вигляді системи управління складом. Таке рішення дає змогу відслідковувати усі складські процеси у реальному часі завдяки використанню сучасної цифрової технології радіочастотної ідентифікації RFID (Radio Frequency Identification). Ця технологія дозволяє здійснювати розпізнавання та реєстрацію матеріальних об'єктів шляхом використання випромінювання радіочастотного типу. Зокрема, на промислових складах вона дозволяє здійснити швидке і чітке відстеження того, куди і як переміщуються різні матеріальні ресурси, а також прискорити процеси

їх приймання та відпускання, підвищити рівень інформаційної прозорості та надійності операційної діяльності, повністю виключити з неї людський фактор.

До основних переваг RFID, у порівнянні зі штрих-кодами, належать такі [52-55]:

- можливість перезаписувати мітки, їх багаторазове доповнення, тоді як відомості на штрих-кодах незмінні, вони вносяться один раз при нанесенні друку;
- системи для зчитування не потребують безпосередньої видимості мітки щоб «прочитати» дані; мітки сприймаються через упаковку, що гарантує «сховане» її розміщення; для надійного зчитування даних мітка повинна лише потрапити в реєстраційну зону навіть в русі на підвищеній швидкості;
- RFID-мітки зчитуються на більшій відстані у порівнянні зі штрих-кодами;
- актуальні відомості RFID-мітка зберігає теж у набагато більшому обсязі – до 10 тис. байтів.
- RFID-мітки мають підвищений рівень невразливості та опірності до природного середовища, що актуально при ідентифікації різної зворотної тари, крім того, пасивні типи міток не мають обмежень в строку експлуатації.

Виділяють три складові RFID-системи ідентифікації матеріальних об'єктів (рисунок 4.10):

- RFID-мітка: пристрій для збереження та передачі даних, «пам'ять» міток містить код ідентифікації, а деякі мітки мають функцію перезапису пам'яті;
- RFID-зчитувач: спеціальний прилад, який зчитує дані з міток та зберігає їх; він сполучається з загальною системою обліку або працює в автономному режимі; може комплектуватися додатковою антеною в залежності від конфігурації системи обліку та застосовуваного устаткування;
- комп'ютерна програма, що накопичує і аналізує інформацію зі зчитувачів, об'єднуючи усі згадані вище елементи в єдину систему обліку.

RFID-мітка (RFID Tag), по суті, є мініатюрним запам'ятовуючим пристроєм, який містить мікроелектронний чип, що зберігає інформацію, а також антену, що здійснює передачу та отримання даних. RFID-мітка може бути

активною (працювати від джерела живлення) або пасивною (не потребує живлення). Пам'ять RFID-мітки зберігає унікальну інформацію про матеріальний об'єкт та ідентифікаційний номер.

При попаданні RFID-мітки в реєстраційну зону її інформація приймається зовнішнім зчитувачем.

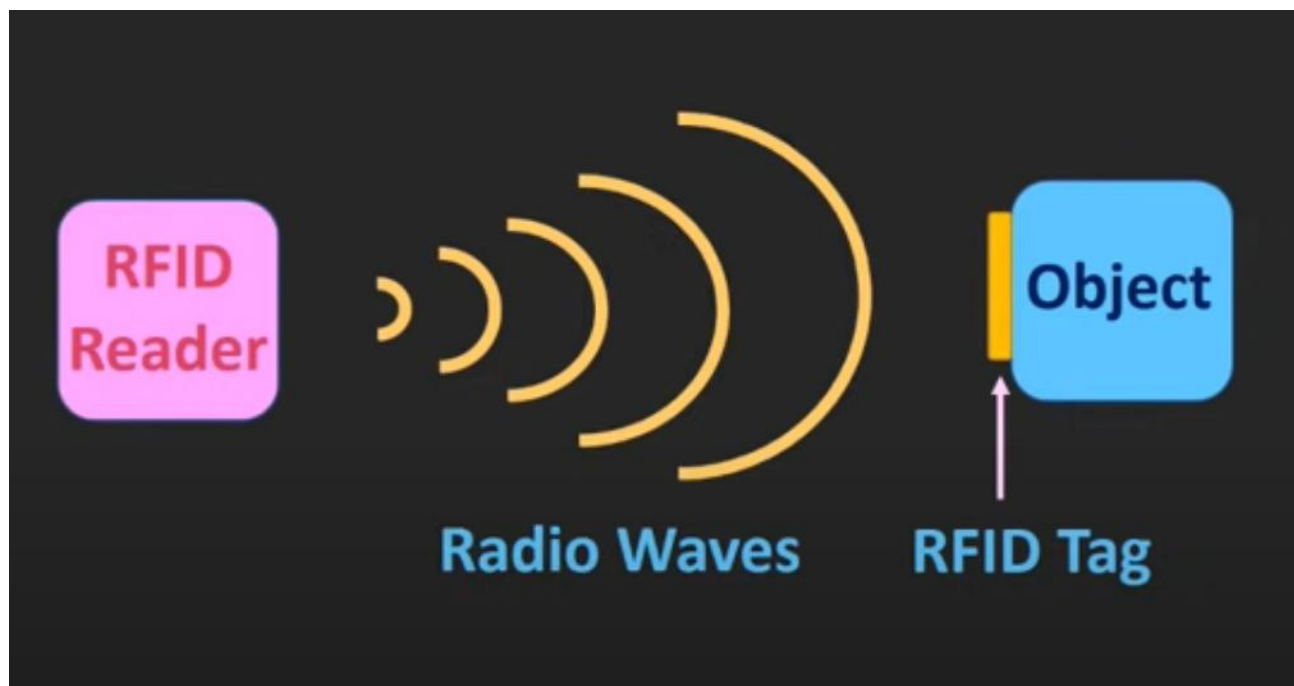


Рисунок 4.10 - RFID-система ідентифікації матеріальних об'єктів

RFID-мітки мають такі важливі характеристики: матеріал, з якого виготовлений матеріальний об'єкт; матеріал, з якого виготовлена мітка, допустима температура нагріву мітки; радіус надійного зчитування інформації з мітки; тип кріплення мітки.

На рисунку 4.11 наведені основні види RFID-міток, які найчастіше використовуються на промислових складах.

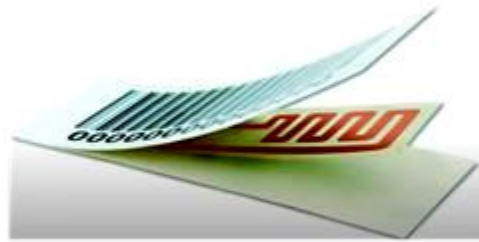
Треба відмітити, що RFID-мітки з міцних матеріалів треба замовляти у спеціалізованих компаніях, проте, стандартні самоклеючі мітки можна легко роздрукувати самостійно за допомогою RFID-принтера (рисунок 4.12) [55]. Це по суті той же термічно - трансферний принтер для друку етикеток, тільки з RFID-модулем.



Міцні, зі стійким корпусом (пластик, метал)



Гнучкі RFID-мітки з "хомутом"



RFID-мітки на плівці

Рисунок 4.11 - Найбільш поширені види RFID-міток для промислових складів



Рисунок 4.12 - Зовнішній вигляд RFID-принтера

Для запису / читання інформації з RFID-мітки використовується RFID-зчитувач (reader), з'єднаний із зовнішньою антеною (рисунок 4.13). Зустрічаються також зчитувачі у вигляді терміналів збору даних.

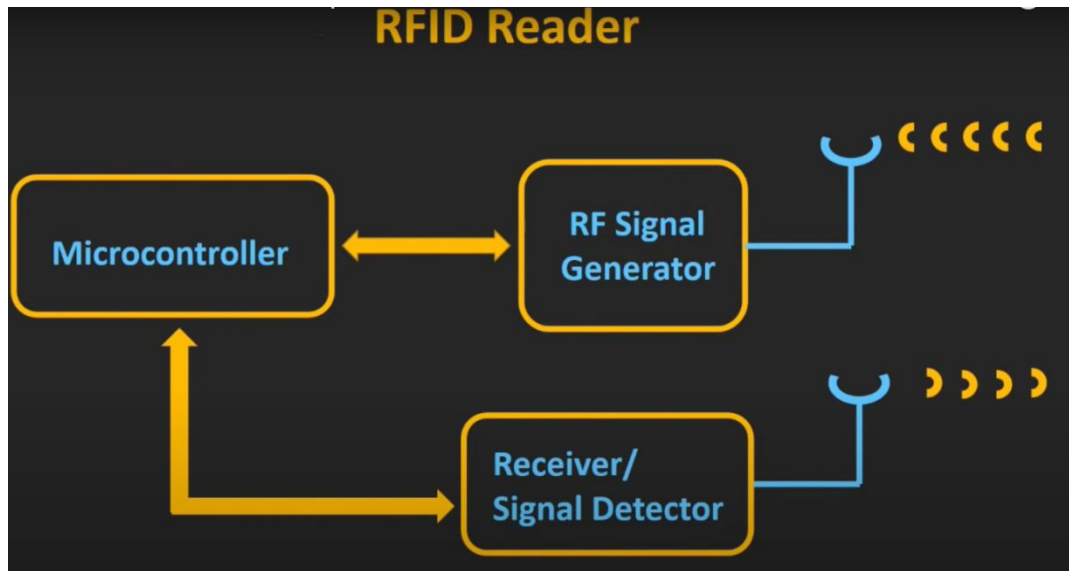


Рисунок 4.13 - Блок-схема RFID-зчитувача

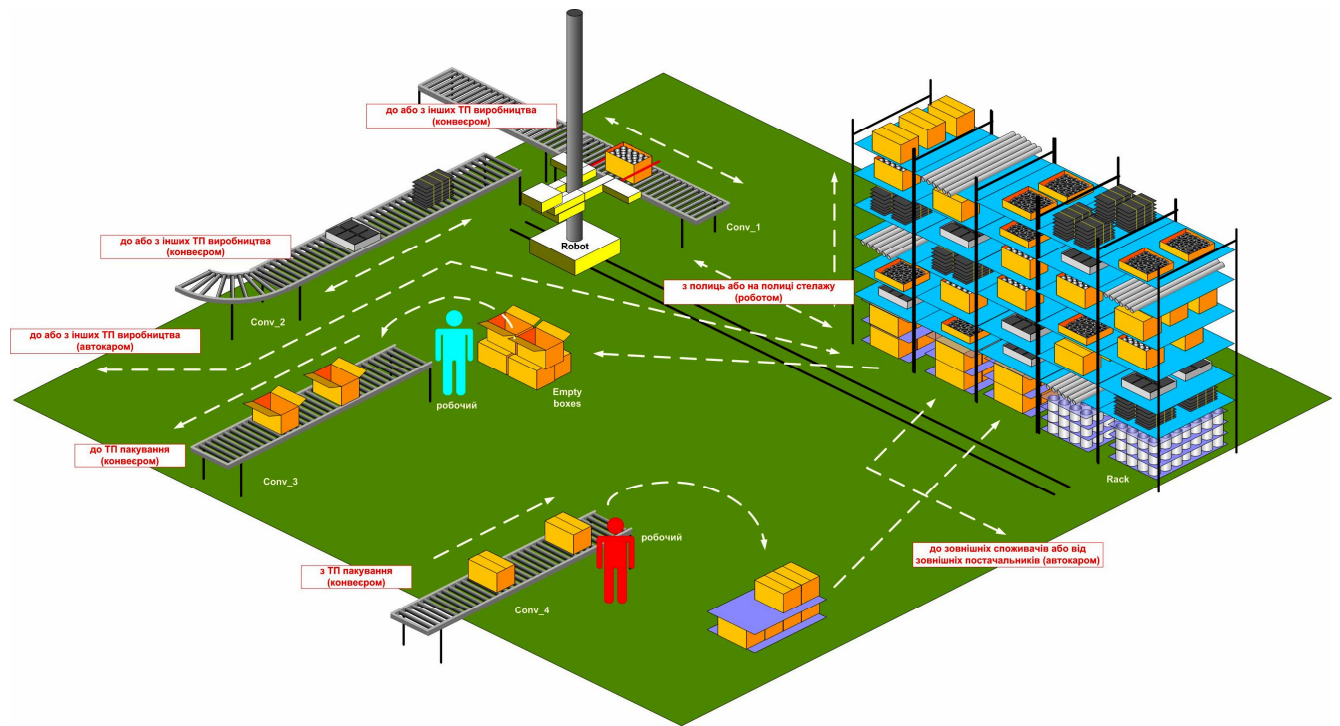
RFID системи різняться за частотою, що випромінює антена зчитувача:

- низькочастотні (125-134 кГц) LF (Low Frequency); відстань зчитування до 70 см;

- високочастотні (13,56 МГц) HF (High Frequency) за стандартами ISO 14443 (proximity карти) і ISO 15693 (vicinity карти), використовують стандартизовані алгоритми шифрування, введена можливість читання безлічі міток одночасно (система антиколізій), дальність читання до 100 см, проте, існують проблеми зі зчитуванням при наявності води й метала; застосовується в логістиці й системах контролю доступу;

- ультрависокочастотні (860-960 МГц) UHF (Ultra High Frequency) – сучасна, перспективна й усе більш використовувана частота в логістиці й промисловості, ключові стандарти - EPC і ISO 18000-6, дальність читання до 400 см, крім того, вирішено більшість проблем, пов'язаних з наявністю в середовищі води й металу.

Розглянемо промисловий склад нашого виробництва і з'ясуємо, де саме краще розмішувати RFID-зчитувачі та RFID-мітки. Для цього на рисунку 4.14 показані основні маршрути переміщення його матеріальних ресурсів.



Рисчунок 4.10 – Типові маршрути проходження товарів на складі

Як видно з рисунку, переміщення різних твердих матеріальних ресурсів виконується і різними способами: палети переміщуються автокаром, пусті або повні коробки переміщуються на конвеєр або з конвеєра працівниками складу, складський робот переміщує певні матеріальні ресурси з полиць стелажу на конвеєри або з конвеєрів на полиці стелажу, а ці конвеєри, у свою чергу, переміщують певні матеріальні ресурси з або до інших ТП виробництва.

Таким чином, наш промисловий склад має декілька входів/виходів:

- зовнішній вхід/вихід виробництва (готова продукція, зібрана на палети, вивозиться зі складу автокаром до зовнішніх споживачів, а потрібні виробництву матеріальні ресурси у вигляді палет ввозяться автокаром на склад від зовнішніх постачальників);
- внутрішній вхід/вихід для автокару (матеріальні ресурси виробництва, зібрані у палети, ввозяться на склад з інших ТП виробництва, або вивозяться туди зі складу);
- два внутрішніх конвеєрних входів/виходів (матеріальні ресурси двох ТП

виробництва, а саме, ТП дозування та ТП допоміжного виробництва, переміщуються на склад або зі складу у вигляді їх упаковок, які можна зберігати на полицях стелажу;

– один конвеєрний вихід (пусті коробки переміщуються до ТП пакування);

– один конвеєрний вхід (повні коробки з готовою продукцією переміщуються з ТП пакування).

Тому треба в першу чергу поставити один RFID зчитувач на загальному вході/виході нашого промислового складу. Тоді при прийомці будь-яких матеріальних ресурсів від зовнішніх постачальників уся інформація про ці ресурси буде зразу зчитуватися з RFID-мітки, що закріплена на палеті, коли автокар проїде біля зчитувача (рисунок 4.15).



Рисунок 4.15 – Зчитування RFID-міток з палет при прийомці матеріальних ресурсів від зовнішніх постачальників

Далі автокар везе цю палету або до стелажу, або зразу до якогось виробничого процесу. Якщо прийнята палета має тимчасово зберігатися на складі, то автокар повезе її до стелажу. Для того, щоб система обліку могла зв'язати цифрові дані матеріальних ресурсів на палеті з цифровими даними місця їх тимчасового зберігання, треба, щоб на автокарі був встановлений свій RFID – зчитувач, а на всіх полицях стелажу, включаючи і нульову, були закріплені відповідні RFID-мітки. Зберігання. Тоді при розвантаженні автокара на нульовій полиці стелажу цифрові дані цього місця зберігання палети будуть зчитані системою обліку і пов'язані з даними про матеріальні ресурси, що містяться на RFID-мітці даної палети (рисунок 4.16).

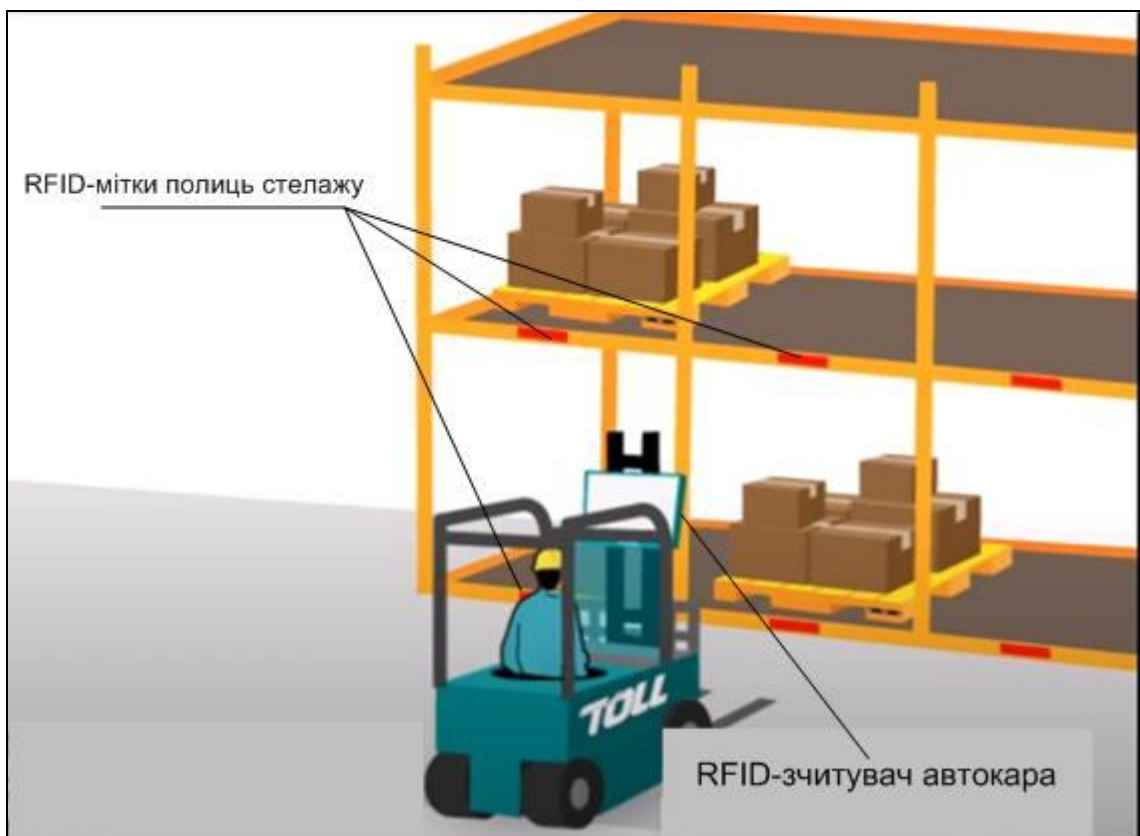


Рисунок 4.16 – Зчитування RFID-міток полиць стелажу

Коли потрібно буде видати матеріальний ресурс зі складу до якогось виробничого процесу, то це завдання буде надіслане системою управління логістикою складу (WMS) по бездротовій мережі на екран комп'ютера автокара.

Тоді сам процес завантаження вказаних матеріальних ресурсів на автокар, згідно з цим завданням, також буде виконуватися з використанням RFID-мітки як палети з матеріальними ресурсами, так і RFID-мітки тієї нульової полиці стелажу, де зберігається ця палета (рисунок 4.17). При цьому інформації вводиться у систему обліку автоматично через RFID-зчитувач та мобільний комп'ютер автокара.



Рисунок 4.17 – Автоматичне зчитування та обробка інформації про переміщення матеріального ресурсу

При вивезенні готової продукції на палетах з території складу також використовуються RFID-мітки, закріплені на цих палетах, які зчитуються автоматично при проїзді автокара через встановлений на виході RFID-зчитувач (рисунок 4.18).

Крім того, при завантаженні цієї готової продукції в автотранспорт також можна використати RFID-мітки як готової продукції, що знаходиться на автокарі у вигляді палети, так і того вантажного автомобіля, в який палета з готовою продукцією буде завантажуватися. У цьому випадку можна організувати і автоматичне формування наряду на відпуск готової продукції, його друкування і видачу водію вантажного автомобіля.



Рисунок 4.18 – Автоматична фіксація готової продукції, що вивозяться зі складу, та контроль завантаження її у автомобіль

Крім описаних вище місць встановлення RFID-зчитувачів на нашому промисловому складі, треба ще встановити їх на усіх вхідних та вихідних конвеєрах, а також на внутрішньому вході/виході для автокара. Система обліку матеріальних ресурсів нашого складу для цих зчитувачів буде працювати так само, як для двох з них, що детально описано вище.

Таким чином, запропоноване концептуальне рішення поглибленої цифрової трансформації промислового складу дає можливість різко покращити інформаційну прозорість усіх технологічних процесів з переміщення матеріальних ресурсів як у межах складу, так і назовні.

Тому усуваються усі ті недоліки існуючого реального АТП промислового складу, які були виявлені в розділі 3 шляхом порівняння даного АТП з властивостями/ознаками «розумного» виробництва І4.0..

4.5 Висновки до розділу

В результаті виконання дослідницьких та проектних робіт у даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи була обґрунтована діаграма станів процесу виконання заключної стадії навчального дослідження цифрової трансформації АТП промислового складу, який виконує студент і викладач. На основі запропонованого методу онтологічного дослідження предметної області промислової автоматизації І4.0 була побудована її концептуальна модель та означені способи її використання для цифрової трансформації АТП промислового складу. В якості прикладів результатів, які студенти можуть отримати в ході навчального дослідження, був розроблений ескізний проєкт початкової цифрової трансформації даного АТП , а також концепція його поглибленої цифрової трансформації.

5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

5.1 Технологічний аудит розроблених комп'ютеризованих навчальних засобів

Як зазначалося раніше, для підвищення якості підготовки фахівців в області автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій кафедрою АІТ ВНТУ до навчального плану підготовки фахівців були уведені дві нові професійно-орієнтовані дисципліни – «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва» (бакалаврський рівень підготовки) та «Промисловий Інтернет речей» (магістерський рівень підготовки). Вивчення студентами цих дисциплін має надати студентам основні теоретичні відомості та сформувані практичні знання щодо цифрової трансформації існуючого комп'ютерно-інтегрованого виробництва у «розумне» цифрове виробництво, що функціонує за концепцією «Індустрія 4.0».

Для реалізації цієї мети у виконанні магістерській кваліфікаційній роботі на основі існуючого інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне підприємство» були створені комп'ютеризовані навчальні засоби, який дозволяє організувати практичне вивчення студентами спеціальності 151 методів та засобів цифрової трансформації технологічних процесів промислового складу в рамках концепції «Індустрія 4.0» .

Для цього нами було детально вивчено існуючої реалізації інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне підприємство»; досліджено методи та засоби цифрової трансформації сучасного підприємства у перспективне «розумне» цифрове підприємство; проведено техніко-економічне та науково-технічне обґрунтування загальної конфігурації нових комп'ютеризованих навчальних засобів; спроектовано програмну частину навчальних засобів; розроблено навчально-методичне забезпечення навчальних засобів.

Для встановлення комерційного потенціалу розроблених нами комп'ютеризованих навчальних засобів було проведено її технологічний аудит,

для чого було запрошено 3-х експертів – фахівців у цій галузі знань: кандидатів технічних наук Кривогубченка С. Г., Кулика А.Я. та Папінова В.М.

Визначення потенційних можливостей комерційного використання нашої розробки було здійснено за критеріями, наведеними в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Рекомендовані критерії оцінювання технічного рівня та комерційного потенціалу будь-якої розробки і їх бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
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
Ринкові перспективи					
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

Продовження таблиці 5.1

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
Практична здійсненність					
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
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому 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 розроблених нами комп'ютеризованих навчальних засобів так, як показано в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати технологічного аудиту розроблених навчальних засобів (за шкалою оцінювання 0-1-2-3-4)

Критерії	Прізвище, ініціали експертів		
	Кривогубченко С.Г.	Кулик Я.А.	Папінов В.М.
	Бали, що їх виставили експерти:		
1	3	4	3
2	4	3	4
3	4	3	3
4	3	4	4
5	4	3	3
6	3	4	3
7	4	3	3
8	4	3	3
9	3	3	3
10	3	3	3
11	4	3	3
12	4	3	3
Сума балів	СБ ₁ = 43	СБ ₂ = 39	СБ ₃ = 38
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{43 + 39 + 38}{3} = \frac{120}{3} = 40$		

Встановлення комерційного потенціалу нашої розробки будемо здійснювати на основі рекомендацій, наведених в таблиці 5.3 [56].

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

Оскільки середньоарифметична сума балів, що їх виставили експерти, складає 40 балів, то це свідчить, що розроблені нами комп'ютеризовані навчальні засоби мають рівень комерційного потенціалу, який вважається «вище середнього».

Це пояснюється тим, що створені нами нові комп'ютеризовані навчальні засоби, будуватимуться, на відміну від існуючих, на основі інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне підприємство», що дозволить за рахунок використання додаткових локальних або «хмарних» віртуальних інструментальних середовищ підвищити ефективність практичної підготовки студентів шляхом виконання ескізного проєкту цифрової трансформації існуючих технологічних процесів виробничого складу «віртуального підприємства» (а саме: здійснювати цифрове моделювання інфраструктури складу та розміщення і пересування в ньому матеріальних ресурсів, встановлювати радіочастотні мітки та мережа сенсорів, створювати «розумну» виробничу логістику тощо.

5.2 Розрахунок витрат на розробку комп'ютеризованих навчальних засобів

При розробці нових навчальних засобів 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...20000) грн./місяць;

T_p – число робочих днів в місяці; прийmemo T_p рівним 21 день;

t – число днів роботи розробників.

Зроблені розрахунки зведемо до таблиці 5.4.

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	18500	925	20 годин	≈ 3084 (при 6-годинноиу робочому дні)
2. Магістрант-студент-виконавець	2000 (беремо 6700)	335	72	24120
3. Консультант з економічної частини	17000	850	1,5 години	$212,5 \approx 213$ (при 6-год. робочому дні)
Загалом				$Z_o = 27417$ грн

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 α дорівнює 0,1. Тоді для нашого випадку отримаємо:

$$Z_d = 0,105 \times 27417 = 2878,78 \approx 2879 \text{ (грн.)}.$$

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

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

де β – ставка обов'язкового єдиного внеску на державне соціальне страхування, %. Прийmemo β рівним 22%.

Тоді:

$$HЗН_{зн} = (27417 + 2879) \times 0,22 = 6665,12 \approx 6665 \text{ (грн)}.$$

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 $Ц$ – загальна балансова вартість основних засобів, грн.;

H_a – річна норма амортизаційних відрахувань. Для нашого випадку можна прийняти, що H_a буде рівним (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	50000	20	3 (при 40% використанні)	1000

Продовження таблиці 5.5

2. Приміщення університету, кафедри	20000	5	3 при 20% використанні	50
Всього				A = 1050 грн.

Витрати на матеріали M розраховуються за формулою:

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

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

C_i – вартість матеріалу i -го найменування;

K_i – коефіцієнт транспортних витрат, K_i буде рівним (1,1...1,15);

V_i – маса відходів матеріалу i -го найменування;

C_v – ціна відходів матеріалу i -го найменування;

n – кількість видів матеріалів.

Витрати на комплектуючі K розраховуються за формулою:

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

де H_i – кількість комплектуючих i -го виду, шт.;

C_i – ціна комплектуючих i -го виду;

K_i – коефіцієнт транспортних витрат, K_i буде рівним (1,1...1,15);

n – кількість видів комплектуючих.

Під час виконання роботи загальні витрати на матеріали та комплектуючі склали приблизно 6000 грн.

Витрати на силову електроенергію V_e розраховуються за формулою:

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

де V – вартість 1 кВт-год. електроенергії, в 2022 р. V приблизно рівна 3,0 грн/кВт;
 P – установлена потужність обладнання, кВт, P дорівнює 0,7 кВт;
 Φ – фактична кількість годин роботи обладнання, годин. Прийmemo, що Φ дорівнює 170 годин;
 $K_{\text{п}}$ – коефіцієнт використання потужності; $K_{\text{п}}$ менше 1 та дорівнює 0,71.
 $K_{\text{д}}$ – коефіцієнт корисної дії, $K_{\text{д}}$ дорівнює 0,61.
Тоді витрати на електроенергію будуть дорівнювати:

$$V_e = \frac{V \cdot P \cdot \Phi \cdot K_{\text{п}}}{K_{\text{д}}} = \frac{3 \cdot 0,7 \cdot 170 \cdot 0,71}{0,61} = 415,52 \approx 416 \text{ (грн.)}$$

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:

$$V_{\text{інш}} = 0,5 \times 27417 = 13708,65 \approx 13709 \text{ (грн.)}$$

Сума всіх попередніх статей витрат складає витрати на виконання нашої роботи (безпосередньо розробником-магістрантом) – V .

$$V = 27417 + 2879 + 6665 + 1050 + 6000 + 416 + 13709 = 57720 \text{ (грн.)}$$

Загальні витрати на розробку та можливе впровадження розроблених нами комп'ютеризованих навчальних засобів $V_{\text{заг}}$ розраховуються за формулою:

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

де β – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання цієї роботи. Можна прийняти, що, β приблизно рівний 0,88 [56], оскільки робота майже повністю виконана і готова до можливого впровадження.

Тоді:

$$B_{\text{заг}} = \frac{57720}{0,9} = 64133,33 \text{ (грн)}$$

або приблизно 68 тисяч грн.

Тобто прогнозовані загальні витрати на розробку та можливе впровадження розроблених нами комп'ютеризованих навчальних засобів становлять приблизно 68 тисяч грн.

5.3 Розрахунок економічного ефекту від можливої комерціалізації нашої розробки

Економічний ефект від можливої комерціалізації розроблених нами комп'ютеризованих навчальних засобів пояснюється його значно кращими функціональними можливостями. Тому нашу розробку можна реалізовувати на ринку дещо дорожче, ніж аналогічні за функціями розробки. Так, якщо подібні за функціями розробки у 2022 році коштували на ринку приблизно 80 тис грн, то нашу розробку можна реалізовувати за 100 тисяч грн, або на 20 тисяч грн дорожче.

Аналіз місткості ринку даного продукту показує, що сьогодні в Україні кількість реальних користувачів подібних комп'ютеризованих навчальних засобів може складати приблизно 20 осіб щороку. Це різні навчальні заклади, наукові установи, підприємства, дослідні структури тощо. Оскільки наші комп'ютеризовані навчальні засоби мають значно кращі функціональні характеристики, то можна очікувати зростання попиту на нашу розробку принаймні протягом 4-х років після її впровадження.

Тобто, якщо наша розробка буде впроваджена з 1 січня 2023 року, то її

результати будуть виявлятися протягом 2023-го, 2024-го, 2025-го та 2026-го років.

Прогноз зростання попиту на нашу розробку складає по роках:

- 2023 р. – приблизно плюс 2 шт. до базового року;
- 2024 р. – плюс 5 шт. до базового року;
- 2025 р. – плюс 7 шт. до базового року;
- 2026 р. – плюс 10 шт. до базового року.

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

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta\Pi_0 \cdot N + \Pi_0 \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\nu}{100}\right) [\text{тис. грн.}], \quad (5.10)$$

де $\Delta\Pi_0$ – покращення основного якісного показника від впровадження результатів розробки у цьому році. Для нашого випадку це є збільшення ціни нових навчальних засобів на 20 тисяч грн.;

N – основний кількісний показник, який визначає обсяг діяльності у році до впровадження результатів розробки, N становить 20 шт.;

ΔN – покращення основного кількісного показника від впровадження результатів розробки. Таке покращення становитиме по роках, відповідно: плюс 2, плюс 5, плюс 7 та плюс 10 шт. (до базового 2022 року);

Π_0 – основний якісний показник, який визначає обсяг діяльності у році після впровадження результатів розробки, грн., Π_0 дорівнює 100 тисячі грн.;

n – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки; для нашого випадку n рівне 4;

λ – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість, λ дорівнює 0,8333;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати ρ в діапазоні (0,2...0,5), візьмемо ρ рівним 0,4;

ν – ставка податку на прибуток. У 2022-23 роках ν становить 18%.

Тоді можливе зростання чистого прибутку $\Delta\Pi_i$ для потенційного

інвестора протягом першого року від можливого впровадження нашої розробки (2023 р.) складе:

$$\Delta\Pi_1 = [20 \cdot 20 + 100 \cdot 2] \cdot 0,8333 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 204,99 \text{ (тис. грн.)}$$

Можливе зростання чистого прибутку $\Delta\Pi_2$ для потенційного інвестора від можливого впровадження нашої розробки протягом другого (2024 р.) року складе:

$$\Delta\Pi_2 = [20 \cdot 20 + 100 \cdot 5] \cdot 0,8333 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 307,48 \text{ (тис. грн.)}$$

Можливе зростання чистого прибутку $\Delta\Pi_3$ для потенційного інвестора від можливого впровадження нашої розробки протягом третього (2025 р.) року складе:

$$\Delta\Pi_3 = [20 \cdot 20 + 100 \cdot 7] \cdot 0,8333 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 375,82 \text{ (тис. грн.)}$$

Можливе зростання чистого прибутку $\Delta\Pi_4$ для потенційного інвестора від можливого впровадження нашої розробки протягом четвертого (2026 р.) року становитиме:

$$\Delta\Pi_4 = [20 \cdot 20 + 100 \cdot 10] \cdot 0,8333 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 478,31 \text{ (тис. грн.)}$$

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

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

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 рівний 4 роки;

τ – ставка дисконтування. Прийmemo τ рівним 0,10 (10%);

t – період часу від моменту початку розроблення навчальних засобів 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:

$$\text{ПП} = \frac{204,99}{(1+0,1)^1} + \frac{307,48}{(1+0,1)^2} + \frac{375,82}{(1+0,1)^3} + \frac{478,31}{(1+0,1)^4} =$$

$$= 186,35 + 254,11 + 282,40 + 326,69 = 1049,46 \approx 1050 \text{ (тис. грн.)}.$$

Теперішня вартість інвестицій PV, що повинні бути вкладені для реалізації нашої розробки:

$$PV = (1,5 \dots 5) \times B_{\text{заг.}} \text{ [тис. грн.]} \quad (5.12)$$

Для нашого випадку:

$$PV = (1,0 \dots 5) \times 65 = 3 \times 65 = 195 \text{ (тис. грн.)}.$$

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

$$E_{\text{абс.}} = \text{ПП} - PV \text{ [тис. грн.]} \quad (5.13)$$

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

PV – теперішня вартість інвестицій, PV дорівнює 195 тис. грн.

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

$$E_{abc} = 1050 - 195 = 855 \text{ (тис. грн.)}.$$

Оскільки E_{abc} більше 0, то комерціалізація нашої розробки може бути доцільною.

Далі розрахуємо внутрішню дохідність E_v вкладених інвестицій:

$$E_v = \sqrt[T_{ж}]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1 [\%], \quad (5.14)$$

де E_{abc} – абсолютний ефект вкладених інвестицій, E_{abc} дорівнює 1063 тис. грн;

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, PV дорівнює 170 тис. грн;

$T_{ж}$ – життєвий цикл розробки, роки. $T_{ж}$ дорівнює 5 років (2022-й, 2023-й, 2024-й, 2025-й, 2026-й роки)

Для нашого випадку отримаємо:

$$E_v = \sqrt[5]{1 + \frac{855}{195}} - 1 = \sqrt[5]{1 + 4,3846} - 1 = \sqrt[5]{5,3846} - 1 = 1,42 - 1 = 0,42 = 42,0(\%).$$

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 τ_{\min} визначається за формулою:

$$\tau_{\min} = d + f, \quad (5.15)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках,

в 2022 році в Україні d становить $(0,10...0,12)$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладень, f становить $(0,05...0,30)$.

Для нашого випадку отримаємо:

$$\tau_{\text{мін}} = 0,10 + 0,25 = 0,35,$$

або $\tau_{\text{мін}}$ дорівнює 35%.

Оскільки величина E_B дорівнює 42,0% , що більше $\tau_{\text{мін}}$, яка дорівнює 35%, то потенційний інвестор у принципі може бути зацікавлений у фінансуванні та комерціалізації розроблених нами комп'ютеризованих навчальних засобів.

Далі розраховуємо термін окупності коштів, вкладених у можливу комерціалізацію розроблених нами комп'ютеризованих навчальних засобів.

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

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{E_B} [\text{років}]. \quad (5.16)$$

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

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{0,42} = 2,38 \text{ (років)},$$

що менше 3 років і свідчить про потенційну доцільність комерціалізації розроблених нами комп'ютеризованих навчальних засобів.

Далі проведено моделювання залежності величини внутрішньої дохідності вкладених інвестицій від рівня інфляції в країні. Як відомо, на наступний 2023 рік прогнозується рівень інфляції у 30%, що обумовлюється військовою агресією росії проти України. Тоді:

$$\text{ПП} = \frac{204,99}{(1+0,3)^1} + \frac{307,48}{(1+0,3)^2} + \frac{375,82}{(1+0,3)^3} + \frac{478,31}{(1+0,3)^4} =$$

$$= 157,68 + 181,94 + 171,06 + 167,50 = 678,18 \approx 679 \text{ (тис. грн.)}.$$

Тоді абсолютний ефект від можливого впровадження нашої розробки за чотири роки складе:

$$E_{\text{абс}} = 679 - 195 = 484 \text{ (тис. грн.)}.$$

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

$$E_{\text{в}} = \sqrt[5]{1 + \frac{E_{\text{абс}}}{PV}} - 1 [\%], \quad (5.17)$$

де $E_{\text{абс}}$ – абсолютний ефект вкладених інвестицій, $E_{\text{абс}}$ дорівнює 484 тисяч грн;

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, PV дорівнює 195 тисяч грн.

Для нашого випадку отримаємо:

$$E_{\text{в}} = \sqrt[5]{1 + \frac{484}{195}} - 1 = \sqrt[5]{1 + 2,4820} - 1 = \sqrt[5]{3,4820} - 1 = 1,283 - 1 = 0,283 = 28,3(\%).$$

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

Аналіз графіка 5.1 показує, що оскільки при рівні інфляції в 30% величина внутрішньої дохідності інвестицій становить 28,3% , що більше $\tau_{\text{мін}}$, яке дорівнює 35%, то у потенційного інвестора можуть виникнути сумніви у подальшій комерціалізації розроблених нами комп'ютеризованих навчальних засобів. Для прийняття остаточного рішення потрібні додаткові обґрунтування.

Таким чином, основні техніко-економічні показники розроблених нами комп'ютеризованих навчальних засобів, визначені у технічному завданні, виконані.

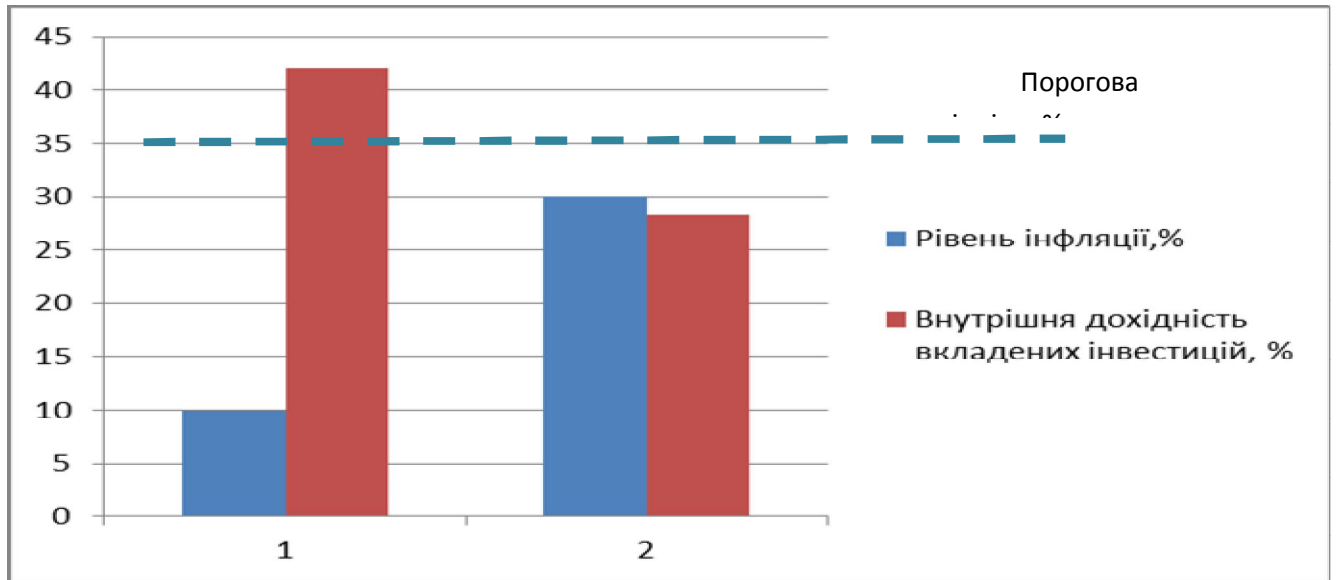


Рисунок 5.1 – Моделювання залежності величини внутрішньої дохідності потенційних інвестицій від рівня інфляції в країні («1» – 10% інфляція; «2» – 30% інфляція)

ВИСНОВКИ

В результаті виконання розділу 1 магістерської кваліфікаційної роботи був проведений огляд основних напрямків цифрової трансформації сучасного промислового виробництва, яка здійснюється з метою впровадження ідей четвертої промислової революції «Індустрія 4.0». Для подальшого обґрунтування загальної архітектури нових навчальних засобів дослідження студентами процесу цифрової трансформації була досліджена існуюча в комп'ютеризованій навчальній лабораторії реалізація технологічних процесів промислового складу в рамках «віртуального виробництва» уявної хімічної продукції. Досліджена предметна область цифрової трансформації аналогічних технологічних процесів, та намічені ті її напрями, які можуть досліджуватися на нових навчальних засобах. Розроблена загальна архітектура нових комп'ютеризованих навчальних засобів, яка відображає і складові їх частини, і основні стадії виконання досліджень.

В результаті виконання дослідницьких та проектних робіт у розділі 2 магістерської кваліфікаційної роботи була обґрунтована діаграма станів процесу виконання стадії «Моделювання існуючого автоматизованого ТП», який виконує і студент, і викладач, в ході дослідження цифрової трансформації ТП промислового складу. Зроблений огляд та наведені приклади основних комп'ютерних моделей, що має розробляти викладач для навчально-методичного забезпечення навчального дослідження. Зроблений огляд та наведені приклади комп'ютерних моделей, що має розробляти студент в ході цього ж навчального дослідження.

В подальшому на основі цих комп'ютерних моделей студент зможе якісно виконати наступну стадію цифрової трансформації існуючих в лабораторії ТП промислового складу.

В результаті виконання дослідницьких та проектних робіт у розділі 3 магістерської кваліфікаційної роботи було сформоване загальне бачення процесу виконання стадії «Аналіз реального автоматизованого ТП» при дослідженні цифрової трансформації ТП промислового складу. На основі цього бачення був

розроблений деталізований алгоритм виконання робіт студентом та викладачем в рамках даної стадії навчального дослідження. Для пояснення практичного виконання такого алгоритму наведений приклад процесу виконання аналізу існуючого АТП та виявлення його недоліків у порівнянні з властивостями/ознаками «розумного виробництва» І4.0.

В результаті виконання дослідницьких та проектних робіт у розділі 4 магістерської кваліфікаційної роботи була обґрунтована діаграма станів процесу виконання заключної стадії навчального дослідження цифрової трансформації АТП промислового складу, який виконує студент і викладач. На основі запропонованого методу онтологічного дослідження предметної області промислової автоматизації І4.0 була побудована її концептуальна модель та означені способи її використання для цифрової трансформації АТП промислового складу. В якості прикладів результатів, які студенти можуть отримати в ході навчального дослідження, був розроблений ескізний проєкт початкової цифрової трансформації даного АТП , а також концепція його поглибленої цифрової трансформації.

В економічному розділі магістерської кваліфікаційної роботи доведена висока економічна ефективність можливого впровадження нових комп'ютеризованих навчальних засобів у вузах України.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Трехмерная эталонная архитектурная модель RAMI 4.0 [Электронный ресурс] . – Режим доступа : <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/ru>.
2. 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.
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 (URL: <https://oeipt.vntu.edu.ua/index.php/oeipt/article/download/571/545/632>).
5. 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>).
6. Вы готовы к производственной среде будущего? [Электронная книга] : Dassault Systemes : The 3DEXPERIENCE Company [Электронный ресурс] . URL: <https://ifwe.3ds.com/>.
7. Лабораторна модель автоматизованого цехового складу (обслуговуючий технічний процес) / Укладач: Папінов В.М. – Вінниця, ВНТУ, 2020. – 28 с.
8. Welcome to the Future: Technology 4.0 enabled automated warehouse [Электронный ресурс]. URL: <https://youtu.be/pqqjss4Px3w..>
9. Интеллектуальные складские и логистические технологии роботов - автоматизация следующего уровня [Электронный ресурс]. URL:

<https://youtu.be/smilviq8tv0>.

10. Современные складские технологии для автоматизации следующего уровня [Электронный ресурс]. URL: <https://youtu.be/l3xi2tamf6A>.

11. Пшеничников В. Роль радиочастотной идентификации в цифровизации производственных процессов [Электронный ресурс]. URL: <https://controlengrussia.com/rfid/promyshlennaja-identifikacija/>.

12. Amazon Fulfillment Center Tour with AWS [Электронный ресурс]. URL: <https://youtu.be/8nKPC-WmLjU>.

13. Collecting Industrial IoT Sensor Data through U-CON [Электронный ресурс]. URL: <https://youtu.be/xq6LZlIjSLE>.

14. Собираем простейшую ZigBee-сеть, программируем под Mbed, общаемся через MQTT [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/company/samsung/blog/497200/>.

15. Клос О.П. Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення цифрової трансформації технологічних процесів промислового складу / О.П. Клос, В. М. Папінов / Матеріали 51-ої Науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ) [Электронный ресурс]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2022/paper/view/14853/12588>.

16. Зшивальников Д. Приоритетные направления неоиндустриального развития // Современные технологи автоматизации. – 2018. - №.2. – С.8-15.

17. Автоматизация процессов: учебный курс [Электронный ресурс]. URL: <http://opiobjektid.tptlive.ee/Automatiseerimine/index.html>.

18. Автоматизация производства [Электронный ресурс]. URL: http://opiobjektid.tptlive.ee/Automatiseerimine/4__.html.

19. Технологический процесс [Электронный ресурс]. URL: http://opiobjektid.tptlive.ee/Automatiseerimine/3__.html.

20. REAP - RFID [Электронный ресурс] : Enterprise Application Platform. URL: <https://youtu.be/jdr5gFMM4Ls>.

21. An IIoT based Smart Robotic Warehouse Management System for Industry 4.0 [Электронный ресурс]. URL: <https://youtu.be/1-o6tBhEHOU>.

22. Широков Ю. Интеллектуальные решения ИЕИ для производства // Современные технологии автоматизации. – 2020. - №1. – С.68-75.
23. Digital Transformation in the Manufacturing Industry [Электронный ресурс]. URL: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=U0FjPgF5ZsA/>
24. Фаулер М., Скотт К. UML: основы.: Пер. с англ. СПб.: Символ-Плюс, 2002. 192 с.
25. 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.
26. 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.
27. Implementing Industrie 4.0: This is how it works! [Электронный ресурс]: Festo Corporate. URL : <https://youtube/ZCLHojIj7eA>.
28. MBSE for Dummies: Rethinking your systems engineering approach [Электронный ресурс]. URL : <https://youtu.be/KR6bb8HRzzc>.
29. Папінов В.М. Організація віртуального виробництва в лабораторії 5303 [Электронный ресурс]. URL : https://iq.vntu.edu.ua/b04213/html/nlr/nlr.php?card_id=41175&id=960&renum=1.
30. Папінов В.М. Лабораторне завдання для роботи №4 на тему «Вивчення лабораторної імітації інтегрованої АСУ виробництвом» [Электронный ресурс]. URL : https://iq.vntu.edu.ua/b04213/html/nlr/nlr.php?card_id=41175&id=960&renum=1.
31. Visio: Працюйте з графічним представленням даних, де і коли вам потрібно [Электронный ресурс]. URL : <https://www.microsoft.com/uk-ua/microsoft-365/visio/flowchart-software>.
32. Batch Control. Part 1: Models and Terminology: ANSI/ISA-88.00.02-2001. - [Чинний від 2010–01–01]. – USA: International Society of Automation.
33. Colin Koh. The Smart Factory – 6 Key Principles You Should Achieve //

URL: https://www.precicon.com.sg/industry_4_0/6-principles-of-a-smart-factory .

34. Вы готовы к производственной среде будущего? (Are you ready for future of manufacturing?) [Электронная книга] / URL: www.3ds.com .

35. Индустрия 4.0: як скористатися новими технологіями // Современные технологии автоматизации. – 2021. – №3. – С. 6-9.

36. Гурьянова А.В. и др. Организация цифровых производств Индустрии 4.0 на основе киберфизических систем и онтологий / А.В. Гурьянова, Д.А. Заколдаев, А.В. Шукалова, И.О. Жаринова, М.О. Костишина // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2018. – Т. 18. – № 2. – С. 268 – 277.

37. Hwang G., Lee J., Park J., Chang T.-W. Developing performance measurement system for Internet of Things and smart factory environment // International Journal of Production Research. 2017. V. 55. N 9. P. 2590–2602. doi: 10.1080/00207543.2016.1245883.

38. Qu T., Thurer M., Wang J., Wang Z., Fu H., Li C. System dynamics analysis for an Internet-of-Things-enabled production logistics system // International Journal of Production Research. 2017. V. 55. N 9. P. 2622–2649. doi: 10.1080/00207543.2016.1173738.

39. Vogel-Heuser B., Rosch S., Fischer J., Simon Th., Ulewicz S., Folmer J. Fault handling in PLC-based Industry 4.0 automated production systems as a basis for restart and self-configuration and its evaluation // Journal of Software Engineering and Applications. 2016. V. 9. N 1. P. 1–43. doi: 10.4236/jsea.2016.91001.

40. Reference Models for Digital Manufacturing Platforms/ Francisco Fraile, Raquel Sanchis, Raul Poler, Angel Ortiz// MDPI: Appl. Sci. 2019, 9, 4433; doi:10.3390/app9204433 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.mdpi.com/journal/applsci.

41. Peter Adolphs. RAMI 4.0: An architectural Model for Industrie 4.0/URL: www.plattform-i40.de.

42. Трехмерная эталонная архитектурная модель RAMI 4.0 / URL: https://www.phoenixcontact.com/online/portal/ru?ldmy&urile=wcm:path:/ruru/web/offcontext/insite_landing_pages/1323f37f-e566-4009-8645-661c715cea23/6ddf5dfb-dbc

47c8-8f1a-dc915d263cd3/605016fb-ed97-4b22-a6fb-de1f93556226/605016fb-ed97-4b22-a6fb-de1f93556226

43. Система управления жизненным циклом создает условия инвестиционной безопасности для производителей и пользователей / URL: (https://www.phoenixcontact.com/online/portal/ru?1dmy&urile=wcm%3apath%3a/ruru/web/offcontext/insite_landing_pages/1323f37f-e566-4009-8645-661c715cea23/6ddf5dfb-dbc9-47c8-8f1a-dc915d263cd3/e3a1dea8-20e3-4e25-a3ba-f9836a1c99a8/e3a1dea8-20e3-4e25-a3ba-f9836a1c99a8).

44. 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.

45. Черняк Л. Киберфизические системы на старте [Электронный ресурс]: Открытые системы. – 2014. - №2. URL : <https://www.osp.ru/os/2014/02/13040038/>.

46. Пирогов М.А. ThingWorx – платформа разработки эффективных решений по цифровой трансформации сельского хозяйства [Электронный ресурс]. URL : <http://events.agbz.ru/>.

47. Офіційний сайт Kerware Technologies [Электронный ресурс]. URL : www.kerware.com.

48. Офіційний сайт Kerware Technologies [Электронный ресурс]. URL : www.kerware.com.

49. Industrial Connectivity [Электронный ресурс] : Kerware Technologies. URL : <https://www.kerware.com/products/kepserverex/>.

50. Advanced Tags [Электронный ресурс] : Kerware Technologies. URL : <https://www.kerware.com/products/kepserverex/advanced-plug-ins/advanced-tags>.

51. Пупена О.М., Ельперін І.В., Луцька Н.М., Ладанюк А.П. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навчальний посібник. – К. : «Ліра-К», 2011. – 552 с.

52. What is RFID? How RFID works? [Электронный ресурс]. URL : <https://youtu.be/Ukfpq71BoMo>.

53. RFID basics [Электронный ресурс]. URL : <https://m.youtube.com/>

watch?v=um8HZlPED-k.

54. Що таке система RFID, в чому її особливості використання? [Електронний ресурс] : ID CARD. URL : <https://idcard.com.ua/ua/blog/что-такое-sistema-rfid-v-chem-ee-osobennosti-ispolzovaniya/>.

55. RFID технологія для автоматизації обліку [Електронний ресурс]. URL: <https://remonline.ua/blog/rfid-technology/>.

56. 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

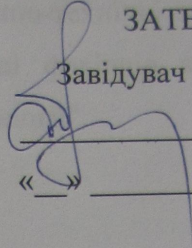
177

ДОДАТОК А
(обов'язковий)

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

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри АІТ


Бісікало О.В.

« » _____ 2022 р.

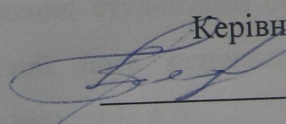
ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на науково-дослідну роботу

«Розробка навчальних засобів дослідження цифрової трансформації
технологічних процесів промислового складу»


08-02.МКР.003.00.000 ТЗ

Керівник роботи:


доц. Коцюбинський В.Ю.

« » _____ 2022 р.

Виконавець: студент гр. 1АКІТ-21м


Клос О.П.

«12» 12 2022 р.

Вінниця – 2022 рік

1 Назва і галузь застосування

Навчальні засоби (НЗ) для дослідження цифрової трансформації технологічних процесів промислового складу.

НЗ будуть використовуватися як програмно-технічні засоби навчання при підготовці у вищому навчальному закладі фахівців зі спеціальності "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології".

2 Підстава для виконання НДР

Робота виконується на підставі наказу по університету №___ від _____ 2022 р. та індивідуального завдання, складеного та затвердженого кафедрою АІТ ВНТУ.

3 Мета та призначення НДР

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є створення на основі існуючого інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне виробництво» НЗ для дослідження студентами спеціальності 151 методів та засобів цифрової трансформації його основного технологічного процесу дозування в рамках концепції «Індустрія 4.0» ..

НЗ призначені для забезпечення практикумів професійних дисциплін "Кіберфізичні системи автоматизації виробництва" (4 курс бакалаврської підготовки) та "Промисловий Інтернет речей" (1 курс магістерської підготовки).

Використання НЗ дозволяє 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 сформуванню у студента відповідні професійно-орієнтовані практичні уміння та навички проектування.

4 Джерела НДР

Джерелами розробки є такі:

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 НДР

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

інтегрованих технологій. Такий об'єкт досліджень зазвичай вивчається в рамках наукової дисципліни "Інженерна педагогіка".

Предметом досліджень є підвищення ефективності вивчення студентами методів та засобів цифрової трансформації існуючого технологічного процесу у технологічний процес «розумного» цифрового виробництва за рахунок використання в лабораторному практикумі нових НЗ.

Задачі, що вирішуються в ході НДР:

1. Детальне вивчення існуючої реалізації інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне виробництво».

2. Дослідження методів та засобів цифрової трансформації існуючого виробництва у перспективне «розумне» цифрове виробництво.

3. Техніко-економічне та науково-технічне обґрунтування загального бачення нових НЗ.

4. Розробка технічного завдання на науково-дослідну роботу.

5. Проектування програмно-технічного забезпечення нових НЗ.

6. Розробка навчально-методичного забезпечення нових НЗ.

Нові НЗ мають будуватися за загальною архітектурою, що описана в розділі 1 та показана на рисунку 1.29. Ця архітектура будується на основі таких моделей, існуючих в лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка» ФПТА,:

- на гібридній моделі технологічних процесів (ТП) промислового складу;
- на організаційній моделі «віртуального виробництва»;
- на програмно-технічній імітаційній моделі інтегрованої автоматизованої системи управління (ІАСУ) «віртуальним виробництвом» в цілому та окремими його технологічними процесами.

Загальна архітектура НЗ відображає послідовність практичного вивчення студентом усіх основних стадій процесу цифрової трансформації існуючого автоматизованого ТП промислового складу, який моделюється в лабораторії, у аналогічний ТП реального «розумного» виробництва, що функціонує в рамках концепції «Індустрія 4.0».

Перша стадія дослідження студентом процесу цифрової трансформації має

складатися з двох таких етапів:

- формування у студента вихідного уявлення про можливу реалізацію даного автоматизованого ТП на реальному виробничому підприємстві (виконується студентом у вигляді самостійного дослідження предметної області та отримання необхідних консультацій від викладача);

- додаткове комп'ютерне моделювання статичної та динамічної автоматизованого ТП з метою формування деталізованого уявлення щодо його можливої реалізації на реальному виробничому підприємстві (застосовуються як наявні локальні програмні засоби моделювання, так і доступні хмарні сервіси цифрового моделювання; моделювання здійснюється як студентом за індивідуальним завданням в рамках окремих професійних дисциплін або проєктного практикуму, так і викладачем при підготовці навчально-методичних матеріалів цих професійних дисциплін або проєктного практикуму).

Друга стадія дослідження студентом процесу цифрової трансформації існуючого автоматизованого ТП передбачає виконання таких етапів:

- дослідження комп'ютерних моделей існуючого автоматизованого ТП, розроблених на попередній стадії, з метою визначення тих основних його недоліків, які в подальшому можна буде усунути шляхом цифрової трансформації у ТП «розумного» виробництва (наприкінці етапу необхідно, щоб студент або викладач вибрав один зі знайдених основних недоліків для продовження практичного вивчення студентом процесу цифрової трансформації);

- пошук способу вдосконалення існуючого автоматизованого ТП, який призведе до усунення вибраного основного його недоліку (студент може виконувати пошук за участі викладача, який надає при цьому додаткові консультації та роз'яснення).

- пошук способу вдосконалення існуючого автоматизованого ТП за рахунок впровадження сучасних цифрових технологій, які лежать в основі «розумного» виробництва в рамках концепції «Індустрія 4.0» (виконується студентом з використанням доступних інформаційних ресурсів Інтернет та навчально-методичними матеріалами, наданих викладачем).

Третя стадія дослідження студентом процесу цифрової трансформації існуючого автоматизованого ТП включає пошук та обґрунтований вибір тієї сучасної цифрової технології або технологій в рамках концепції «Індустрія 4.0», які дозволять реалізувати намічене вдосконалення існуючого автоматизованого ТП (виконується студентом з використанням доступних інформаційних ресурсів Інтернет та навчально-методичних матеріалів, наданих викладачем).

Четверта стадія дослідження студентом процесу цифрової трансформації існуючого автоматизованого ТП пов'язана з розробкою концепції його цифрової трансформації (використовуються як доступні хмарні сервіси цифрового моделювання, так і наявні локальні програмні засоби моделювання; результатом виконання даної стадії є готовий проєкт концептуального рішення цифрової трансформації).

П'ята стадія дослідження студентом процесу цифрової трансформації існуючого автоматизованого ТП пов'язана з розробкою ескізного проєкту його цифрової трансформації (характеризується більшою деталізацією проєктних рішень і передбачає активне використання студентом як доступних хмарних сервісів цифрового моделювання, так і наявних програмних засобів моделювання; проєкт може бути представлений, наприклад, у вигляді відповідної цифрової моделі або на комп'ютері лабораторії, або на доступному хмарному сервісі цифрового моделювання).

НЗ повинні 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 Економічно-технічні показники НДР

До основних економічних показників розробки треба віднести такі:

- термін окупності інвестицій до 3 років;
- витрати на розробку навчального засобу, тис. грн.. – до 70,0 ;
- абсолютний ефект від впровадження, тис. грн.. – не менше 1000,0;
- внутрішня дохідність інвестицій, % – не менше 40 ;

7 Стадії НДР

7.1. Етап «Науково-технічне та техніко-економічне обґрунтування роботи» та розробка технічного завдання має бути виконаний до 26.09.22 р.

7.2. Етап «Проектування стадії «Моделювання існуючого автоматизованого ТП»» має бути виконаний до 21.10.22 р.

7.3. Етап «Проектування стадії «Аналіз реального автоматизованого ТП»» має бути виконаний до 11.11.22 р.

7.4. Етап «Проектування та реалізація заключної стадії практичного вивчення цифрової трансформації» має бути виконаний до 02.12.22 р.

7.5. Етап «Економічний розділ» має бути виконаний до 02.12.22 р.

8 Порядок контролю та приймання НДР

8.1 Рубіжний контроль – 02.12.22 р.

8.2 Попередній захист – 12.12.22 р.

8.3 Захист роботи – в період з 16.12.22 р. по 30.12.22 р. за графіком, встановленим кафедрою АІТ.

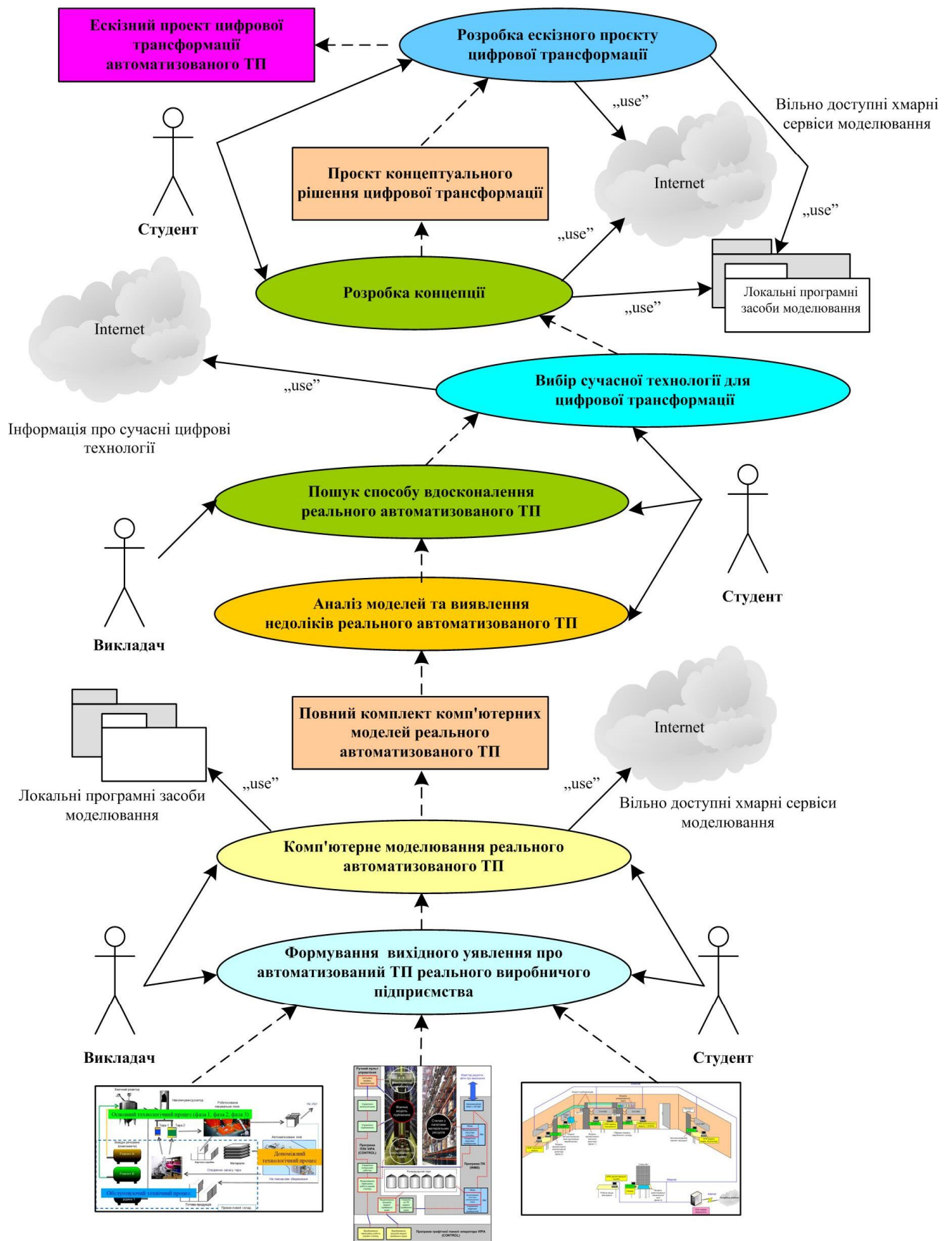
ДОДАТОК Б

(обов'язковий)

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

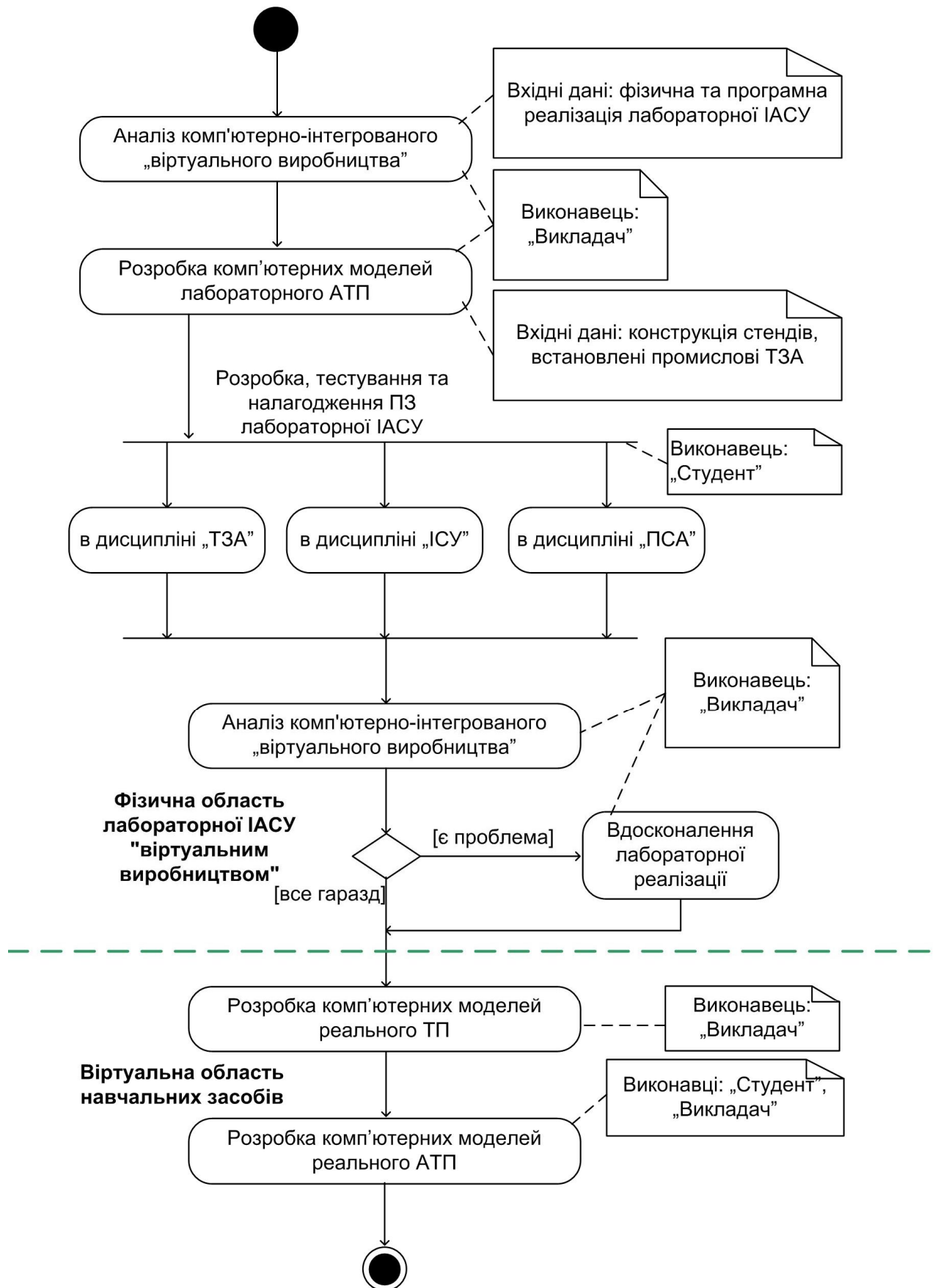
**РОЗРОБКА НАВЧАЛЬНИХ ЗАСОБІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВОЇ
ТРАНСФОРМАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВОГО СКЛАДУ**

ЗАГАЛЬНА АРХІТЕКТУРА НАВЧАЛЬНИХ ЗАСОБІВ



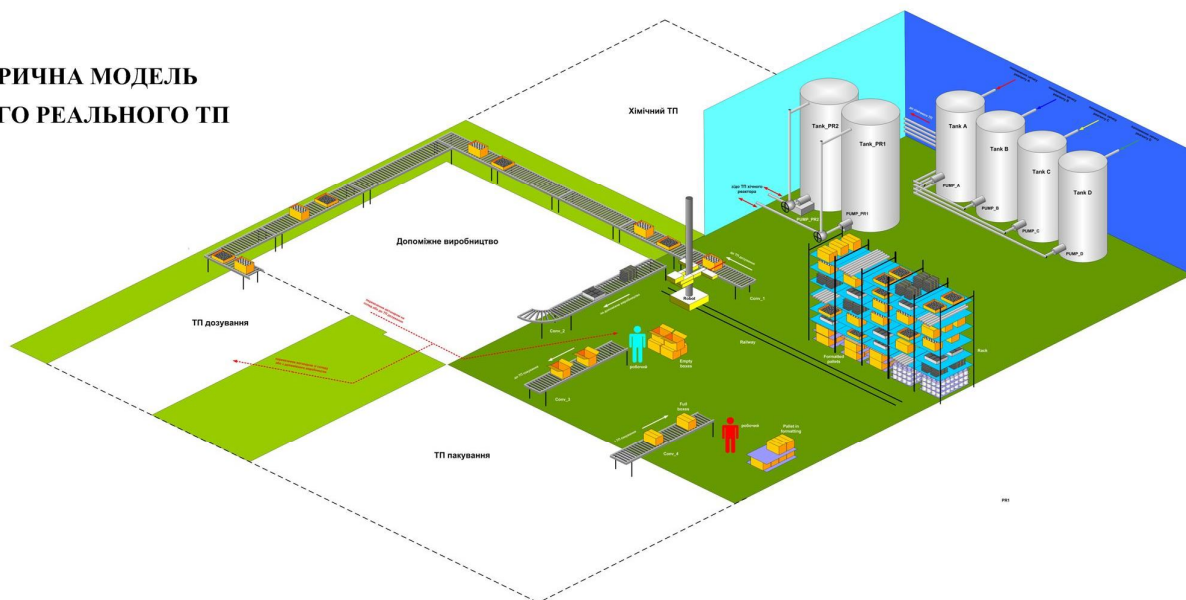
Фізична та програмна реалізація лабораторної ІАСУ технологічним процесом „віртуального виробництва”

ДІАГРАМА СТАНІВ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ „МОДЕЛЮВАННЯ ІСНУЮЧОГО АТП”

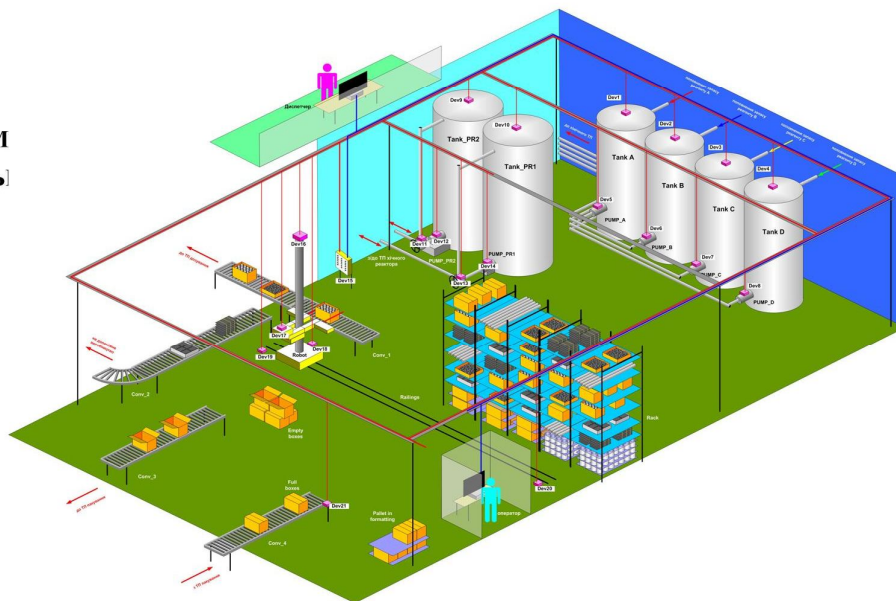


МОДЕЛЮВАННЯ ІСНУЮЧОГО РЕАЛЬНОГО АТП

ІЗОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ
ІСНУЮЧОГО РЕАЛЬНОГО ТП

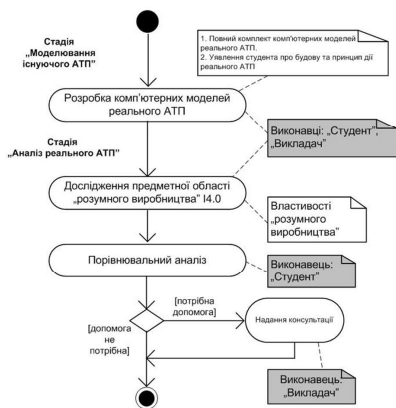


ІЗОМЕТРИЧНА М
ІСНУЮЧОГО РЕАЛЬ

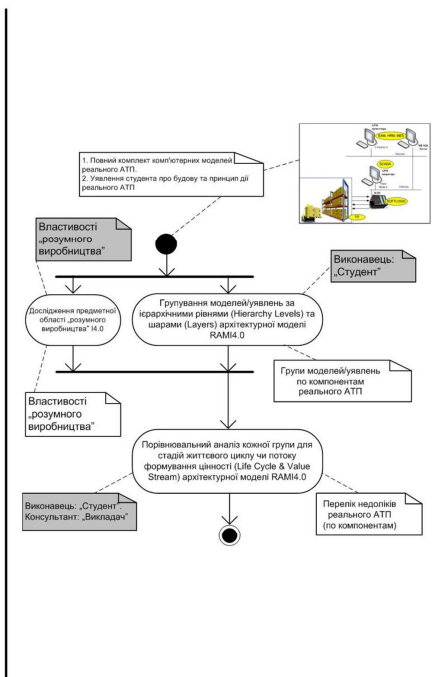


ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ "АНАЛІЗ РЕАЛЬНОГО АТП"

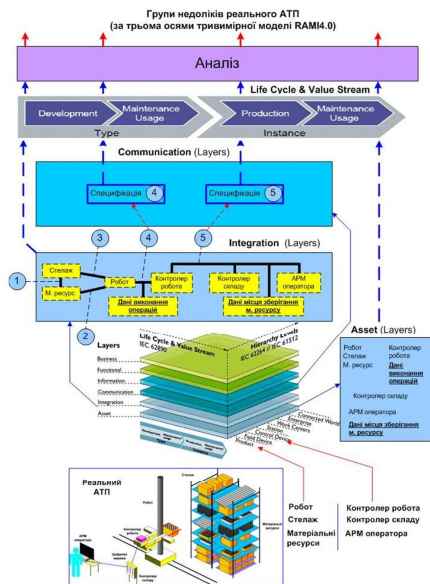
ЗАГАЛЬНЕ БАЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ



АЛГОРИТМ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ



ПРИКЛАД ПРАКТИЧНОГО ВИКОНАННЯ СТАДІЇ



ПРОЄКТ АРХІТЕКТУРИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АТП ДЛЯ І4.0

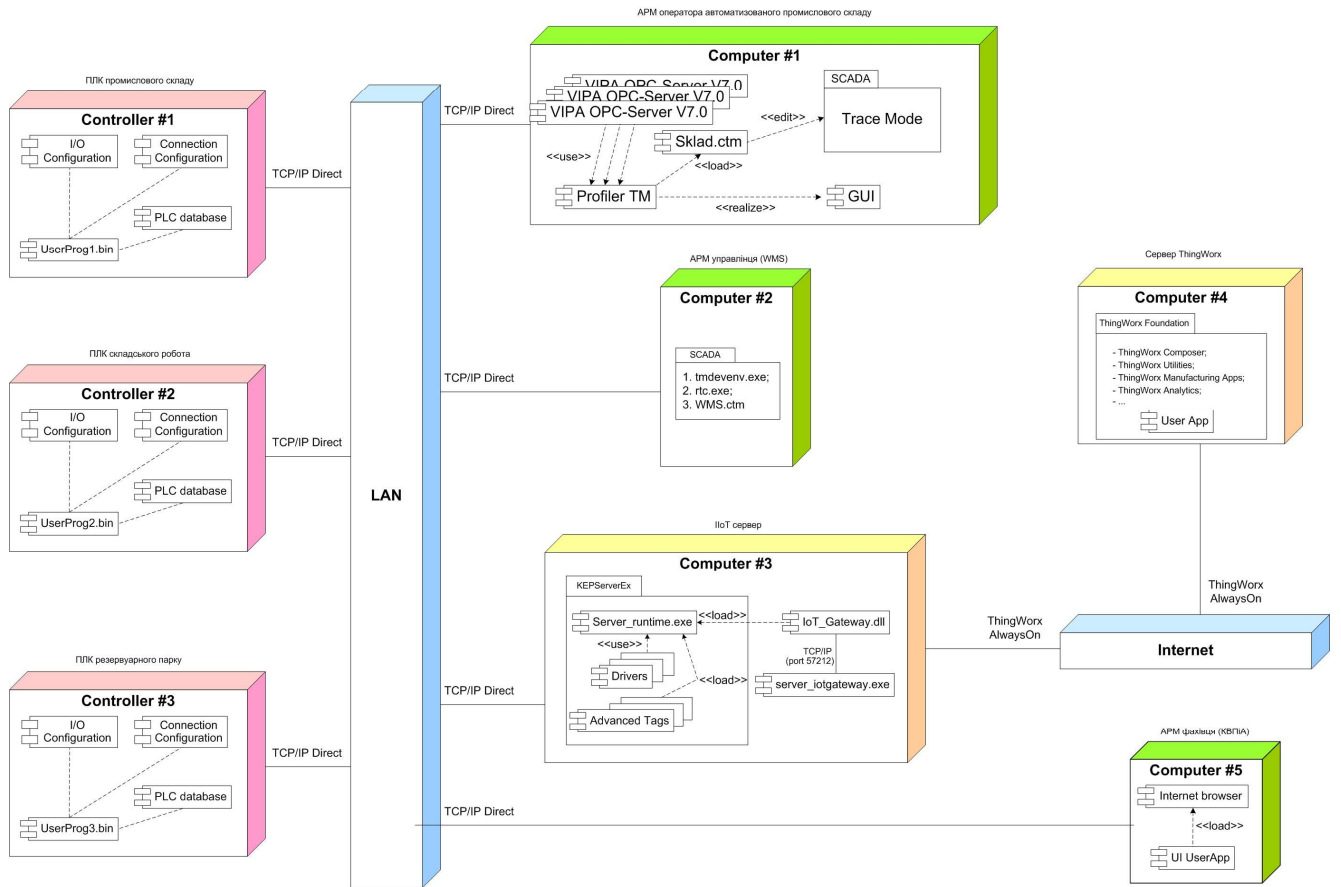
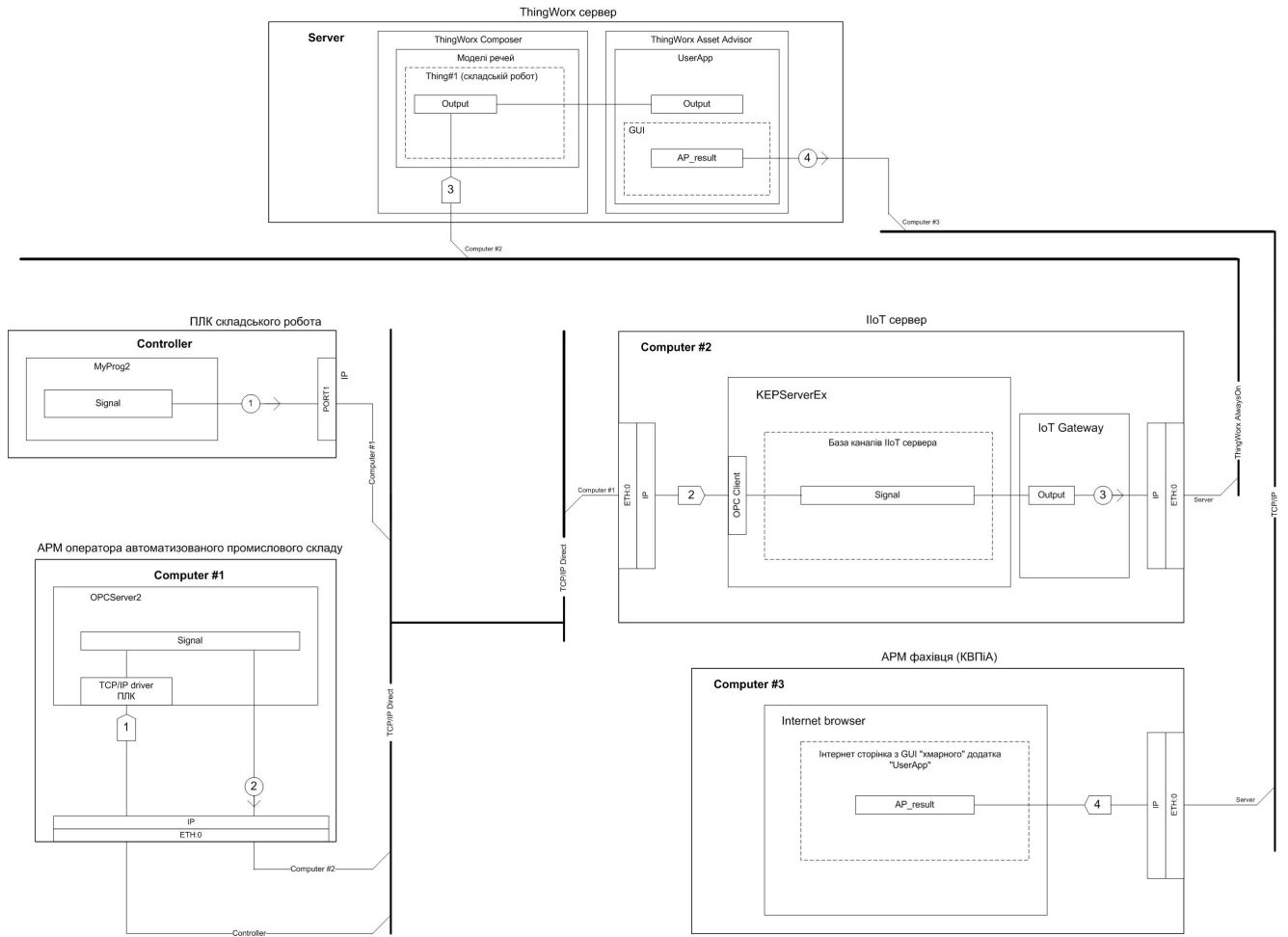


СХЕМА МЕРЕЖНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ АТП ДЛЯ І4.0



ДОДАТОК В
(довідковий)

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ
НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ**

Назва роботи: *Магістерська кваліфікаційна робота*
«Розробка навчальних засобів дослідження цифрової трансформації
технологічних процесів промислового складу»

Тип роботи: кваліфікаційна робота
(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше – зазначити)

Підрозділ: кафедра АІТ, ФКСА, 1АКІТ-21м
(кафедра, факультет, навчальна група)

Науковий керівник: Коцюбинський В.Ю., доц. каф. АІТ
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

<i>Plagiat.pl (StrikePlagiarism)</i>		<i>Unicheck</i>	
КП1	-	Оригінальність	98.1%
КП2	-		
Тривога/Білі знаки	/	Схожість	1.9%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

X Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи (додається)

Автор _____ Клос О.П.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення: Допустити до захисту

Особа, відповідальна за перевірку _____ Маслій Р.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)