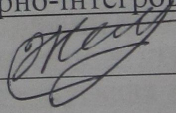


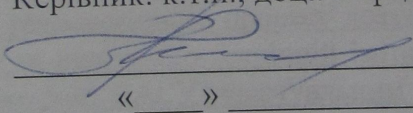
Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:
**«Розробка навчальних засобів дослідження цифрової трансформації
технологічного процесу дозування»**

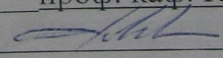
Виконав: студент 2 курсу, групи 1АКІТ-21
спеціальності 151 – «Автоматизація
комп'ютерно-інтегровані технології»


Жарков А.В.

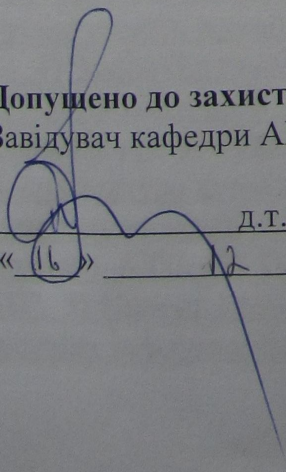
Керівник: к.т.н., доц.. кафедри АІТ


Коцюбинський В.І.
« ____ » _____ 2022 р.

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


« ____ » _____ 2022 р.

Допущено до захисту
завідувач кафедри АІТ


д.т.н., проф. Бісікало О.В.
« 16 » _____ 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 АІТ

д.т.н., професор

О.В. Бісікало

“ 17 ” 09 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

Жаркова Анатолія Володимировича

Тема роботи Розробка навчальних засобів дослідження цифрової трансформації технологічного процесу дозування

Рівень роботи Коцюбинський Володимир Юрійович, к.т.н., доцент

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

Затверджені наказом ВНТУ № 203 від 14.09.2022р

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 проектних 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 проектування цифрової трансформації реальних технологічних процесів; КНЗ повинен будуватися на основі трьох існуючих лабораторних моделей: фізичній моделі технологічного процесу дозування, організаційній моделі «віртуального виробництва» та програмно-технічній імітаційній моделі інтегрованої автоматизованої системи управління (ІАСУ) «віртуальним виробництвом» в цілому та окремими його технологічними процесами.

Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно дослідити)

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

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

1) Архітектура комп'ютеризованого навчального засобу. 2) Проектування процесу виконання стадії «Моделювання існуючого АТП». 3) Моделювання існуючого реального АТП. 4) Проектування процесу виконання стадії "Аналіз реального АТП". 5) Проект архітектури програмного забезпечення АТП для I4.0. 6). Схематичних 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 АІТ		 12.12.22
Економічний розділ	Козловський В.О., к.е.н., професор кафедри ЕПВМ	 22.09.22 р	 18.12.22

7. Дата видачі завдання

17.09.22р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів дослідження	Строк виконання етапів	Прим
1. Науково-технічне та техніко-економічне обґрунтування роботи.	26.09.22 р.	
2. Розробка технічного завдання на науково-дослідну роботу	26.09.22 р.	
3. Проектування стадії «Моделювання існуючого автоматизованого ТП»	21.10.22 р.	
4. Проектування стадії «Аналіз реального автоматизованого ТП»	11.11.22 р.	
5. Проектування та реалізація заключної стадії практичного вивчення цифрової трансформації	02.12.22 р.	
6. Економічний розділ	02.12.22 р.	
7. Оформлення пояснювальної записки	12.12.22 р.	
8. захист роботи	з 19.12.22 р. по 30.12.22 р.	

Студент

(підпис)

Жарков А.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Коцюбинський В.К.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 378.162+681.51

Жарков А.В. Розробка навчальних засобів дослідження цифрової трансформації технологічного процесу дозування. Вінниця: ВНТУ, 2022. ____ с.

На укр. мові. Бібліогр.: 45 назв; рис.: ____; табл. ____.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблені комп'ютеризовані навчальні засоби дослідження цифрової трансформації технологічного процесу дозування. 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 існуючого автоматизованого технологічного процесу дозування.

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, методика навчального дослідження, комп'ютеризована навчальна лабораторія.

ABSTRACT

Zharkov A.V. Development of educational means for researching a digital transformation of the technological process of dosing. Vinnitsa: BHTY, 2022. ___ p

In the master's thesis the computerized educational means for educational exploring a digital transformation of the technological process of dosing 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 technological process of dosing.

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) Жаркова Анатолія Володимировича
на тему Розробка навчальних засобів дослідження цифрової трансформації
технологічного процесу дозування.

Актуальність наукових досліджень Жаркова А.В. 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 регіональної науково-практичної Інтернет-

конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (Вінниця, ВНТУ, 2022 р.) та у матеріалах щорічної НТК викладачів та студентів ВНТУ (Вінниця, ВНТУ, 2022 р.).

Сам магістрант Жарков А.В. 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 Жаркова А.В. 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) Жаркова Анатолія Володимировича
на тему Розробка навчальних засобів дослідження цифрової трансформації технологічного процесу дозування.

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 регіональної науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (Вінниця, ВНТУ, 2022 р.) та у матеріалах щорічної НТК викладачів та студентів ВНТУ (Вінниця, ВНТУ, 2022 р.).

До недоліків магістерської кваліфікаційної роботи слід віднести:

– в роботі занадто багато місця відведено для оглядового матеріалу, що і призвело до значного збільшення її обсягу, можна було б оглядову частину

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;

– не дуже зрозумілим є поділ процесу цифрової трансформації на початкову та поглиблену, можна було б використати поняття стадій чи етапів, які вже і ділити на початкові та подальші.

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 Жарков Анатолій Володимирович 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 існуючого технологічного процесу «віртуального виробництва»	
1.3 Цифрова трансформація аналогічних технологічних процесів	
1.4 Розробка архітектури комп'ютеризованих навчальних засобів	
1.5 Висновки до розділу	
2 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «МОДЕЛЮВАННЯ ІСНУЮЧОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ТП»	
2.1 Модель 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 діяльностей	
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'ютеризованих навчальних засобів для навчального дослідження студентами спеціальності 151 методів та засобів цифрової трансформації [6] його основного технологічного процесу дозування [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 практичного вивчення студентами методів та засобів цифрової трансформації існуючого технологічного процесу у технологічний процес «розумного» цифрового виробництва 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 тому, 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 існуючого технологічного процесу дозування (роботизація, цифрове моделювання та оптимізація [8, 9], комп'ютерний зір та штучний інтелект).

Практична цінність отриманих результатів дослідження полягатиме в тому, 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

регіональної науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (Вінниця, ВНТУ, 2022 р.) та у матеріалах щорічної НТК викладачів та студентів ВНТУ (Вінниця, ВНТУ, 2022 р.) [10, 11].

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

Навесні 2017 року Центр Industrie 4.0 Maturity Center, що входить до складу Німецької академії наук і інженерії acatech, представив результати дослідження «Індекс зрілості для Індустрії 4.0» (Industrie 4.0 Maturity Index). Це дослідження було виконано разом з експертами компаній-партнерів: Інституту керування в промисловості FIR, PTC, Infosys і TUV SUD [1].

Індекс зрілості характеризує готовність підприємств до переходу на рівень індустріального розвитку, що відповідає представленням про Четверту промислову революцію, називану «Індустрія 4.0» (Industrie 4.0 на німецькому, Industry 4.0 на англійському).

Німецька академія наук і інженерії acatech (від academia and technology) була заснована 1 січня 2008 року з метою посилення науково-технічної незалежності Німеччини. Її діяльність спрямована на формування правильних уявлень про перспективи науково-технічного прогресу серед політиків і в широких колах громадськості. Академія бачить у собі інституцію, здатну надати суспільству нейтральні й науково обґрунтовані рекомендації щодо перспектив розвитку на майбутнє. Вона прагне підсилити взаємодію між наукою й бізнесом. Вона реалізує необхідну передачу знань шляхом організації конференцій і форумів, публікації різного роду звітів.

Що таке Industrie 4.0? Основу виробництва, згідно німецької концепції Industrie 4.0, утворюють кіберфізичні системи (Cyber-Physical System, CPS), що складаються з різних природних об'єктів, штучних підсистем і керуючих контролерів, що дозволяють представити таке утворення як єдине ціле. В CPS забезпечується тісний зв'язок і координація між обчислювальними й фізичними ресурсами.

У розумінні acatech, реалізація ініціативи Industrie 4.0 у повному її обсязі

припускає створення глобальної кіберфізичної системи в рамках національної економіки. Але це не виходить, що неможливо реалізувати окремі складові Industrie 4.0 у рамках одного окремо взятого підприємства.

Ключовим моментом в Industrie 4.0 є створення інфраструктури, що має в основі три типи інтеграції [1, 6, 8, 9:

- горизонтальна інтеграція структурної моделі бізнесу (value networks) (рисунок 1.1);
- наскрізна цифрова інтеграція виробничих процесів (digital integration of engineering) по всій структурній моделі бізнесу;
- вертикальна інтеграція внутрішнього виробничого ланцюжку підприємства (networked manufacturing).

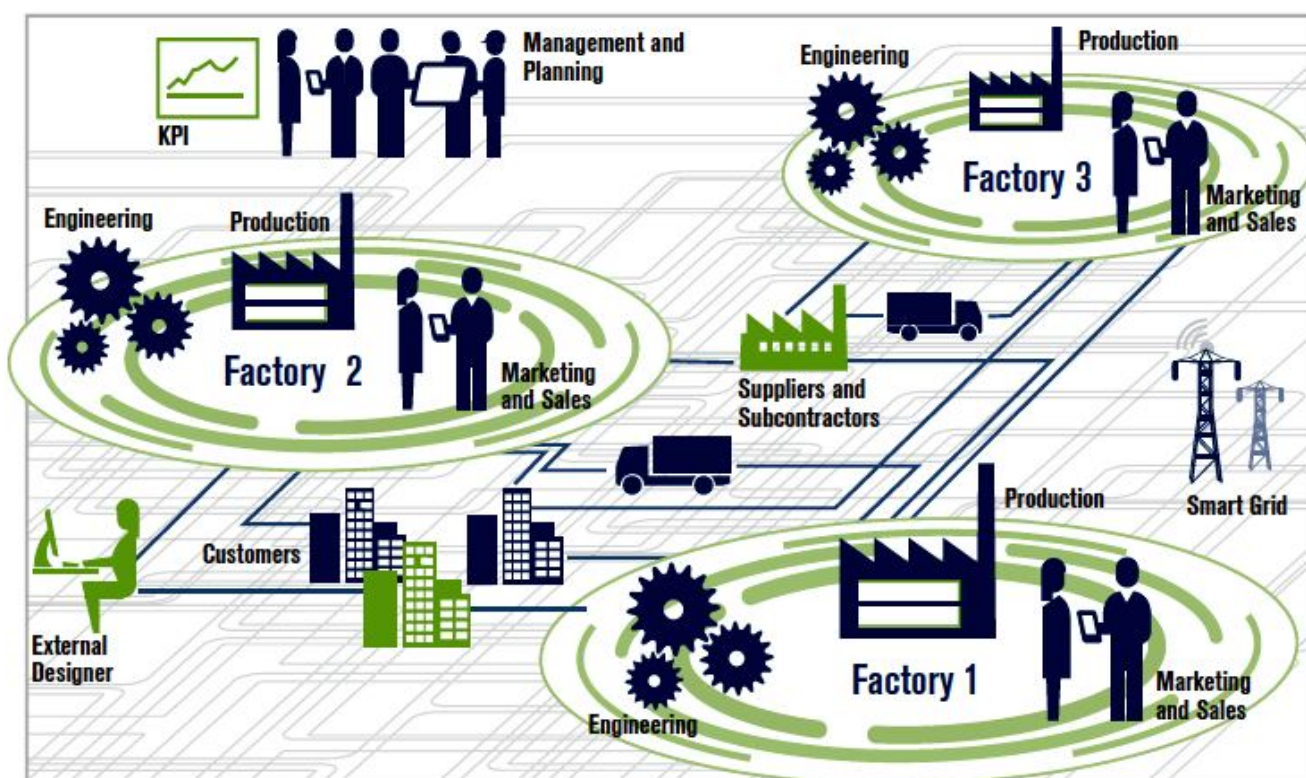


Рисунок 1.1 – Горизонтальна інтеграція структурної моделі бізнесу

Триступінчаста інтеграція дозволяє перетворити всю національну економіку в єдину кіберфізичну систему, об'єднану державним керуванням. На державу тут покладають координуючі задачі, зв'язані зі стандартизацією й різним

родом неминучими соціальними наслідками. Відзначається, що рух у напрямку до Industrie 4.0 буде мати еволюційний характер, а існуючі технології будуть поступово адаптуватися до інноваційних рішень і ринків.

З технічної точки зору національна кіберфізична платформа складається із трьох типів мереж:

- Інтернет людей;
- Інтернет речей;
- Інтернет сервісів.

В «Рекомендаціях» німецької академії підкреслюється, що ініціатива Industrie 4.0 зачіпає інтереси суспільства в цілому, тому повинна розглядатися не тільки в технічному, але й у більш широкому соціокультурному аспекті, з урахуванням демографічних і інших викликуваних нею змін.

Для оцінки відповідності підприємств вимогам Industrie 4.0 acatech разом з компаніями-партнерами розробила методику й показник, названий індексом зрілості (Maturity Index). Те й інше докладно описано в документі «Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies».

Індекс дозволяє судити про те, на якій стадії перебуває в сучасний момент компанія в просуванні до бажаного стану, що відповідає вимогам Industrie 4.0. А саме - стану компанії, що швидко розвивається, є динамічною й здатною до адаптації.

У кожного підприємства шлях в Industrie 4.0 може бути різним, але в цілому вони повинні пройти по шести щаблях, показаних на рисунку 1.2. Якщо перші дві стадії, об'єднані в групу Digitalization, тобто освоєння цифрових підходів, є чисто технологічними, то чотири стадії, що залишилися, що відповідають Industrie 4.0, є не стільки технологічними, скільки кібернетичними, оскільки втілюють у собі системні принципи – основи кібернетики.

Комп'ютеризація (Computerisation) – під комп'ютеризацією мають на увазі постачання засобами для цифрового керування всіх основних компонентів виробництва. Сучасне обладнання зазвичай вже розраховане на цифрове керування, а обладнання, експлуатоване тривалий час, повинне бути відповідним

чином модернізовано.

Мережна взаємодія (Connectivity) – на цій стадії ізольовані технології поєднуються в загальне середовище, що відповідає вимогам бізнесу компанії. Звичайно для цієї мети використовують з'єднання по протоколі Internet Protocol (IP), створюючи при цьому Internet of Things. Мережна взаємодія дозволяє об'єднати процедури автоматичного проектування й виробництва CAD/CAM із засобами керування технологічними процесами Manufacturing Execution System (MES), організувати дистанційне обслуговування й так далі. Якщо вдосконалити не нове, але працездатне обладнання, то воно теж може бути включене у взаємодію.

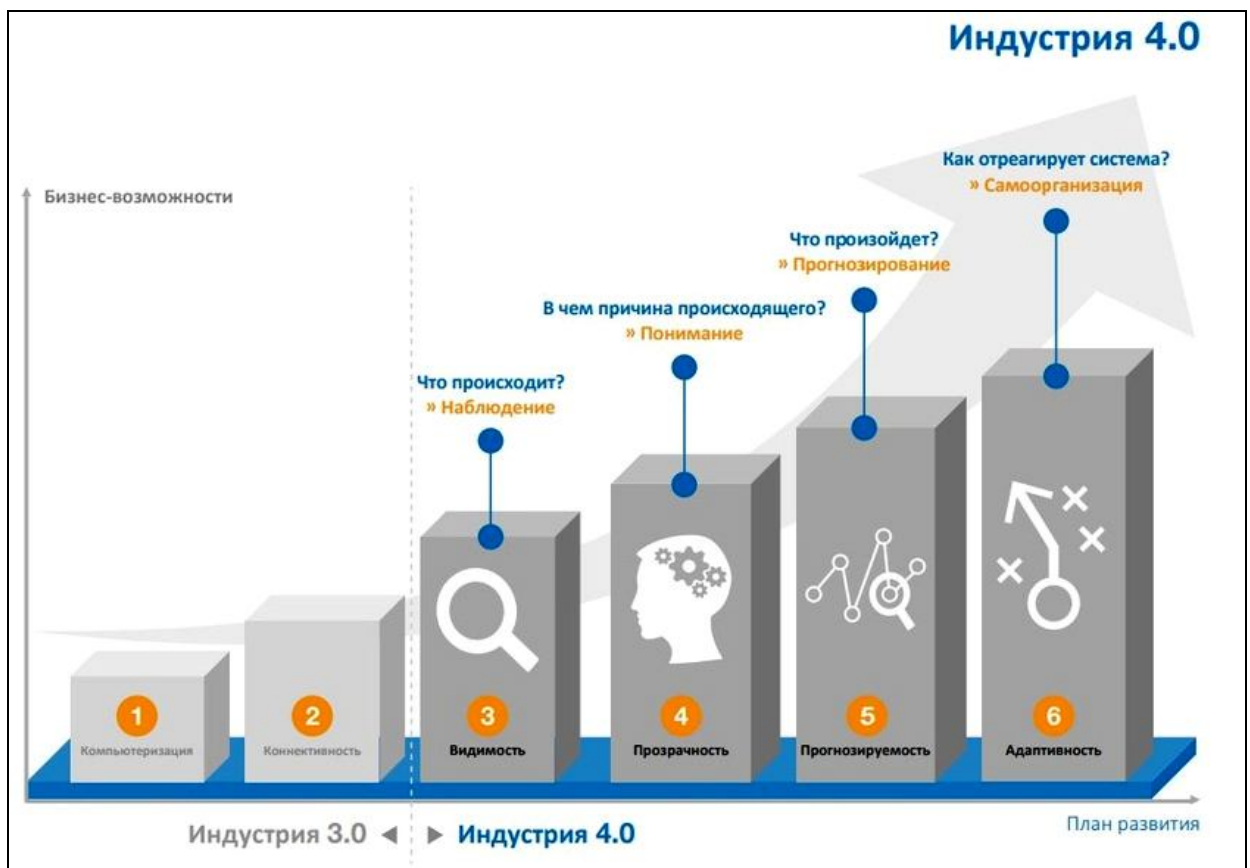


Рисунок 1.2 – Шість шаблів на шляху до Індустрії 4.0

На рисунку 1.3 наведений приклад такої мережної інтеграції.

Видимість (Visibility) – під видимістю розуміють створення цифрового відображення або віртуального двійника підприємства. Падіння цін на датчики й

інше цифрове обладнання робить це можливим. Чим більше датчиків, тим точніше відображення. Наявність відображення, пов'язаного із системами PLM, ERP і MES, дозволяє керуючим бачити картину підприємства в реальному часі й приймати необхідні рішення.

Проблеми цього етапу не стільки в техніку, скільки в складності забезпечення збору достовірних даних, а саме, у деяких випадках немає єдиного джерела достовірних даних або немає можливості забезпечити збір даних без участі людини.



Рисунок 1.3 – Приклад цифрової трансформація Телекому в Індустрії 4.0

Прозорість (Transparency) – прозорість у даному контексті означає зв'язок цифрового відображення з аналітичними системами, ширше відомими як системи роботи з великими даними (Big Data). Тут доводиться вирішувати класичне завдання добування знання з даних.

Прогнозування (Predictive capacity) – для прогнозування можуть бути використані адаптовані до виробництва технології предиктивної аналітики.

Адаптивність (Adaptability) – здатність до прогнозування відкриває

можливість автоматизації функцій, пов'язаних з адаптацією бізнесу до зовнішніх умов, що змінюються.

При сходженні по всім шести щаблях еволюційного процесу поведження співробітників має не менше значення, чим технології й організація виробництва. Необхідно змінити ментальність окремої людини, від простого виконавця до менеджерів С-рівня, і всієї компанії в цілому. Повинна бути створена така культурна й соціальна атмосфера, що дозволить реалізувати переваги Industrie 4.0. Вона складається в основному із двох речей - готовність до змін й вільна соціальна взаємодія на всіх рівнях.

Під готовністю до змін розуміють: відкритість до інновацій, постійний професійний ріст, прихильність змінам. Вільна соціальна взаємодія забезпечується демократичним стилем керівництва, можливістю відкрито висловлювати свої думки, активною участю в еволюційному процесі.

Таким чином, за кілька років термін Industrie 4.0, запропонований на Ганноверському ярмарку 2011 року, став інтернаціональним і більш відомий як Industry 4.0.

Він розуміється як комплекс заходів, спрямованих на створення «розумного виробництва» (smart factory). В усьому світі була прийнята методика, розроблена академією acatech, в основі якої:

- кіберфізичні системи для всіх виробничих процесів;
- цифрове відображення підприємства, що служить для розподіленого керування в режимі реального часу;
- комунікації на базі Інтернету людей, Інтернету речей, Інтернету сервісів.

Ця методика, задумана як ініціатива, адресована німецькому уряду, стала універсальною. Її можуть використовувати фахівці будь-якої національної приналежності з метою цифрової трансформації як промислових підприємств, так і бізнес-структур.

Дослідимо та проаналізуємо тепер існуючий технологічний процес дозування, який студенти повинні в ході дослідження цифрової трансформації перетворити у автоматизований процес, що побудований за «Індустрія 4.0».

1.2 Аналіз існуючого технологічного процесу «віртуального виробництва»

На факультеті ПТА (ФІПА) 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:

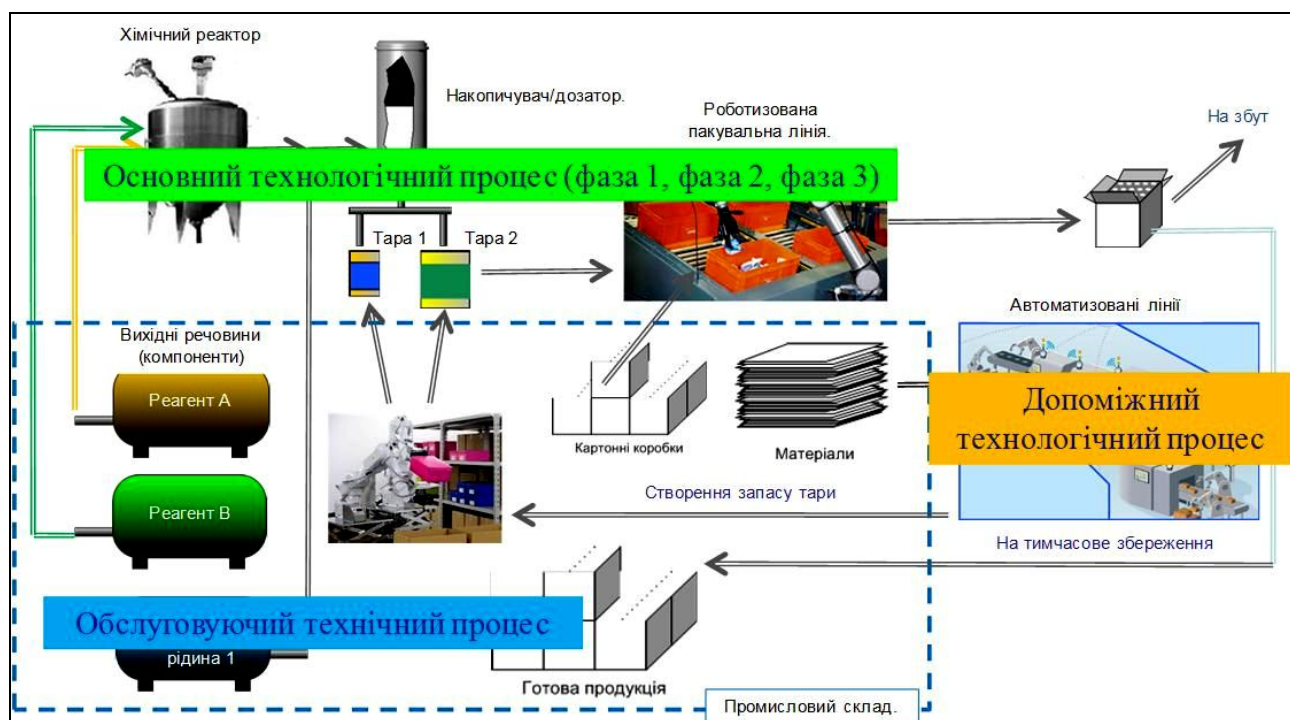


Рисунок 1.4 – Складові процеси «віртуального виробництва» хімічної продукції

– 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 [4, 5]:

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

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

– 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 фізична модель промислового 3-ємнісного накопичувача/дозатора рідини, який здійснює на «віртуальному виробництві» дозування різних видів хімічної рідини у пусту тару відповідного об'єму, виконуючи виробниче завдання щодо виготовлення заданої партії готової продукції.

Вихідний зовнішній вигляд фізичної моделі та позначення встановлених на ній засобів автоматизації показані на рисунку 1.5.

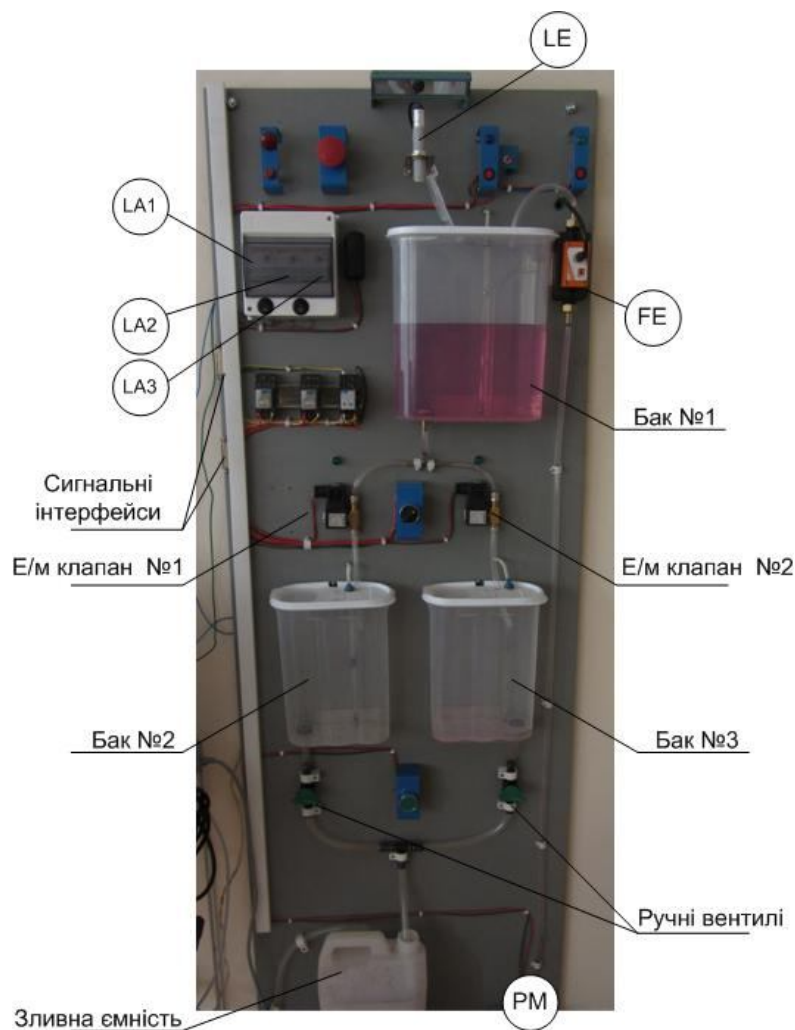


Рисунок 1.5 – Вихідний загальний вигляд фізичної моделі накопичувача/дозатора

В лабораторії фізична модель промислового накопичувача/дозатора встановлена біля лабораторного столу №1 (рисунок 1.6). Конструкція моделі

містить чотири прозорі ємності:

- верхню ("Бак №1");
- дві середні ("Бак №2", "Бак №3");
- нижню ("Зливна ємність").

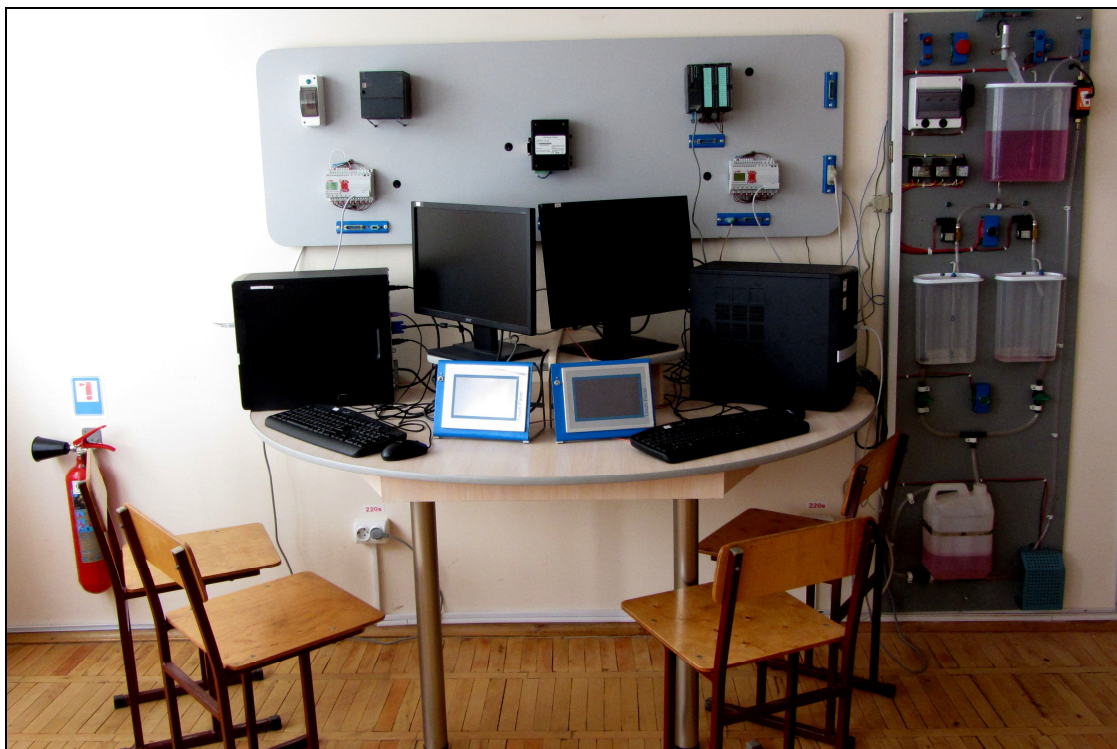


Рисунок 1.6 – Монтаж лабораторної моделі в лабораторії

Рідина з нижньої зливної ємності подається до верхньої ємності за допомогою автомобільного електронасосу РМ. Витрата рідини через електронасос вимірюється магнітно-індуктивним витратоміром FE типу МІК-5NA 15 А L343, що має уніфікований аналоговий вихідний сигнал струму. Рівень рідини, що накопичується у верхній ємності вимірюється ультразвуковим датчиком LE типу UA 18CLD08AGTR, що теж має уніфікований аналоговий вихідний сигнал струму. Крім того, за допомогою 2-канального реле контролю рівня LA1 типу LVM20A240, що формує дискретні вихідні сигнали, контролюються два граничних рівня рідини (мінімальний та максимальний) у верхній ємності ("Бак №1").

Накопичена рідина з верхньої ємності за командою керуючого пристрою

(ПЛК VIPA або програмоване реле Relpol) може зливатися (дозуватися) або в праву середню ємність ("Бак №2"), або в ліву ("Бак №3"). Для цього застосовані два електромагнітних клапани №1 та №2 типу D201 (мод. 320640).

Рідина, що накопичується в середніх ємностях контролюється за рівнем. Для цього використовуються два 2-канальних реле контролю рівня типу LVM20. Перше реле LA2 контролює граничні рівні рідини (мінімальний та максимальний) в правій середній ємності ("Бак №2"), а друге реле LA3 контролює такі ж граничні рівні рідини в лівій середній ємності ("Бак №3").

Злив накопиченої рідини з верхньої ("Бак №1") та середніх ємностей ("Бак №2", "Бак №3") здійснюється шляхом примусового відкриття електромагнітних клапанів №1 та №2 (напруга живлення подається через спеціальний перемикач) та нижнього зливного вентиля, що відкривається вручну. Випуск рідини із зливної ємності з метою її заміни виконується за допомогою випускного вентиля, що відкривається вручну.

Для запобігання переповнення верхньої ємності (у разі неправильної роботи прикладної програми контролера або програмованого реле) передбачений кнопковий вимикач аварійної зупинки електронасосу (на рисунку 1.5 не показаний). Для виконання окремих лабораторних досліджень, що вимагають прокачування через насос певних об'ємів рідини (без керування від ПЛК чи програмованого реле), призначений додатковий вмикач живлення електронасосу (на рисунку 1.5 не показаний). Такі дослідження можуть бути пов'язані зі зніманням характеристик електромагнітного витратоміра чи характеристик ультразвукового датчика рівня, або при налаштуваннях реле контролю рівня.

Всі сигнали (вхідні та вихідні) лабораторного моделі промислового накопичувача/дозатора вводяться/ виводяться через два кабельні з'єднувача – один для ПЛК VIPA, другий - для реле Relpol (на рисунку 1.5 позначені як «Сигнальні інтерфейси»). Ці з'єднувачі спеціальними кабелями підключаються до відповідних з'єднувачів настінної панелі лабораторного столу №1. В першому випадку можна досліджувати керування накопичувачем/дозатором з боку ПЛК VIPA, в другому випадку – з боку програмованого реле Relpol.

На рисунку 1.7 показана функціональна схема автоматизації, на основі

якої можна реалізувати автоматизовану систему управління технологічним процесом (АСУ ТП, SCADA) промислового накопичувача/дозатора.

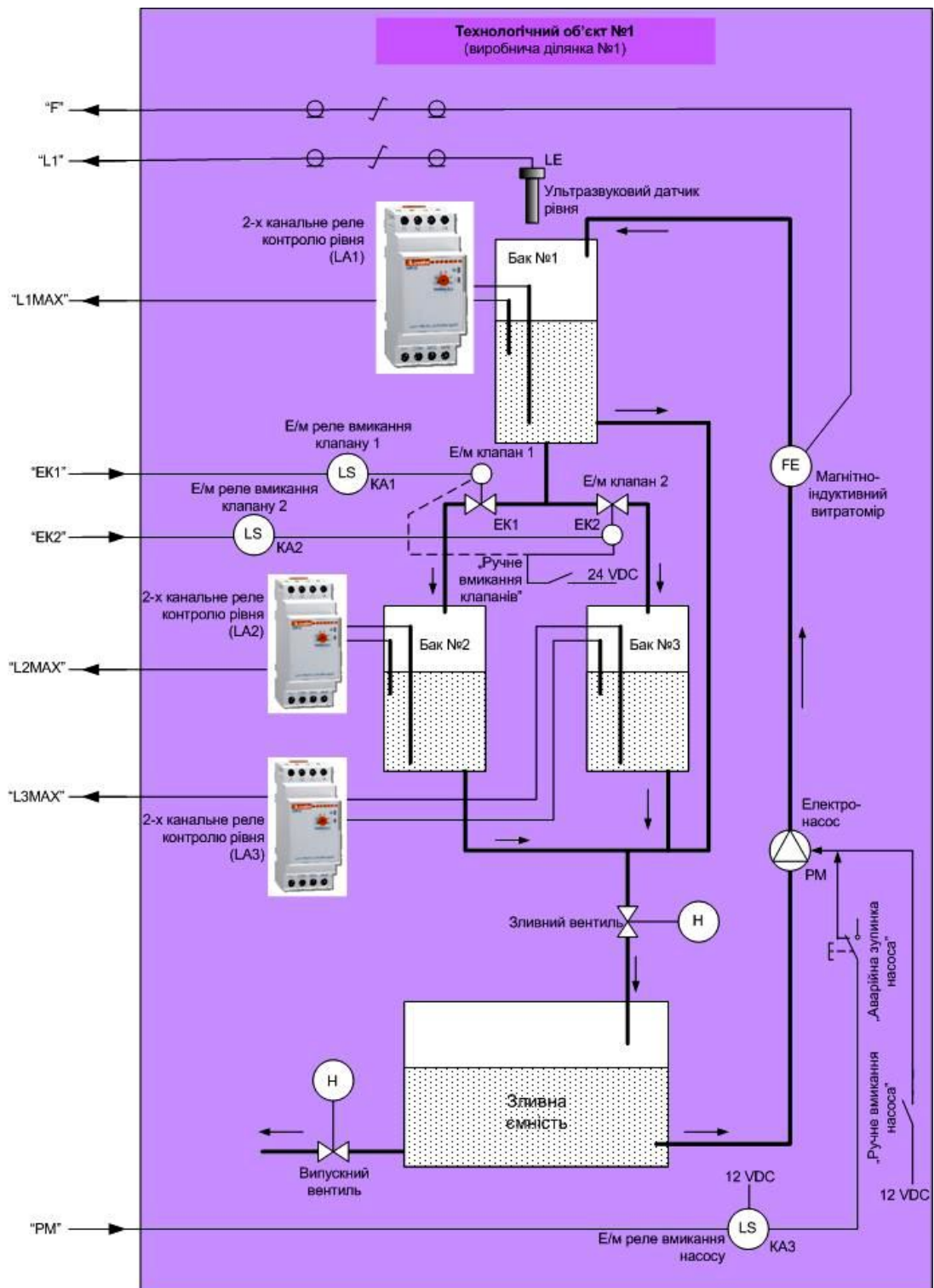


Рисунок 1.7 – Функціональна схема автоматизації накопичувача/дозатора

На схемі показані усі засоби автоматизації, що змонтовані на лабораторній моделі промислового накопичувача/дозатора, та їх електричні вхідні/вихідні сигнали, що зв'язані через спеціальний кабель з відповідними вихідними/вхідними каналами ПЛК VIPA чи програмованого реле Relpol лабораторного столу №1. На схемі позначені такі сигнали:

- “F” – вихідний уніфікований сигнал струму магнітно-індуктивного витратоміра FE (значення витрати рідини на виході насосу);
- “L1” – вихідний уніфікований сигнал струму ультразвукового датчика рівня LE (значення рівня рідини в "Баку №1");
- “L1MAX” – вихідний дискретний сигнал реле рівня LA1 (сигналізує про те, що встановлений максимальний рівень рідини в "Баку №1" досягнутий);
- “ЕК1” - вхідний дискретний сигнал управління вмиканням/вимиканням електромагнітного клапану 1;
- “ЕК2” - вхідний дискретний сигнал управління вмиканням/вимиканням електромагнітного клапану 2;
- “L2MAX” - вихідний дискретний сигнал реле рівня LA2 (сигналізує про те, що встановлений максимальний рівень рідини в "Баку №2" досягнутий);
- “L3MAX” - вихідний дискретний сигнал реле рівня LA3 (сигналізує про те, що встановлений максимальний рівень рідини в "Баку №3" досягнутий);
- “PM” - вхідний дискретний сигнал управління вмиканням/вимиканням електричного насосу PM.

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

На рисунку 1.8 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 A, B, C і D у резервуарному парку виробничого складу (для роботи фази 1 основного ТП);

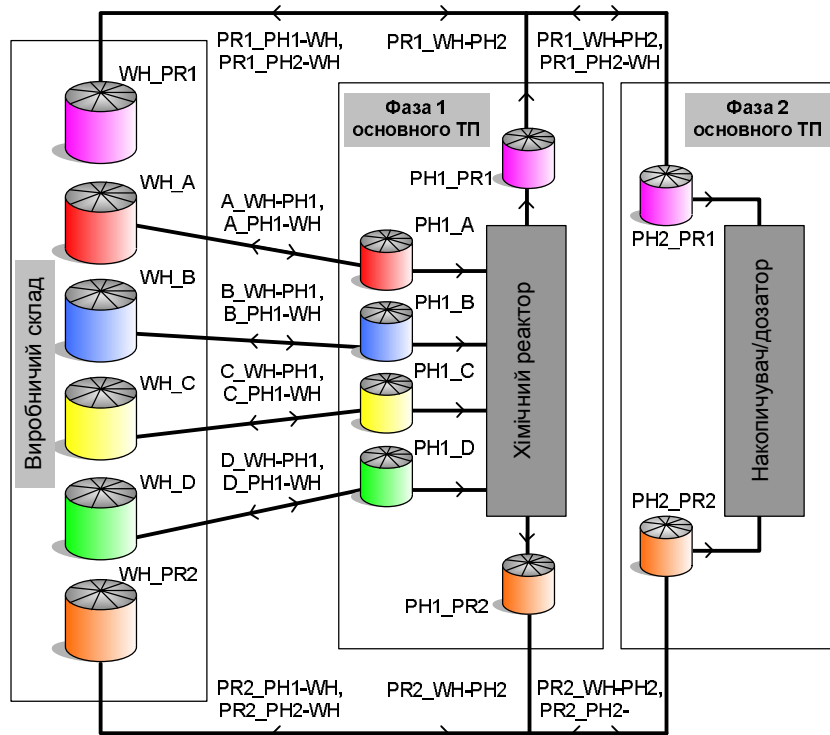


Рисунок 1.8 – Схема матеріального забезпечення періодичного виробництва рідкими ресурсами

- 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);
- 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 1.9 наведена схема матеріальних потоків «віртуального виробництва», які здійснюються конвеєрами (світлові імітаційні моделі).

Як видно з рисунку, п'ять конвеєрів реального працюючого підприємства замінені в 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 імітувати різні види матеріального ресурсу, що переміщуються конвеєром.

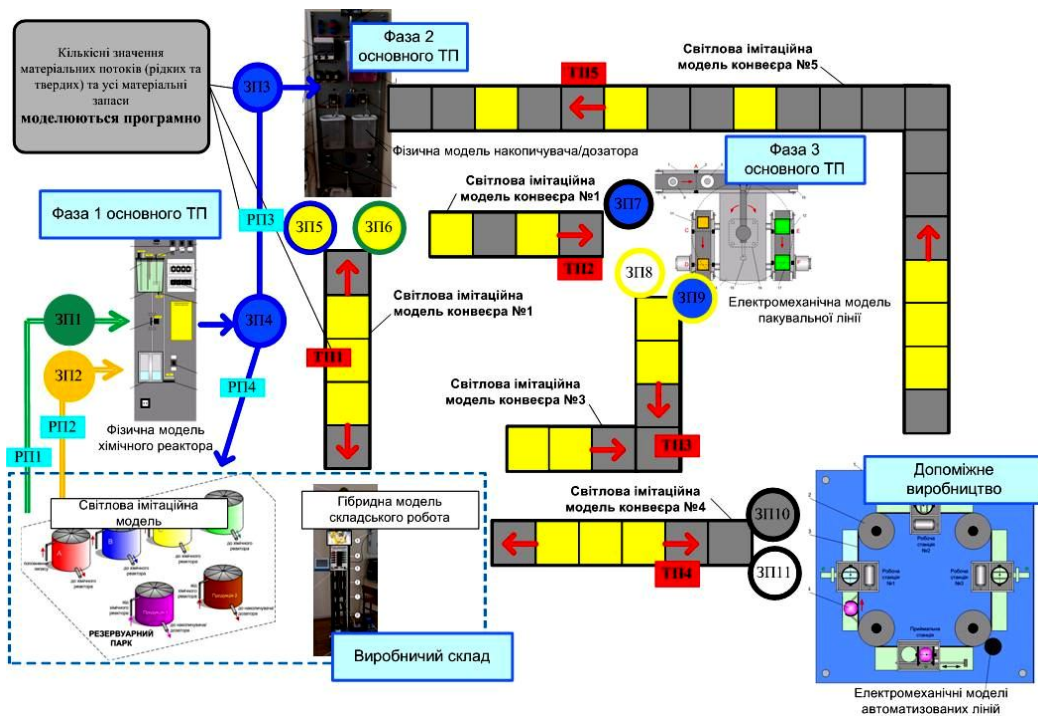


Рисунок 1.9 – Моделювання конвеєрів на «віртуальному виробництві»

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 1.10 показаний зовнішній вигляд фізичної моделі накопичувача/дозатора разом з моделями трубопроводів та конвеєрів..



Рисунок 1.10 – 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 1.11 показаний план приміщення лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка», на якому також означений спосіб з'єднання окремих конструкцій конвеєрів в єдине ціле.

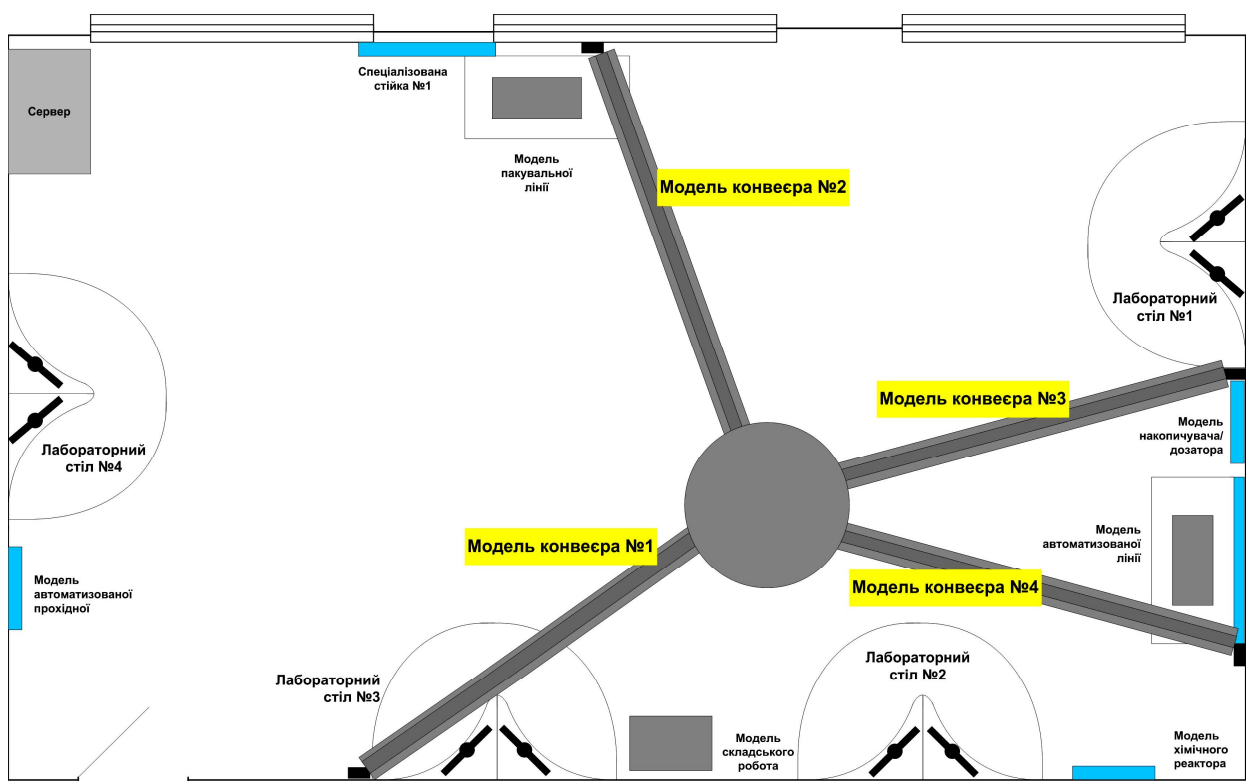


Рисунок 1.11 – Розміщення моделей конвеєрів в приміщенні лабораторії

Як видно з рисунку, однакові за довжиною моделі конвеєрів при об'єднанні їх в єдину конструкцію зміщують положення центрального елемента, тобто маршрутизатора, з осі симетрії приміщення. Також на рисунку видні вертикальні металеві стійки, встановлені біля стін лабораторії, на які опираються конструкції кожної моделі конвеєра.

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 продукту), поліпшення адаптації процесу до швидких змін виробничого завдання, підвищення надійності обладнання та збільшення інформаційної прозорості процесу.

Так, одним з головних факторів, що впливає на якість продукту є точність виконання окремих технологічних операцій в ході дозування. Як було описано вище, пуста тара для готової хімічної рідини подається до промислового дозатора за допомогою конвеєра у формі палет. Після цього виконується ручна установка тари відповідного типу на вхідний конвеєр дозатора, яким ця тара далі переміщується всередину дозатора і зупиняється під отвором дозуючого пристрою. Аналогічні робочі операції зараз рекомендується виконувати за допомогою роботизованого конвеєра.

Так, відома світова компанія промислової автоматизації IEC пропонує низку цікавих рішень цифрової трансформації аналогічних технологічних процесів [13]. Ця компанія, що спеціалізується на розробці платформ для штучного інтелекту, машинного зору, Інтернету речей (IoT), пропонує безліч рішень у аналогічних областях.

Її концепція розумного виробництва підвищує ефективність і точність керування складом, а з метою підвищення ефективності ліній автоматичного складання вони будуть оснащуватися не тільки роботами, але й рішеннями для машинного зору й керування рухом. Для заводських автоматизованих терміналів керування IEC пропонує промислові обчислювальні рішення з надійною конструкцією і ступенем захисту IP65, широким діапазоном робочих температур і можливістю розширення додатковими картами. Для підвищення ефективності керування складом IEC пропонує RFID-Рішення UHF (Ultra High Frequency) і 1D/2D з можливістю зчитування штрих-кодів у різних форм-факторах. Завдяки застосуванню цих засобів гнучкість виробничих процесів збільшується, що

дозволять домагатися економічності виробництва навіть невеликих партій товарів. Цю гнучкість забезпечують роботи, розумні машини й розумні продукти, які спілкуються один з одним і забезпечують автономні рішення. Наступна хвиля виробництва, Індустрія 4.0, вплине на весь ланцюжок створення вартості: від проектування до обслуговування після продажу, автоматизація буде оптимізована за допомогою інтегрованих ІТ-систем, роботів, інтелектуальних машин, контролерів руху й убудованих систем, об'єднаних один з одним у загальну мережу. ІЕІ пропонує не тільки окремі елементи Індустрії 4.0, але й повноцінне комплексне рішення для автоматизованої виробничої системи, у тому числі можливість інтеграції промислових роботів і систем керування рухом.

Так на виробничій лінії вироби транспортуються від одного процесу до іншого на стрічці конвеєра. Відеозображення, отримане інтелектуальною камерою, посилає на контролер керування роботом-маніпулятором іRX6-MTC400 (рисунок 1.12).

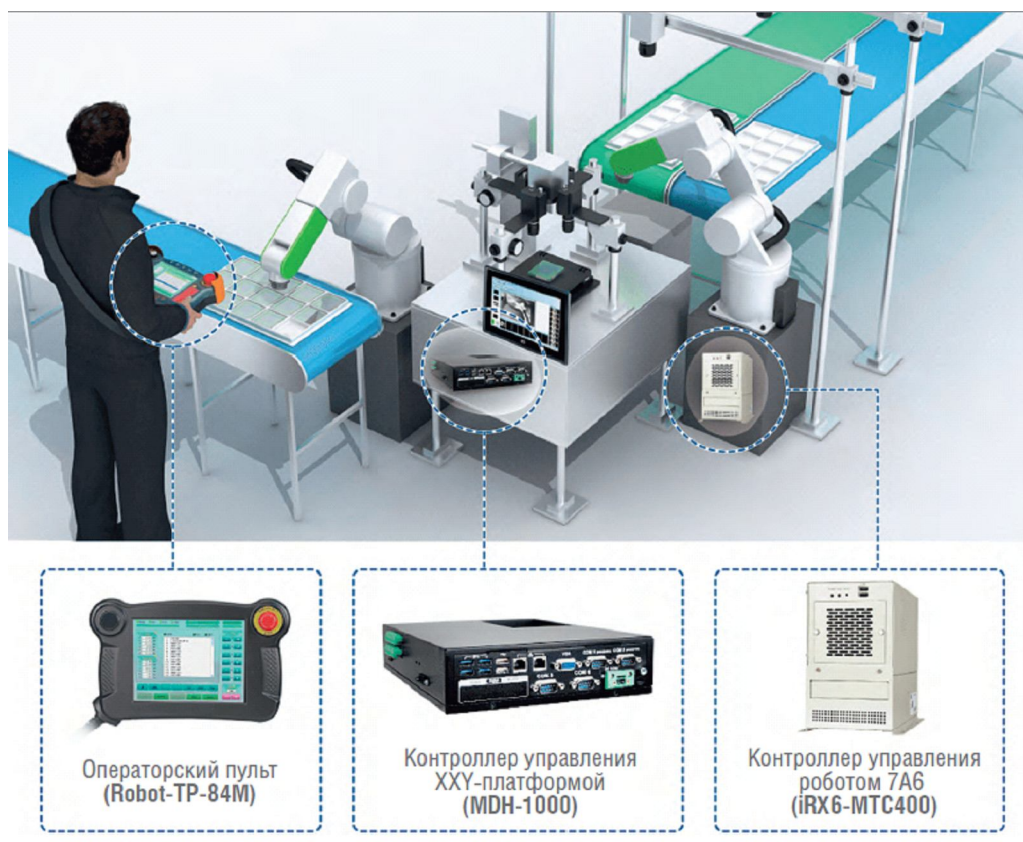


Рисунок 1.12 – Машинний зір на автоматизованому конвеєрі

Після розрахунку контролер відправить керуючу команду роботу 7А6 на захвата предмета в його поточному положенні й розміщення його на оптичній машині, що вирівнює. Високопродуктивні роботизовані маніпулятори 7А6 від Motoroson мають високу точність, більше корисне навантаження, інтуїтивно зрозуміле керування, вони безпечні.

Система оптичного вирівнювання складається з убудованого пристрою керування рухом MDH-1000, промислової камери ІЕІ і що вирівнює ХХУ-платформи (рисунок 1.13).

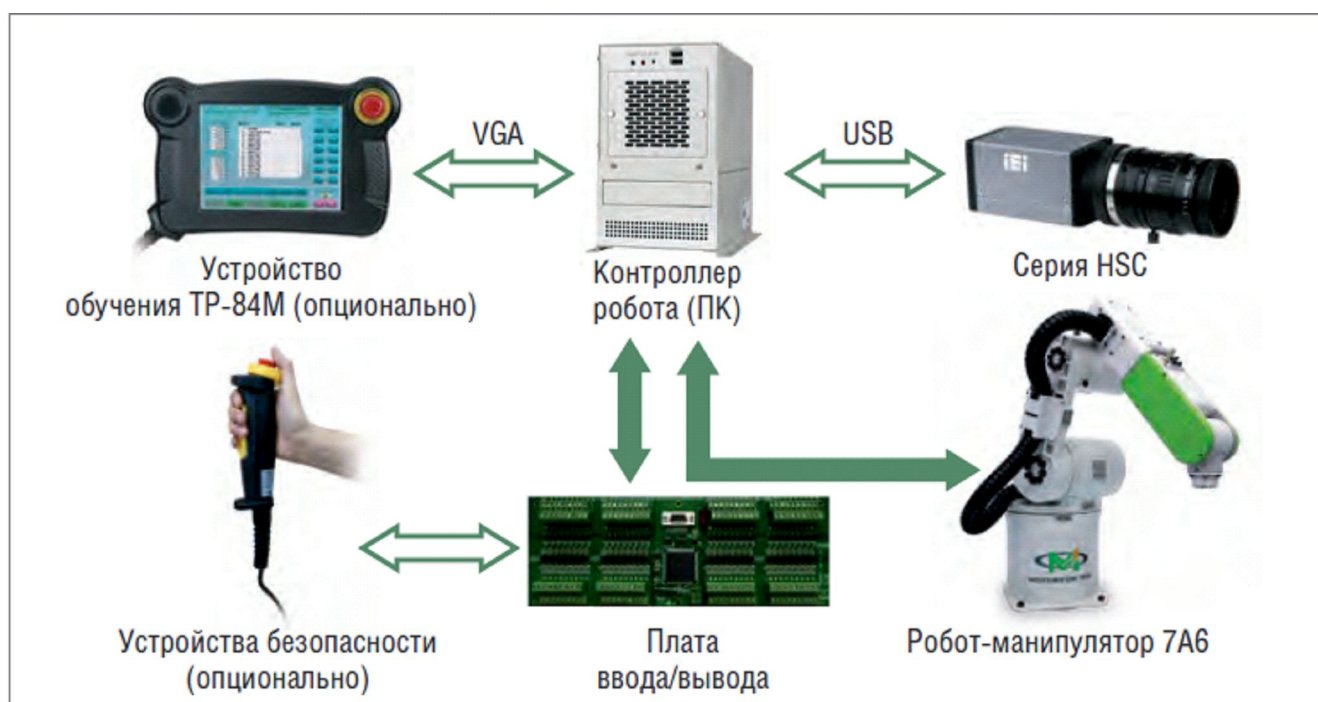


Рисунок 1.13 – Архітектура системи позиціонування виробу

Після розміщення предмета на оптичному столі, що вирівнює, програмне забезпечення інтелектуального керування MDH-1000 активує промислову камеру, щоб захопити зображення предмета. Потім відбувається пошук символу позиціонування на предметі. Після підтвердження положення й кута MDH-1000 буде управляти платформою руху для завершення вирівнювання й наступного складання. На заключній стадії цього етапу інший промисловий робот 7А6 перенесе виріб на конвеєр наступного процесу.

Контролер руху MDH-1000 являє собою безвентиляторну систему, що вбудовується, об'єднуючий промисловий комп'ютер, плати керування рухом, підключення сервопривода й уведення/виводу з декількома функціями керування рухом і уведення/виводу. У числі переваг MDH-1000 можна назвати невеликі габарити, прості підключення й монтаж (рисунок 1.14).

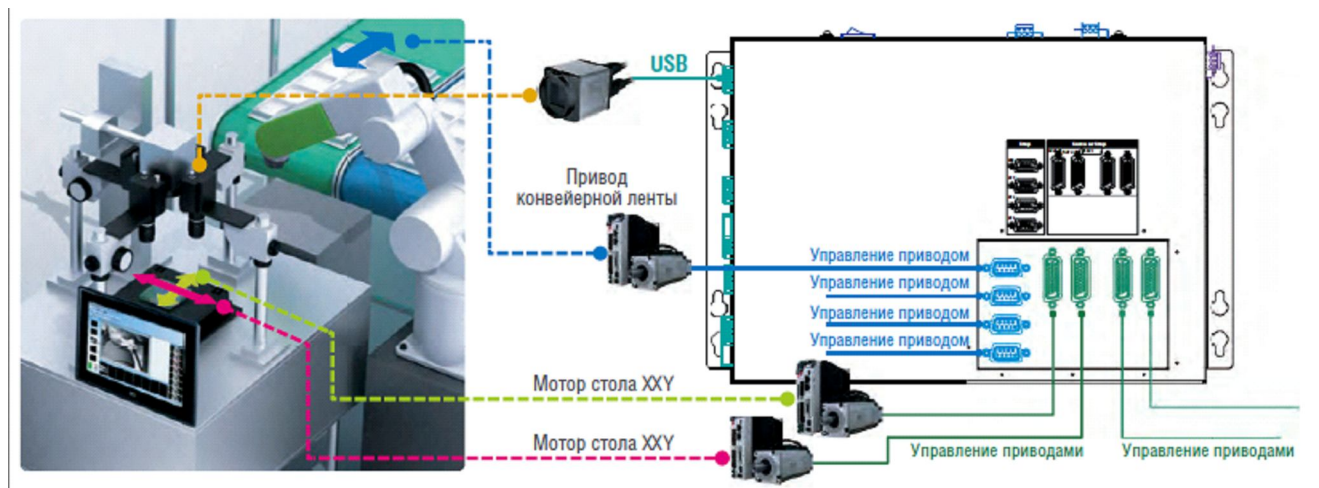


Рисунок 1.14 - Архітектура MDH-1000

Контролер MDH-1000 можна використовувати й для керування автоматизованим виробничим транспортом. На його базі реалізований чотирьох-осьовий сервопривод для керування рухом, сумісний із сервосистемами абсолютного позиціонування різних виробників, у тому числі Panasonic, Delta, Gotrend, Sankyo і т.д. (рисунок 1.15). Контролер має відмінну сумісність із додатками керування рухом.

Машинний зір - це результат застосування цілого спектра технологій і методів для забезпечення автоматичного контролю й перевірки на основі зображень, керування роботами й багато чого іншого.

Машинний зір є заміною людського візуального контролю в процесі виробництва відеокамерами, програмним забезпеченням і комп'ютерами для виконання завдань розпізнавання зображень і реалізації вимірів, підрахунків, а також зчитування штрих-кодів і оптичних символів – OCR. На рисунку 1.16) показана така промислова система машинного зору, встановлена на конвеєрі.

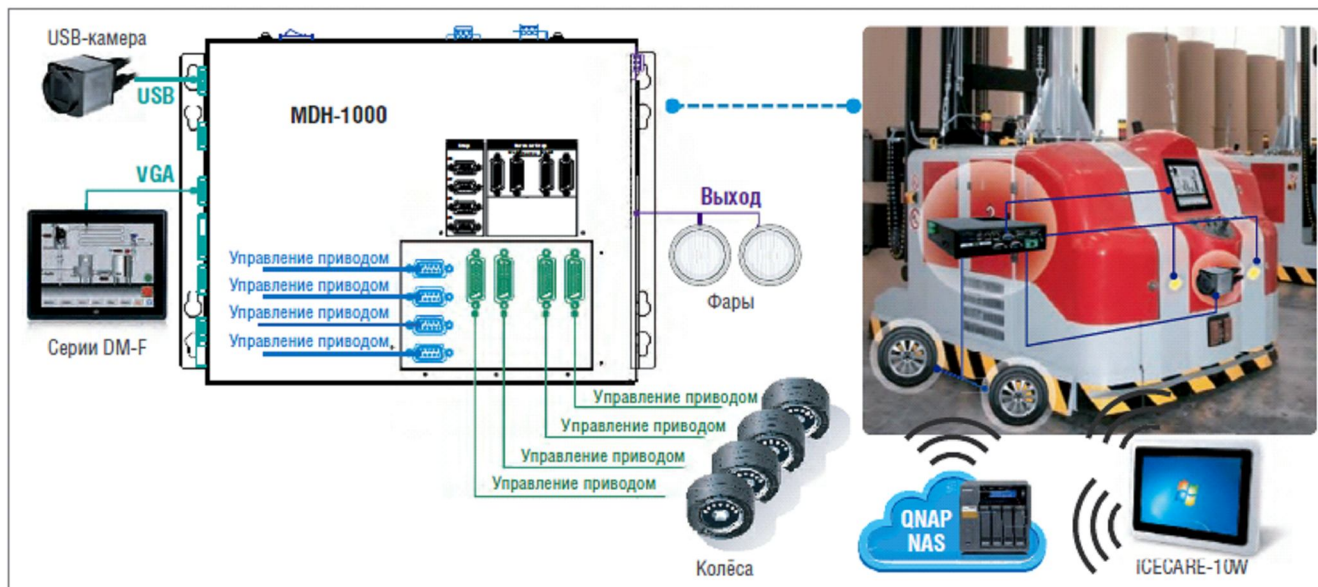


Рисунок 1.15 - Управління автономним транспортом за допомогою MDH-1000



Рисунок 1.16 – Промислові системи машинного зору на конвеєрі

ІЕІ проектує й розробляє передові промислові камери, зчитувачі штрих-коду й вбудовані комп'ютери, які можна використовувати для надійної роботи на підвищеній швидкості й з більшою точністю.

Враховуючи результати усіх проведених вище досліджень та аналізів, розробимо тепер загальне бачення організаційної будови нових навчальних засобів для дослідження цифрової трансформації ТП дозування.

1.4 Розробка архітектури комп'ютеризованих навчальних засобів

У світовій практиці процес цифрової трансформації у промисловій області давно і активно обговорюється фахівцями та експертами [13-18]. Вже сформоване загальне бачення тих цілей, які ставлять виробники на шляху вдосконалення своїх підприємств (рисунок 1.17) [18].



Рисунок 1.17 – Основні цілі вдосконалення промислових підприємств

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 цілей відповідні очікування (рисунок 1.18):

- 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.



Рисунок 1.18 – Основні очікування виробників від цифрової трансформації

Проте, на шляху впровадження нових цифрових рішень у виробництво зараз існує декілька основних завад (рисунок 1.19):



Рисунок 1.19 – 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 1.20 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.

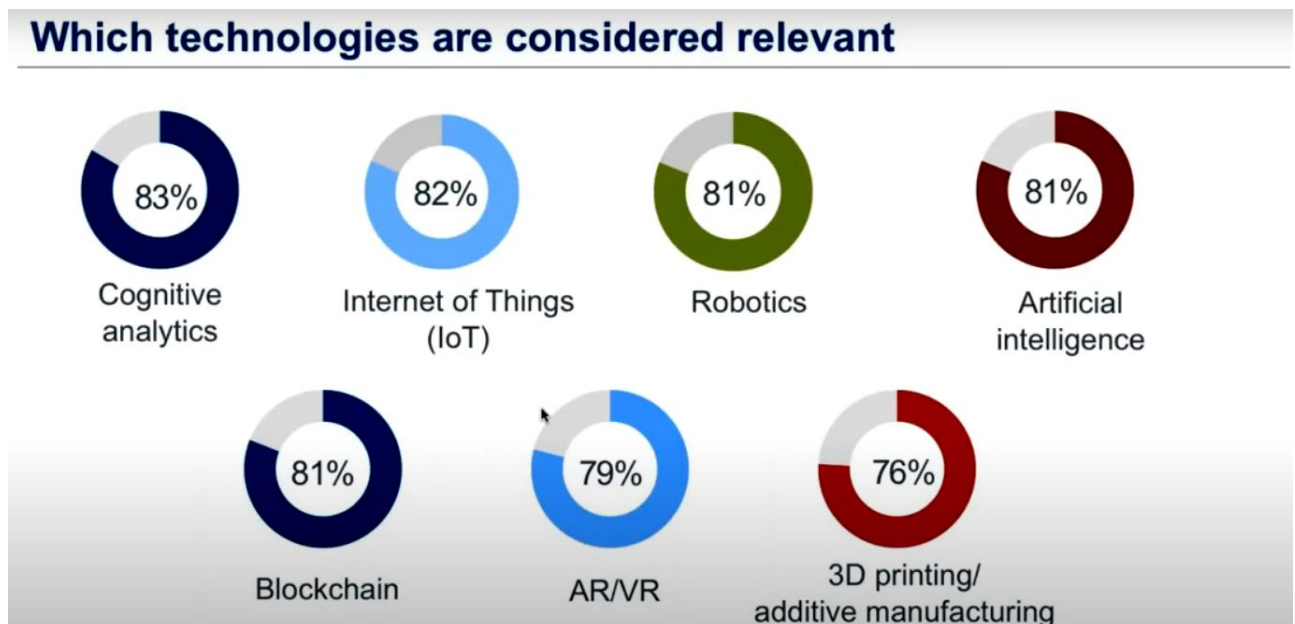


Рисунок 1.20 – Основні цифрові технології для вдосконалення виробництва

Яка ж повинна бути загальна стратегія зазначено цифрової трансформації виробництва? На рисунку 1.21 показаний рекомендований шлях цифрової трансформації, який означає основні її стадії:

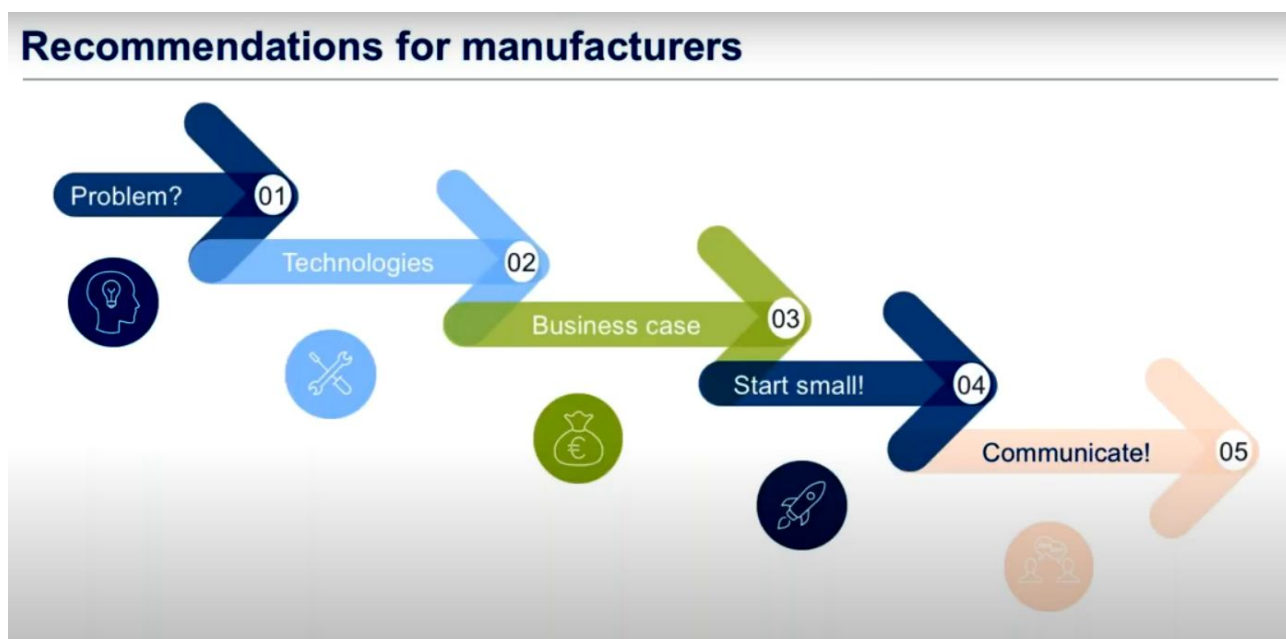


Рисунок 1.21 – Оптимальна стратегія цифрової трансформації виробництва

- 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 комп'ютеризованих навчальних засобів (НЗ) для дослідження цифрової трансформації технологічного процесу дозування (рисунок 1.22 та додаток Б) .

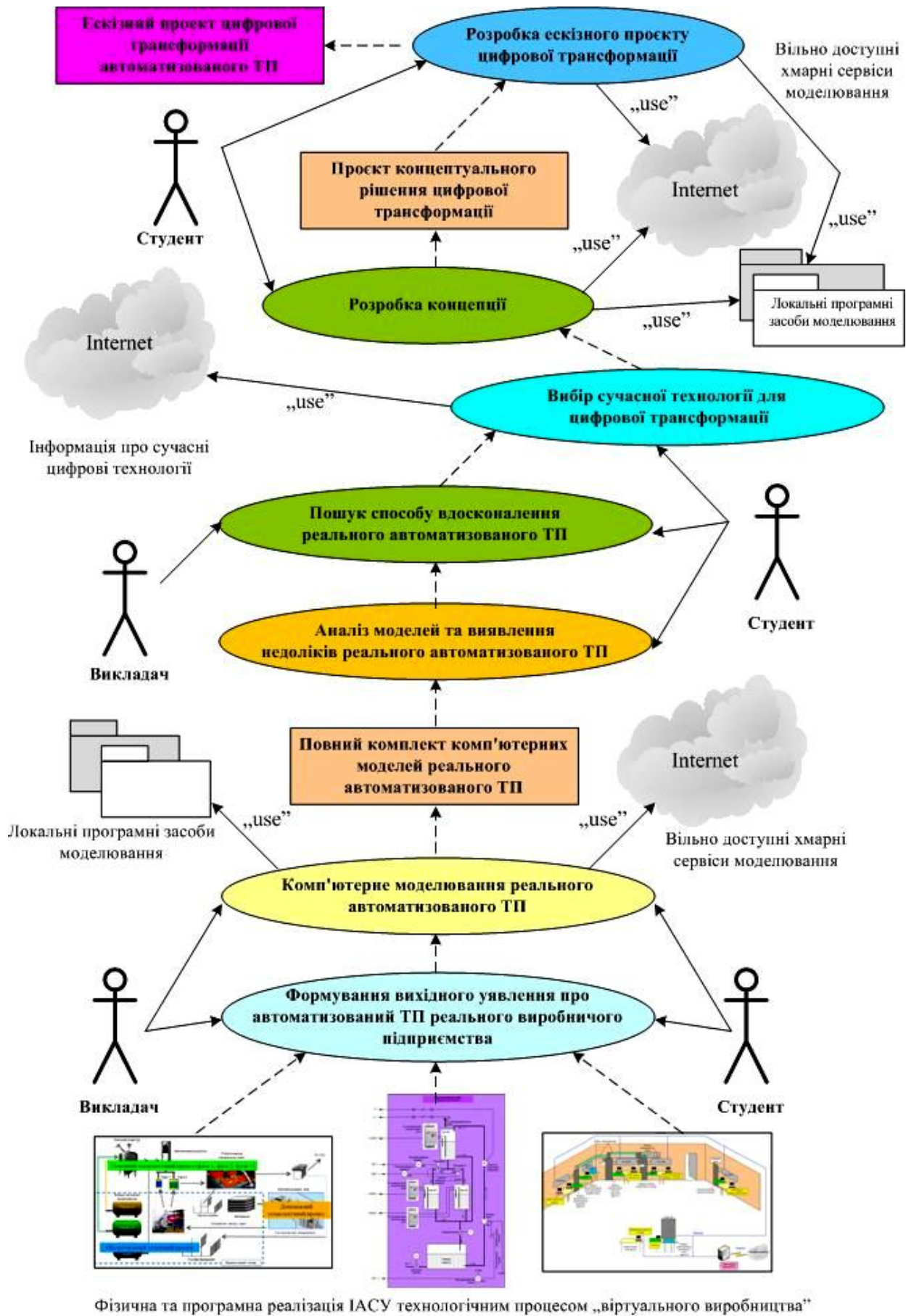


Рисунок 1.22 – Загальна архітектура комп'ютеризованих НЗ

Основою загальної архітектурного рішення нових НЗ є фізична модель технологічного процесу (ТП), яка вбудована у імітаційну модель «віртуального виробництва» лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка» ФІПА, 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 сформувані 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 реального 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 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 технологічного процесу дозування 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 Модель 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) дозування, 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 статички та динаміки даного реального АТП.

В результаті виконання цих етапів у студента повинно сформуватися повне уявлення про будову та принцип дії реального АТП дозування, 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: студентом – в ході вивчення відповідної професійної дисципліни або проходження відповідного проектного практикуму, викладачем – при підготовці навчально-методичних матеріалів професійної дисципліни або проектного практикуму.

Проте, крім згаданих моделей, в основі загальної архітектури нових НЗ лежать ще дві інші моделі (див. рисунок 1.22), саме з дослідження яких і починається весь процес дослідження студентом цифрової трансформації існуючого АТП дозування:

- лабораторна фізична модель ТП (лабораторний ТП);
- лабораторна програмно-технічна імітаційна модель інтегрованої автоматизованої системи управління (ІАСУ) як «віртуальним виробництвом» в цілому, так і даним лабораторним ТП (лабораторна ІАСУ).

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

Таким чином, аналізуючи вищесказане, можна зробити такі висновки:

- в процесі виконання першої стадії дослідження цифрової трансформації існуючого АТП дозування 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», по ходу 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 прецедентів, яка показує взаємний зв'язок усіх дій (прецедентів), що виконують обидва актори, та сумісне використання ними отриманих результатів (рисунок 2.1 та додаток Б).

Показані на рисунку прецеденти (еліпси) 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 у вигляді прямокутників з закругленими кутами. У цій моделі актор «Викладач» ініціює виконання всієї послідовності прецедентів даної стадії дослідження цифрової трансформації існуючого АТП дозування, яка далі вже виконується двома акторами.

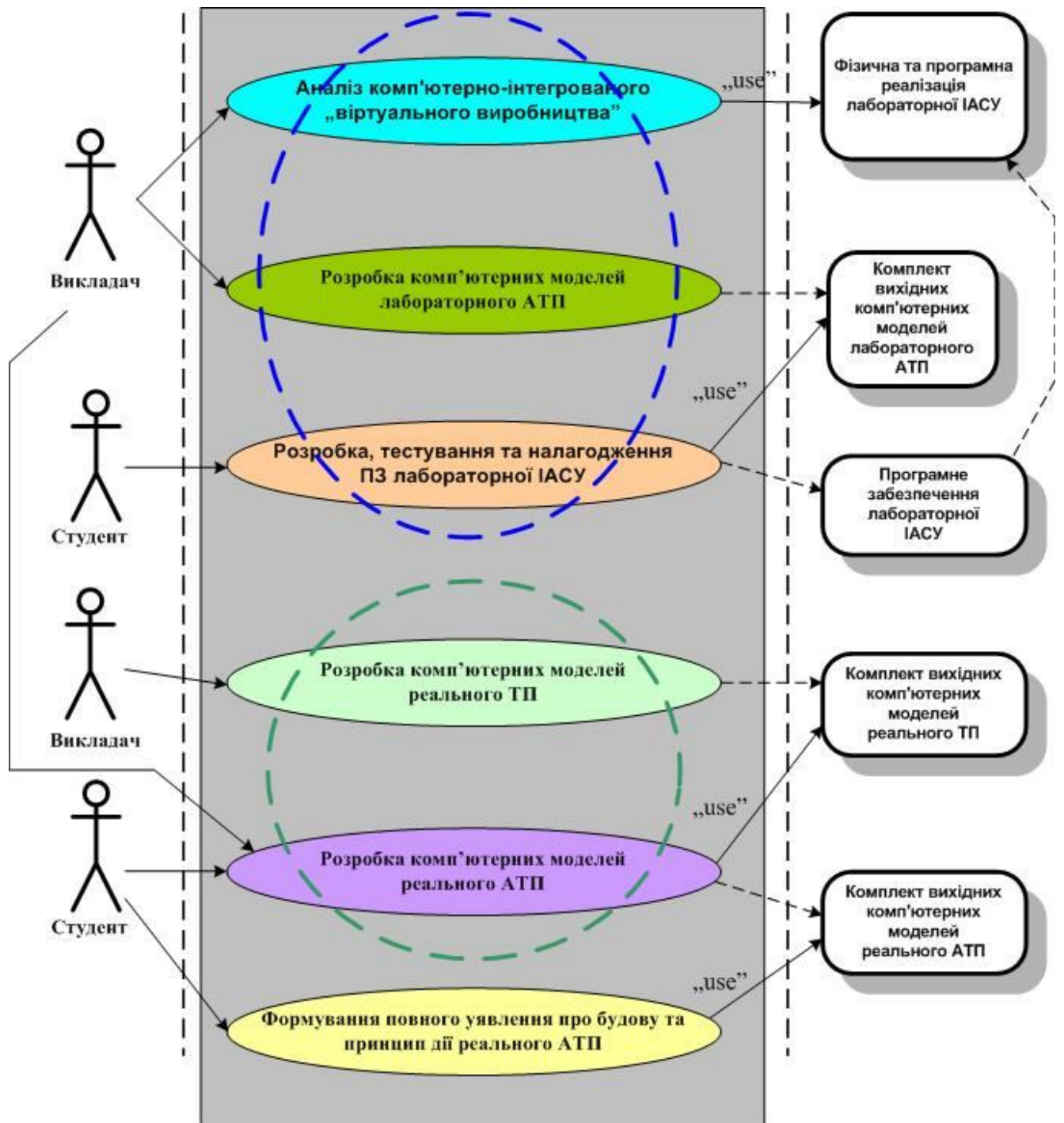


Рисунок 2.1 – Діаграма прецедентів для стадії «Моделювання існуючого АТП»

На самому початку актор «Викладач» аналізує комп'ютерно-інтегроване «віртуальне виробництво», яке існує в лабораторії у вигляді програмно-технічної імітаційної моделі ІАСУ всім цим виробництвом в цілому та окремою фізичною моделлю технологічного процесу дозування, що разом утворює лабораторний АТП. Така модель комп'ютерно-інтегрованого виробництва складається з

фізичної та програмної частин. Фізична частина містить фізичну модель ТП та реальні промислові засоби його автоматизації. Програмна частина містить як програмні моделі деяких процесів (наприклад транспортування) та пристроїв (наприклад вимірювача реальної кількості розфасованої хімічної продукції), 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».

Актор «Викладач» може аналізувати результати практичної роботи, виконаної актором «Студент», після чого вносити потрібні корективи у вихідний комплект моделей існуючого АТП. Наприклад, за цим сценарієм до фізичної моделі накопичувача/дозатора були введені додаткові імітаційні моделі промислового транспорту – конвеєрного (для подачі пустих банок, в які дозується хімічна рідина) та трубопровідного (для подачі хімічної рідини на ділянку дозування), а значить розроблені їх комп'ютерні моделі і вони додані у навчально-методичний матеріал.

Загалом, усі описані вище діяльності 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 діяльності окреслені зверху синім пунктирним еліпсом). 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» [19, 20], що і ІАСУ за концепцією «Індустрія 4.0» [21]. Тобто, 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).

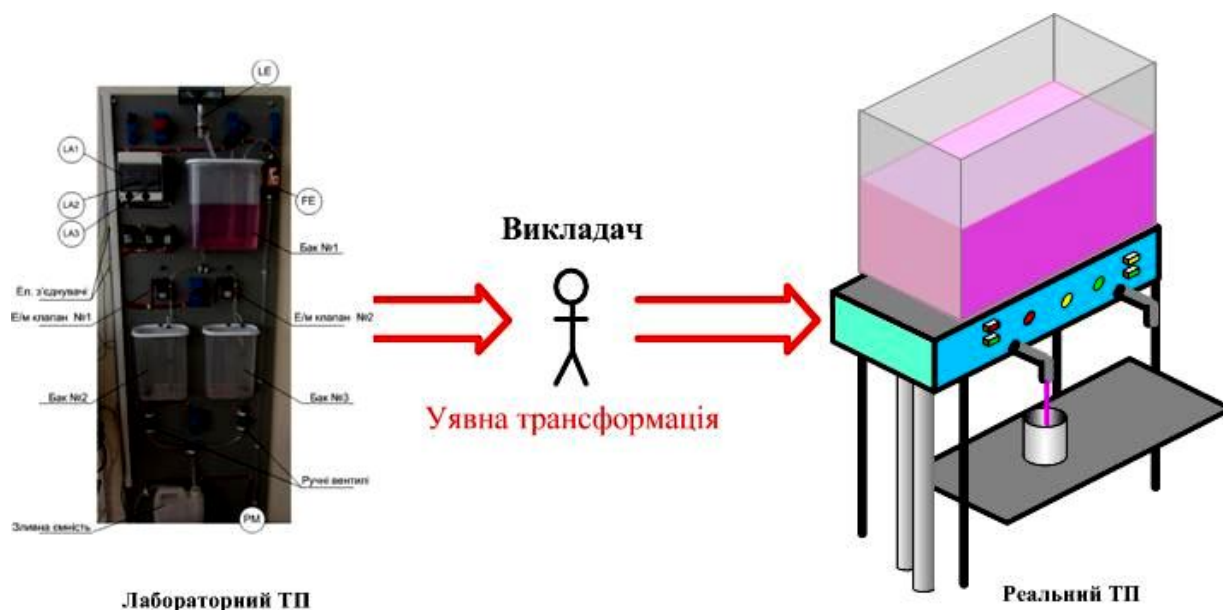


Рисунок 2.2 – Суть уявної трансформації лабораторного ТП

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 діяльності актора «Викладач» формується вихідний комплект комп'ютерних моделей реального ТП, який дає можливість актору «Студент» почати виконувати діяльність по уявній трансформації реального ТП у реальний АТП, тобто ТП, оснащений усіма технічними засобами автоматизації, що утворюють ІАСУ реальним ТП (рисунок 2.3). В результаті такої діяльності створюються додаткові моделі реального АТП, які всебічно описують його будову та принцип дії з потрібним ступенем деталізації.

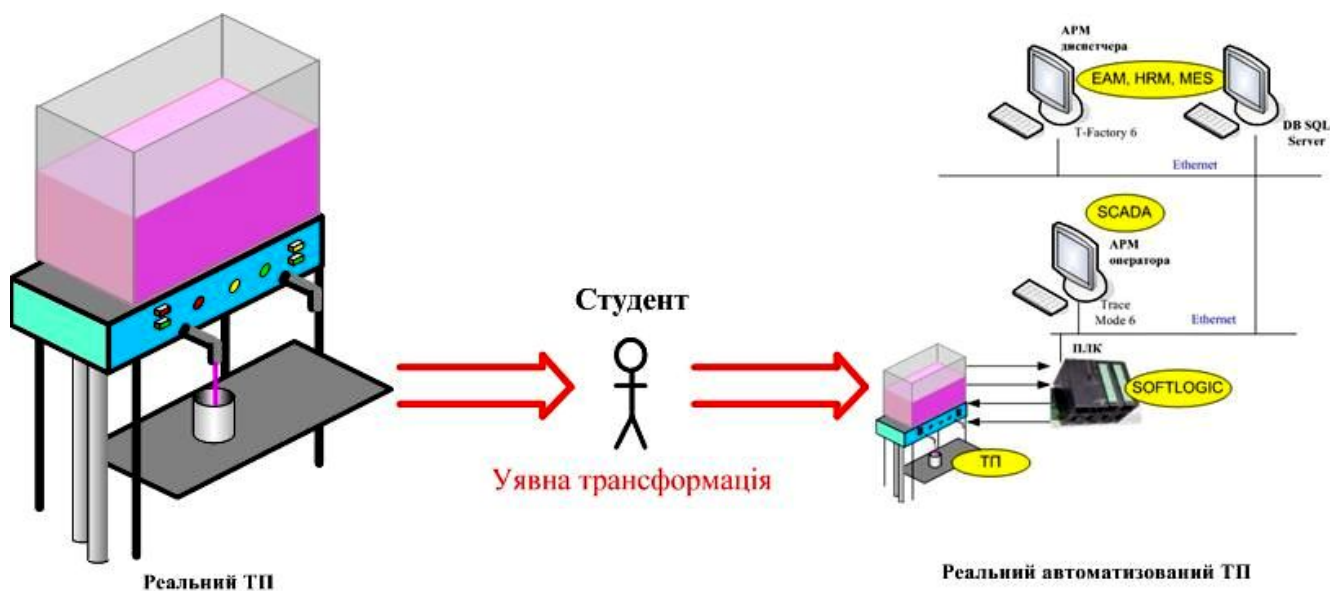


Рисунок 2.3 – Суть уявної трансформації реального ТП в реальний АТП

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 промислового дозатора, щоб студент зміг краще зрозуміти його конструкцію та ґрунтовніше вибрати засоби автоматизації, що мають монтуватися на ньому.

В результаті цих діяльностей у актора «Студент» формується повне уявлення про будову та принцип дії існуючого реального АТП і він може перейти до наступної стадії дослідження.

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 [22]. 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 дозування 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 [23, 24]. По-перше, ці моделі повинні пояснювати ідею лабораторного «віртуального виробництва», по-друге,

будову та принцип дії лабораторної ІАСУ цим виробництвом, по-третє, конструкцію фізичної моделі та принцип дії лабораторного АТП.

Для прикладу нижче наведені кілька таких комп'ютерних моделей, розроблених актором «Викладач». На рисунку 2.4 показана модель основного ТП 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 конвеєрів 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.

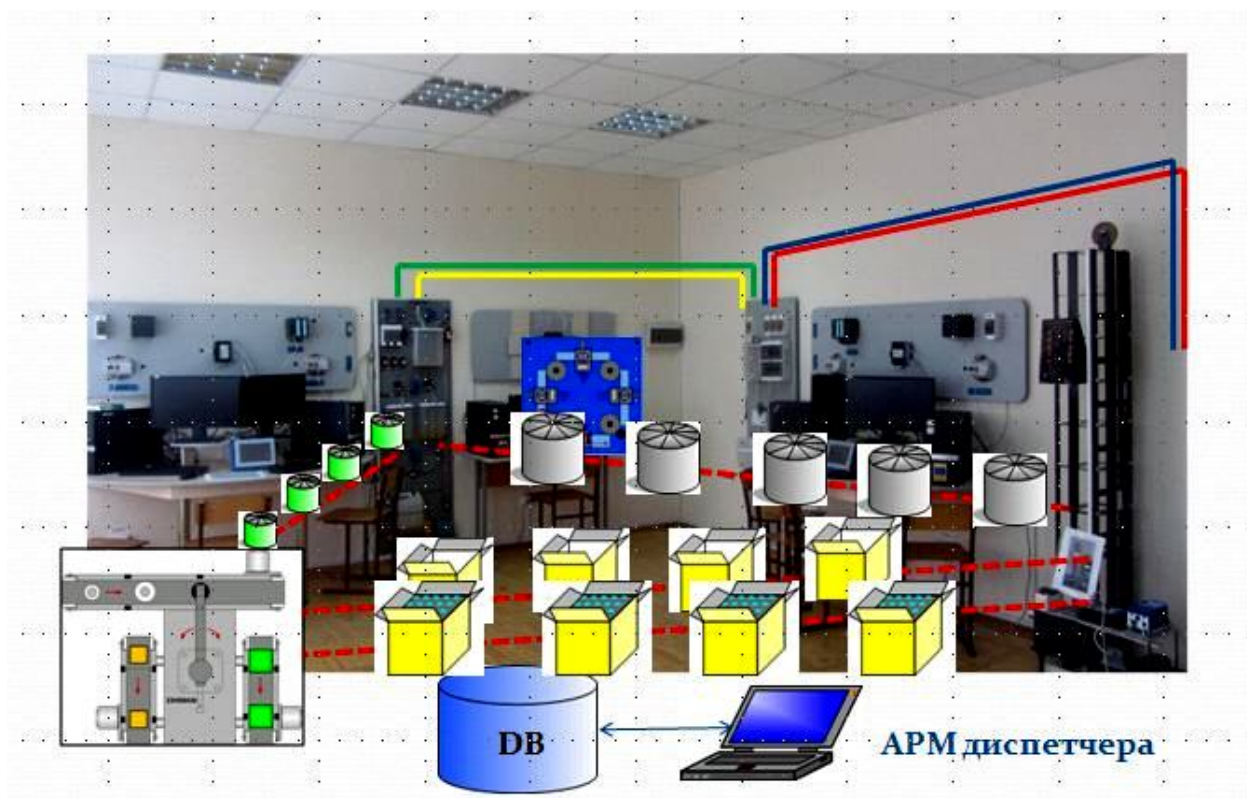


Рисунок 2.4 – Комп'ютерна модель основного ТП «віртуального виробництва»

На рисунку 2.5 показана інша графічна модель, що розробляє актор

«Викладач». Вона показує принцип організації лабораторної ІАСУ «віртуальним виробництвом» у приміщенні навчальної аудиторії.

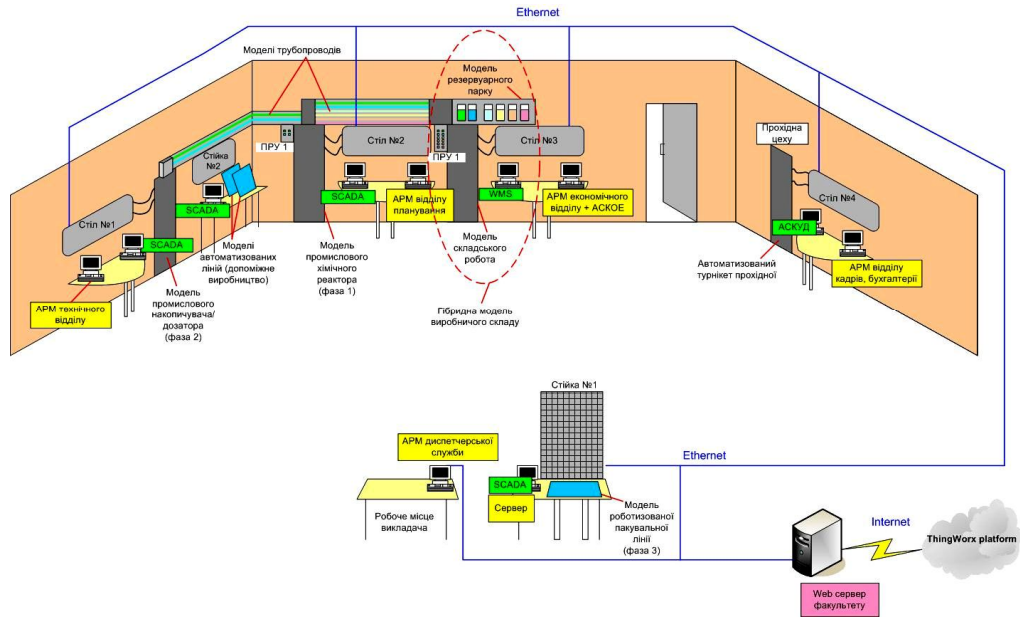


Рисунок 2.5 – Комп’ютерна модель організації ІАСУ у приміщенні лабораторії

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

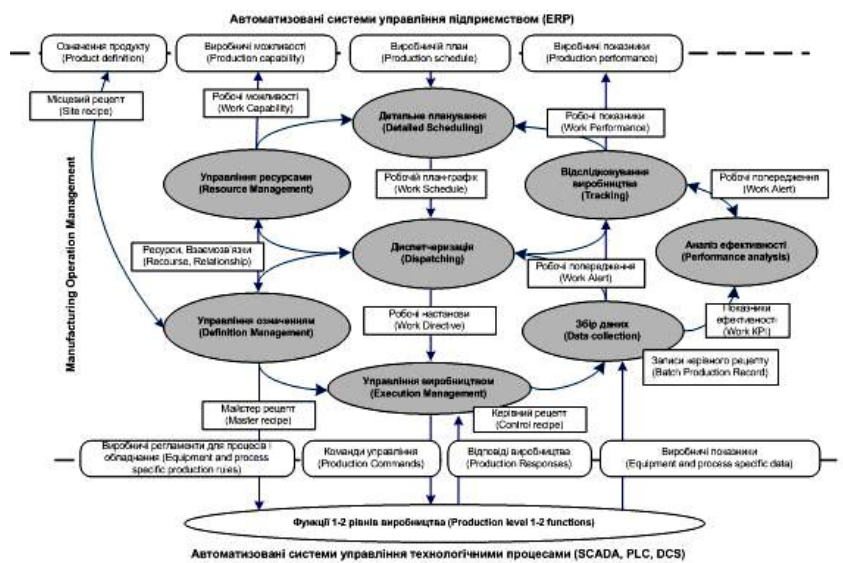


Рисунок 2.6 – Графічна модель функціональної структури лабораторної ІАСУ

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 функціональної схеми автоматизації (рисунок 2.7, зліва) чи структурної електричної схеми (рисунок 2.7, справа).

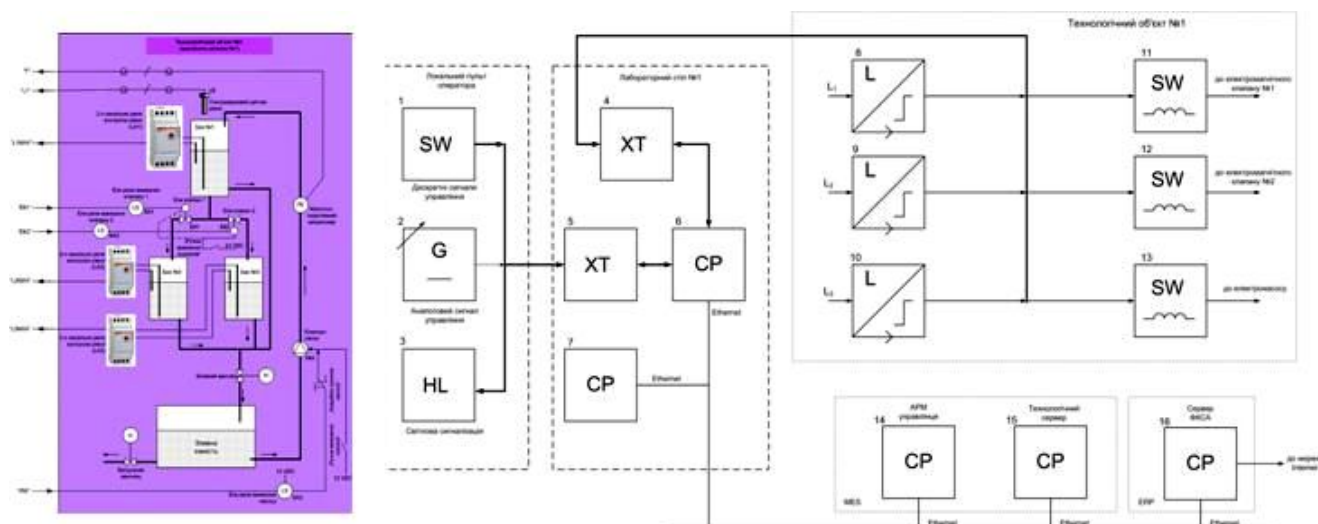


Рисунок 2.7 – Комп'ютерні графічні моделі лабораторного АТП

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» зміг на її основі 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 дозування, розробленої засобами графічного редактора «Visio», доступного на хмарному сервісі [25]. 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.

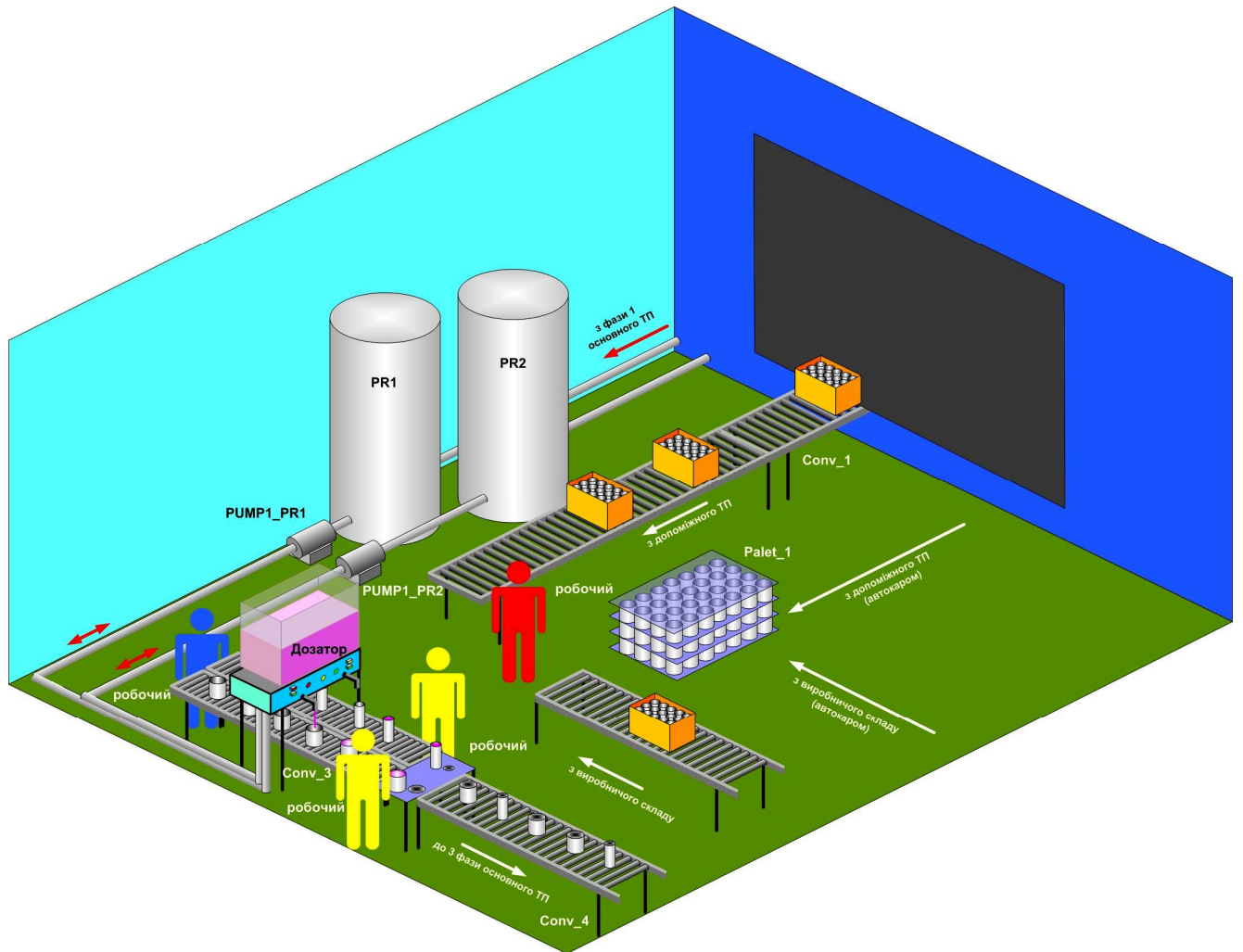


Рисунок 2.8 – Ізометрична графічна модель реального ТП дозування

На цій моделі відображено реальне приміщення деякого промислового підприємства, де змонтований дозатор та усе інше обладнання, що забезпечує його роботу. Така модель детально описується актором «Викладач» у відповідному текстовому документі, де означається не тільки конструкція цього реального ТП та його принцип дії, але і надається повний перелік встановленого промислового обладнання та основні його конструктивні/технічні характеристики. У таблиці 2.1 показаний зразок такого переліку.

Таблиця 2.1 – Промислове обладнання реального ТП

Позначення	Призначення	Характеристики
Дозатор	Однчасне дозування хімічної рідини у дві ємності	Розмір, матеріал, вбудовані засоби автоматизації

Продовження таблиці 2.1

PR1	Ємність для локального зберігання готового продукту PR1	Розмір, матеріал, властивості продукту
PR2	... PR2	- « -
PUMP1_PR1	Електричний насос 2-направленої дії для перекачування готового продукту PR1	- « -
PUMP1_PR2	... PR2 ...	- « -
Conv_1	Промисловий конвеєр для переміщення коробок з пустою тарою з допоміжного виробництва до дозатора	Розмір, швидкість, вмонтовані засоби автоматизації, тип електричного приводу
Conv_2	Промисловий конвеєр для переміщення коробок з пустою тарою з виробничого складу до дозатора	- « -
Conv_3	2-шляховий конвеєр для подачі пустої тари до двох вихідних кранів дозатора	- « -
Conv_4	Промисловий конвеєр для переміщення наповнених та закритих банок з хімічною продукцією від дозатора до наступного ТП (пакування)	- « -
Palet_1	Палета з пустою тарою, що подається до дозатора автокаром або з допоміжного виробництва, або з виробничого складу	Габарити, розмір пустої тари та кількість одиниць

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.

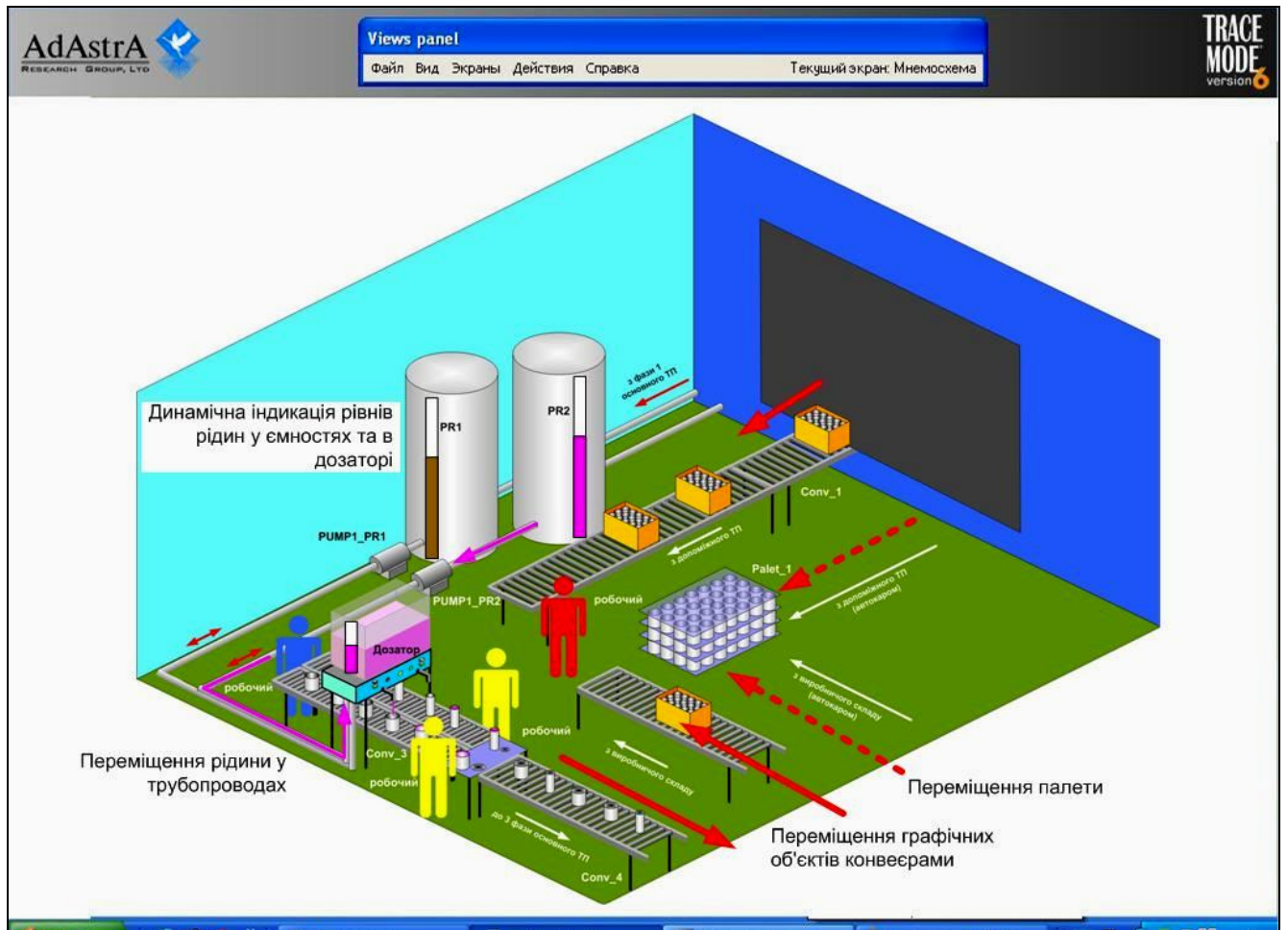


Рисунок 2.9 – Додавання засобів технічної анімації в ізометричну модель

З рисунку видно, що зображення ємностей реального ТП постачені штатними лінійчатими кольоровими індикаторами, які відображають динаміку зміни рівня хімічної рідини всередині цих ємностей в результаті вхідних чи вихідних потоків рідин через відповідні трубопроводи та насоси (потоки відображаються також штатними засобами анімації таких об'єктів). Графічні об'єкти на конвеєрах також рухаються у потрібному напрямі, зникають та з'являються на конвеєрах у потрібний момент часу. Можна відобразити і переміщення палети з пустою тарою з відповідного напрямку, навіть відобразити автокар, що рухається.

Логіку роботи такої тривимірної моделі динаміки реального ТП можна програмувати штатними засобами IDE «SCADA Trace Mode 6», наприклад, на мовах FBD, IL, ST або C.

Таким чином, актору «Студент» буде наданий повний комплект комп'ютерних моделей реального ТП, який він зможе далі трансформувати у реальний автоматизований ТП, використовуючи 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 дозування. 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 дозування. На рисунку 2.10 показана графічна модель існуючого лабораторного АТП у вигляді схеми підключення, яка показує електричні зв'язки між усіма пристроями, що утворюють ІАСУ дозуванням.

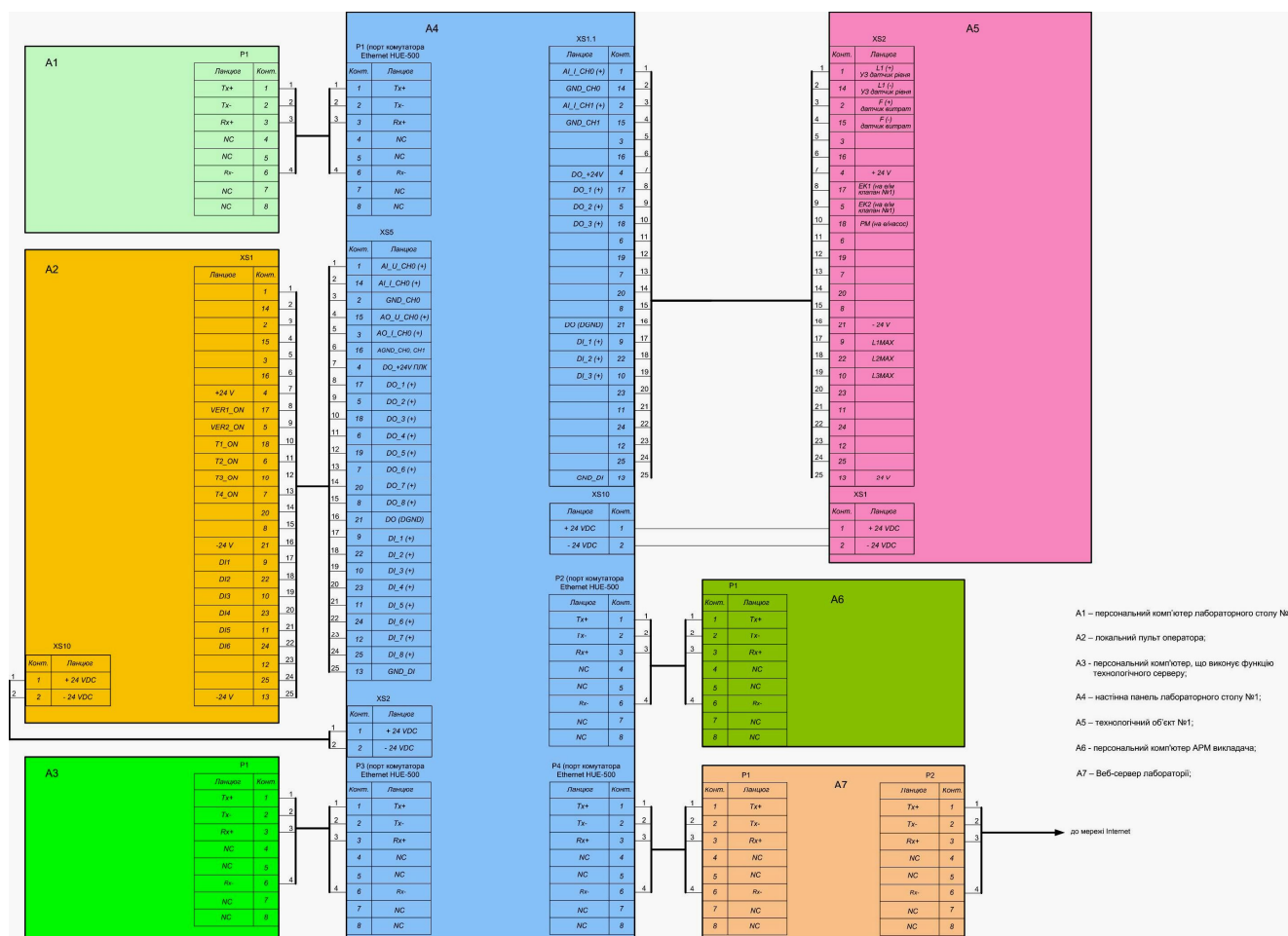


Рисунок 2.10 – Графічна модель лабораторного АТП у вигляді схеми підключення

На основі моделей апаратної частини лабораторної ІАСУ дозуванням актор «Студент» далі розробляє відповідні моделі прикладного ПЗ цієї системи..

На рисунку 2.11 показана одна з таких моделей прикладного ПЗ промислового контролера, який здійснює управління процесом лабораторного ТП дозування умовної хімічної рідини у дві умовні банки різного об'єму, що подаються до дозатора за допомогою умовного конвеєра. Ця модель відноситься до стадії ескізного проектування ПЗ, яке надалі буде розроблятися на рівні технічного проекту і реалізовуватися у відповідній інструментальній системі.

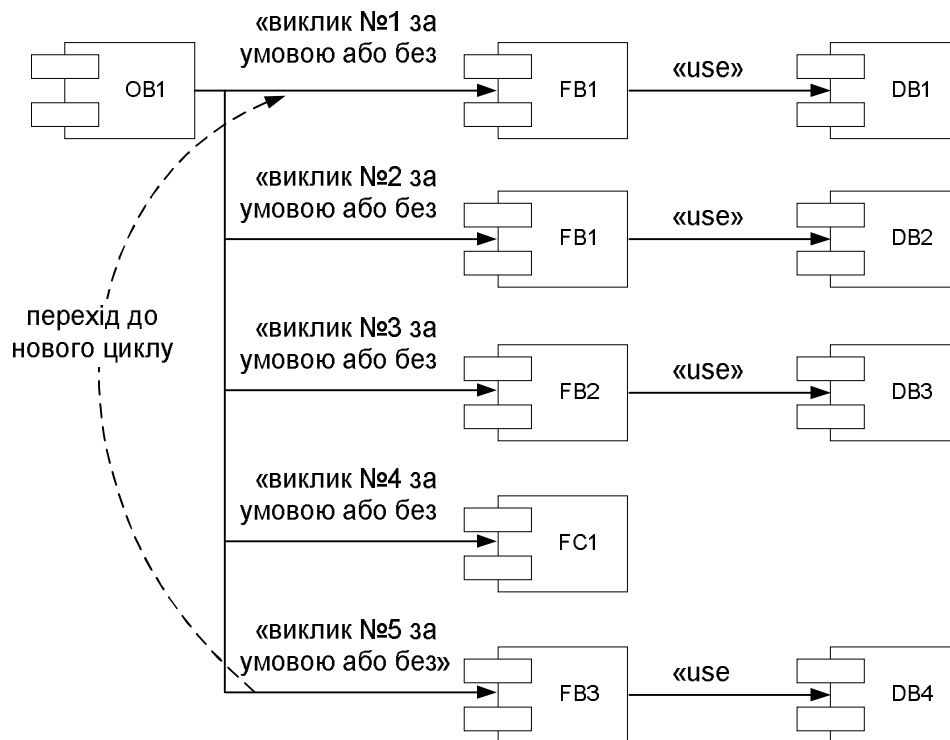


Рисунок 2.11 – Блочна структура прикладної програми ПЛК лабораторного АТП

Ця модель показує, як доцільно побудувати цю програму, щоб можна здійснювати управління лабораторним ТП дозатора відповідно до отриманого Керівного рецепту, сформованого в лабораторній ІАСУ. 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 дозуванням, яка реалізує стандартні принципи управління періодичним технологічним процесом [26]. 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.

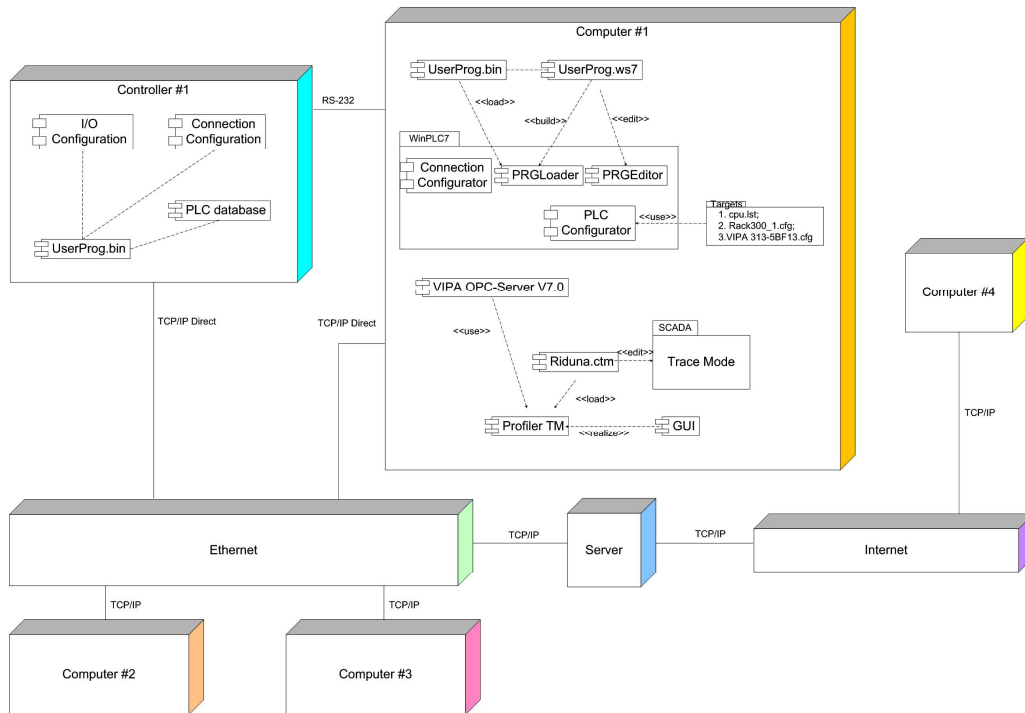


Рисунок 2.12 – Архітектура ПЗ лабораторної ІАСУ ТП дозування

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

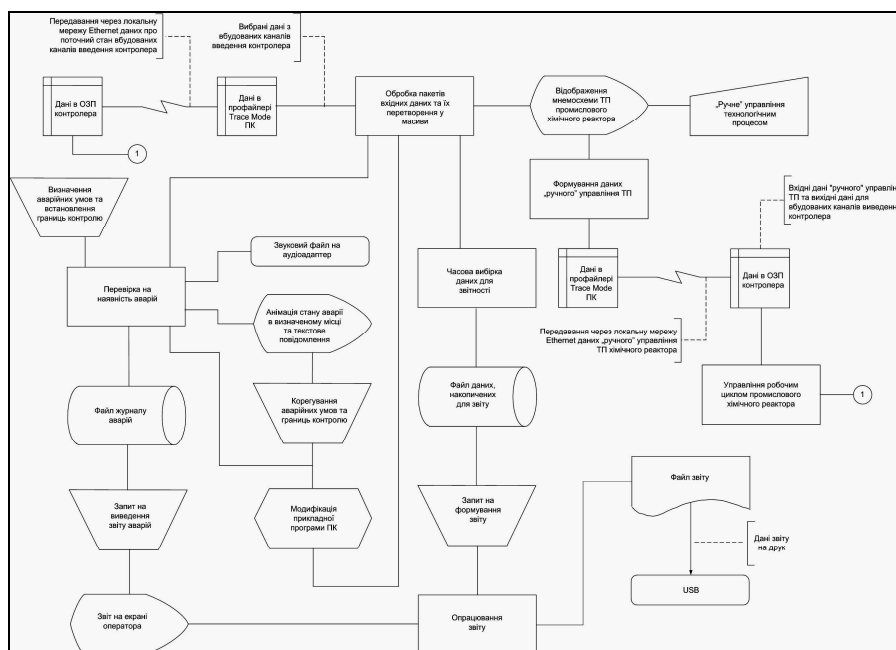


Рисунок 2.13 – Схема даних прикладного ПЗ лабораторної ІАСУ

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

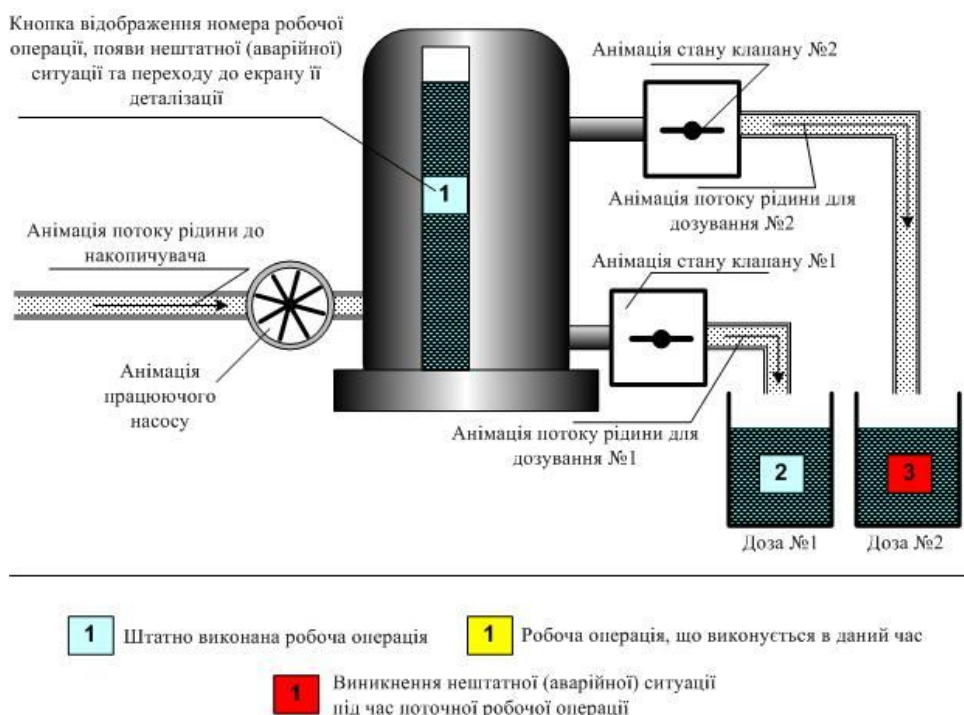


Рисунок 2.14 – Графічна модель шаблону головного екрану НМІ оператора

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, якщо є, додаткову модель динаміки 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 у трубопроводах та в ємностях знаходяться реальні хімічні рідини (готова хімічна продукція) 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).

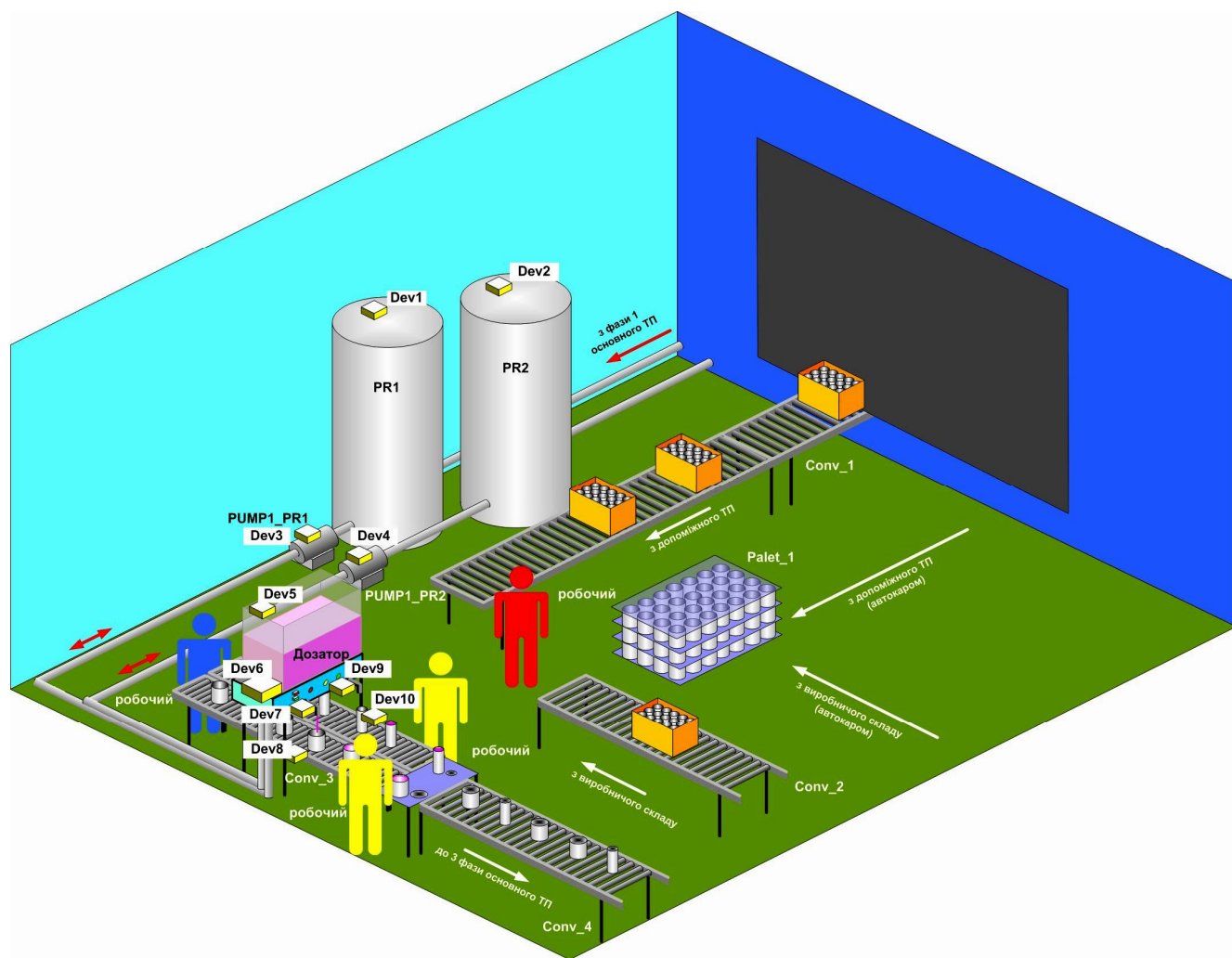


Рисунок 2.15 – Розміщення вибраних ТЗА на тривимірній моделі реального ТП

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
Dev1	Рівнемір ємності з готовим продуктом PR1	...	...
Dev2	Рівнемір ємності з готовим продуктом PR2	...	...
Dev3	Контролер насосу PUMP1_PR1	...	...
Dev4	Контролер насосу PUMP1_PR2	...	...
Dev5	Рівнемір вмісту ємності накопичувача дозатора	...	...
Dev6	Промисловий контролер АТП, вбудований в дозатор	...	...
Dev7	Вимірювач дози хімічної рідини першого вихідного крану дозатора	...	...
Dev8	Позиційний датчик положення пустої тари під першим вихідним краном дозатора	...	...
Dev9	Вимірювач дози хімічної рідини другого вихідного крану дозатора	...	...
Dev10	Позиційний датчик положення пустої тари під другим вихідним краном дозатора	...	...

Після розміщення усіх ТЗА на тривимірній моделі реального ТП актор «Студент» повинен спроектувати систему сигнальної арматури, яка забезпечить передачу електричних сигналів (вимірювання, управління) між промисловим контролером «Dev6» та рештою ТЗА реального АТП. 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. 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).

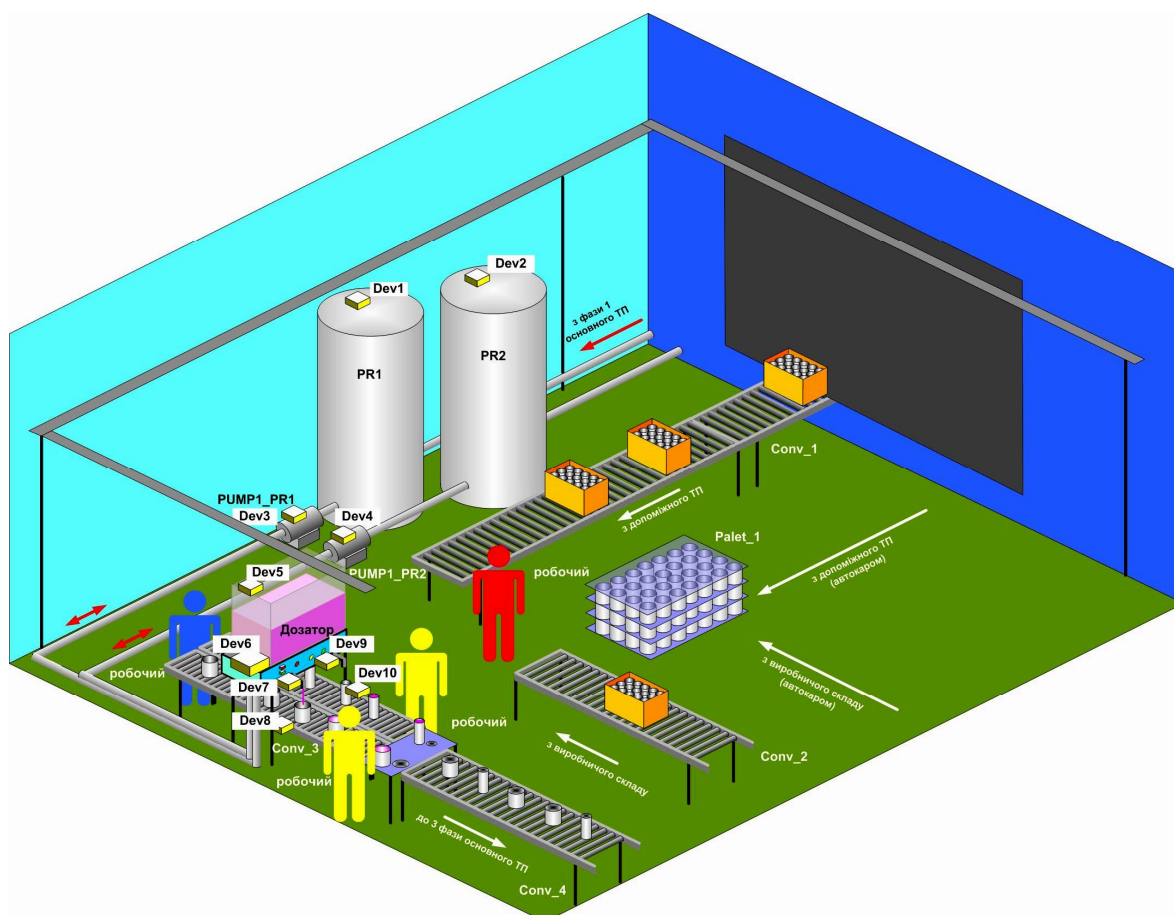


Рисунок 2.16 – Розміщення монтажної арматури на реальному ТП

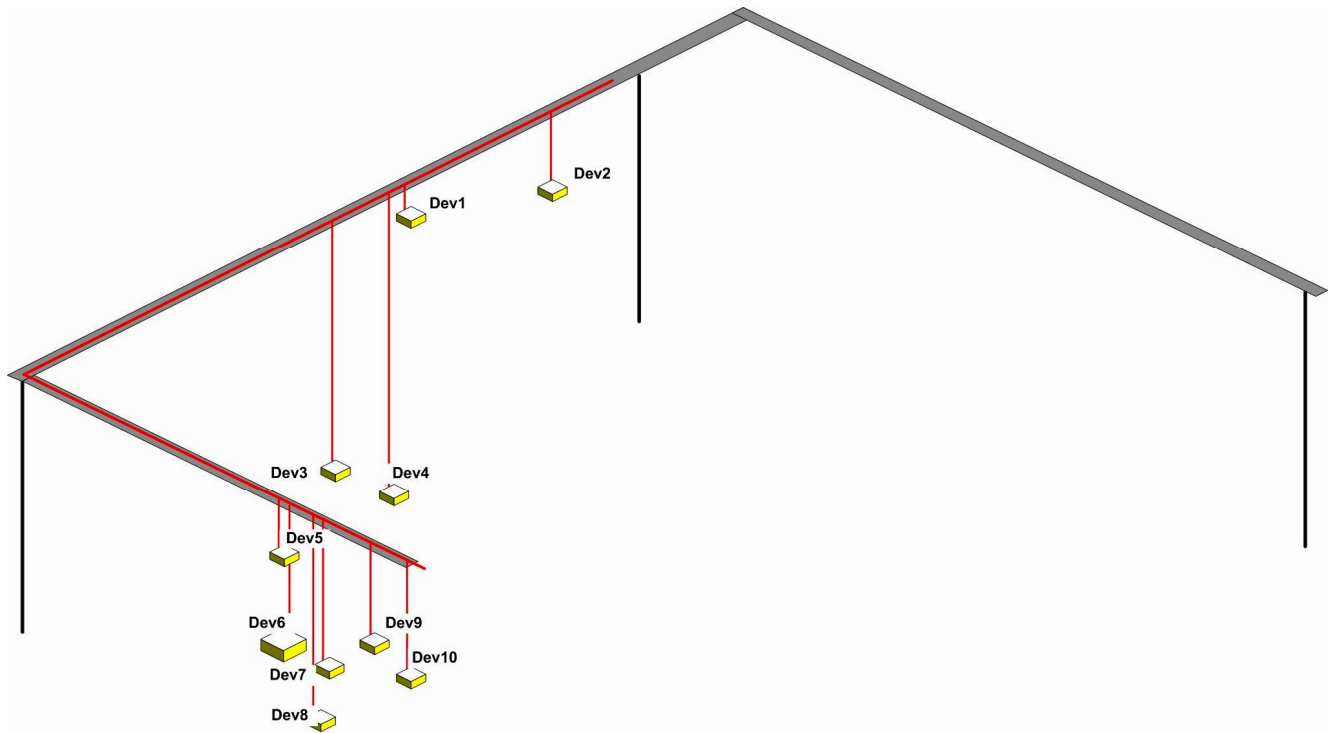


Рисунок 2.17 – Ізометрична модель електричного монтажу ТЗА на реальному ТП

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.

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 промисловий контролер реального АТП та автоматизовані місця оператора та диспетчера (рисунок 2.19).

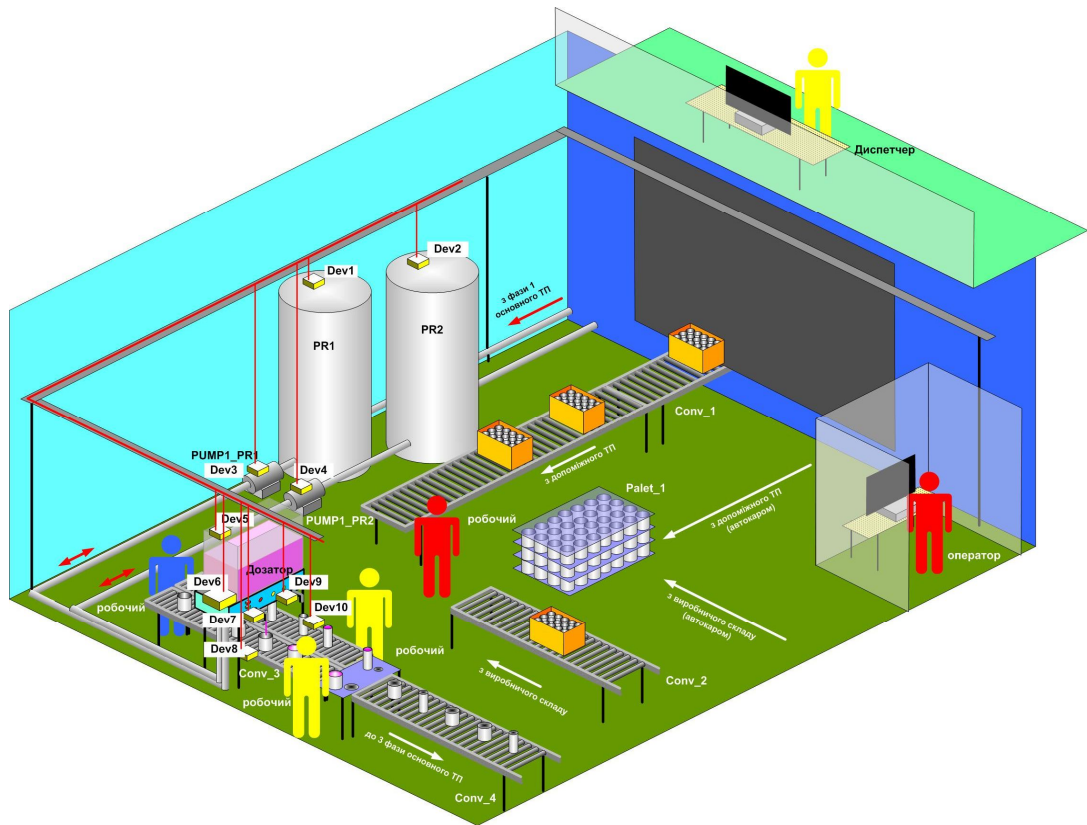


Рисунок 2.18 – Додавання до ізометричної моделі АРМів оператора та диспетчера

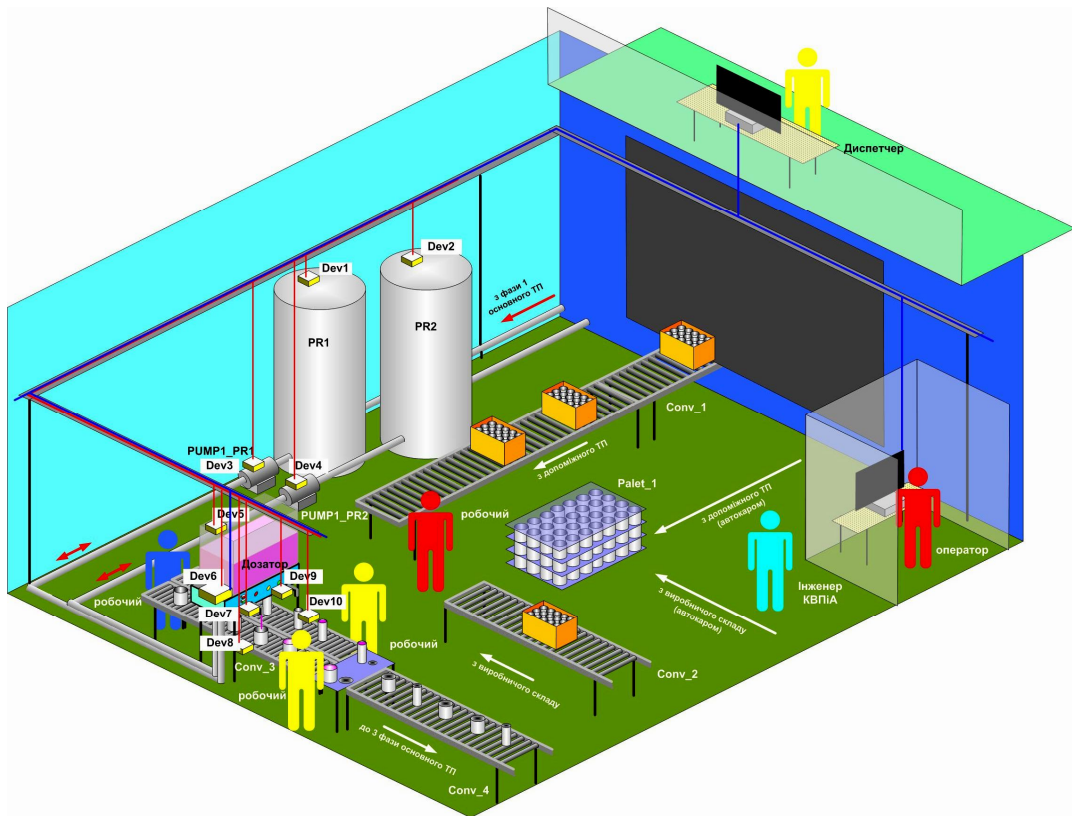


Рисунок 2.19 – «Монтаж» корпоративної цифрової мережі

На рисунку 2.19 показані усі працівники реального АТП (робочі біля конвеєрів та дозатора, оператор АТП та диспетчер ІАСУ), а також показаний додатковий працівник – 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.

2.4 Висновки до розділу

В результаті виконання дослідницьких та проектних робіт у даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи була обґрунтована модель процесу виконання стадії «Моделювання існуючого автоматизованого ТП», який виконує і студент, і викладач, в ході дослідження цифрової трансформації ТП дозування. 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 існуючого в лабораторії ТП дозування.

3 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «АНАЛІЗ РЕАЛЬНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ТП»

3.1 Загальне бачення

Цифрова трансформація існуючого технологічного процесу дозування, що вивчається на нових НЗ, як вже зазначено вище, являє собою процес поступового перетворення студентами існуючого реального АТП, побудованого за рекомендаціями концепції комп'ютерно-інтегрованого виробництва «Індустрія 3.0» (І3.0), у досконаліший варіант даного АТП, що відповідає рекомендаціям перспективної концепції цифрового виробництва «Індустрія 4.0» (І4.0).

Вище була також 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 в уявленні 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 дозування виглядає 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.

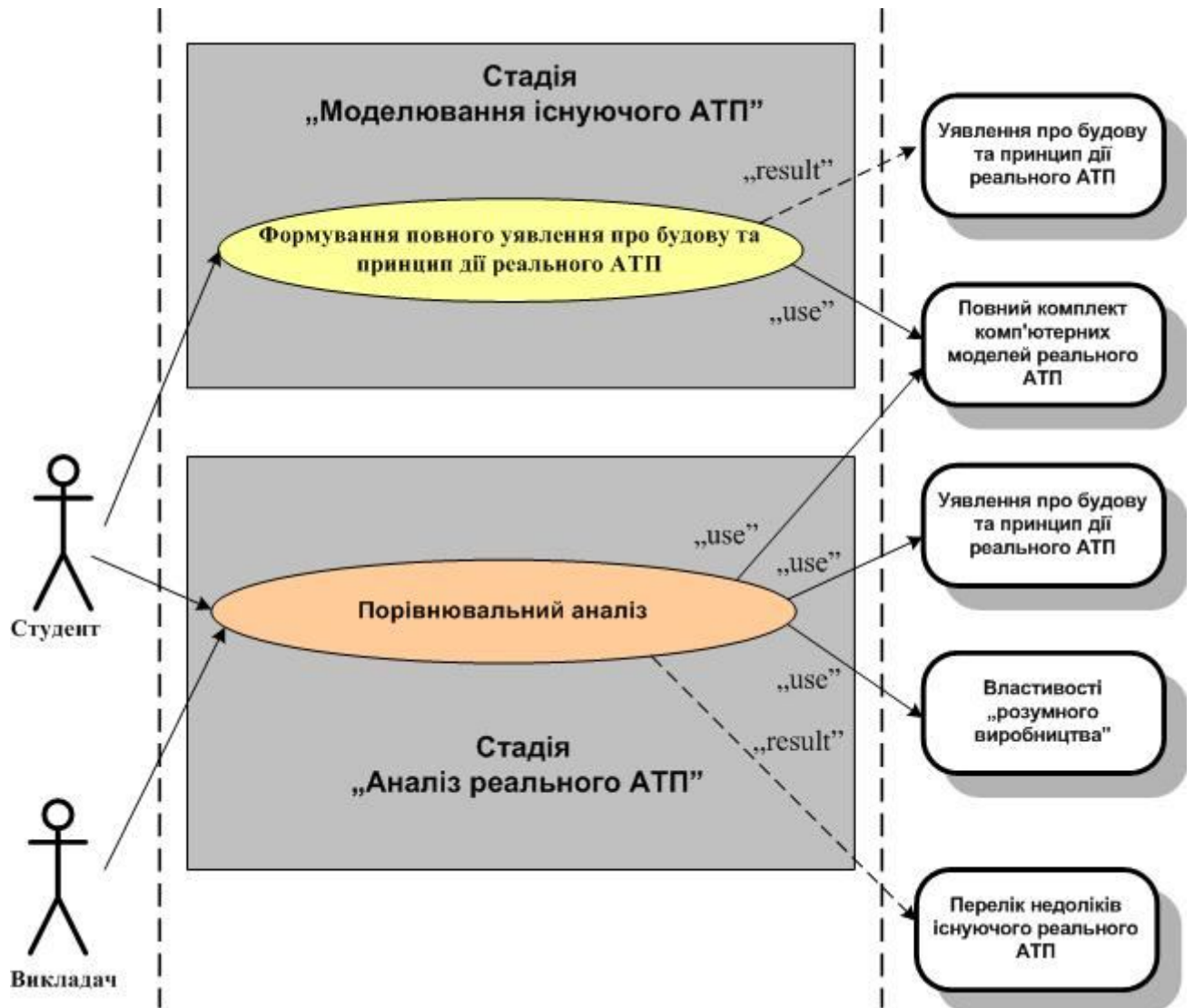


Рисунок 3.1 – Загальне бачення процесу виконання стадії

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.

На сьогодні Інтернет речей (IoT) став не тільки важливим інструментом для вивчення й моніторингу прогресу виробничих процесів з метою оптимізації продуктивності й витрат, але також і фундаментальним фактором, здатним допомогти компаніям поліпшити якість своїх процесів і кінцевих продуктів (рисунок 3.2) [27-31].



Рисунок 3.2 – Роботизована виробнича лінія, підключена до IoT

Все це стало можливим завдяки обробці додаткової інформації, одержуваної від спеціальних інтегрованих датчиків, що проливають світло на неочевидні аспекти діяльності й виступаючих як важливі джерела інформація, що має вирішальне значення для оптимізації виробництва.

На сьогоднішній день більшість виробничих підприємств характеризується високою диверсифікацією виробничої системи, хоча часто вона ще слабо відцифрована. Включення всіх механізмів у єдину систему дозволяє організувати взаємодію з виробничим обладнанням. Це робиться з метою збору цінних даних

для моніторингу ефективності виробничої системи в реальному часі. Завдяки цифровому зв'язку стає можливим контролювати фактичний час доступності обладнання, швидкість його роботи й частоту помилок (так званий OEE-index - OverallEquipmentEffectiveness, індекс загальної ефективності обладнання). У результаті з'являється можливість цифрового зворотного зв'язку й контролю робочих параметрів прямо з MES-систем керування виробництвом. Дані, зібрані й використовувані в режимі реального часу, зберігаються для аналізу з метою добування корисної для планування й оптимізації процесів інформації, наприклад, аналізу тенденцій, відхилень і повторюваних помилок, а також кореляції між проблемами й можливими їхніми джерелами (або сприятливими їм обставинами), ці закономірності виявляються промисловими аналітиками.

Один із самих цікавих пов'язаних із цифровізацією машин і процесів аспектів, безумовно, - так звана сенсоризація, тобто можливість введення в окрему машину або всю виробничу лінію датчиків з метою поліпшення якості продукції. Насправді переважна більшість машин уже володіє тією чи іншою мірою такими якостями: щоб щонайкраще виконувати виробничу функцію, комп'ютер або ПЛК, що управляє й контролює певні промислові процеси, виконувані певним устаткуванням, використовує для цих цілей ряд датчиків, встановлених усередині самої машини. Що стосується Інтернету речей і фабрик майбутнього, додаткова можливість полягає в додаванні спеціальних датчиків для контролю й оптимізації якості продукції. Якість - термін, що широко використовується в останні роки. У нього можуть вкладатися зовсім різні значення, кожне з яких припускає різні очікування. У цьому контексті нас цікавить дотримання виробничих вимог, тобто гарантія того, що продукт буде мати властивості й структурні характеристики, що підходять для задоволення потреб клієнтів. Отже, для підвищення якості продукції потрібен збір будь-якої корисної інформації, що дозволяє краще зрозуміти виробничий процес із метою його вдосконалювання й вживання коригувальних заходів у режимі реального часу (у процесі виробництва) або після більш глибокого аналізу даних, у тому числі історичних, проведеними промисловими аналітиками.

Розглянемо деякі приклади таких спеціальних цифрових датчиків:

1). Тепловізійні камери дозволяють контролювати й вимірювати температуру продуктів на різних етапах обробки, формуючи термографічні зображення високого вирішення й з високою частотою відновлення або ідентифікуючи гарячі й холодні точки навіть у об'єктів, що рухаються. Їх можна використовувати, наприклад, у скляній промисловості, де вони можуть бути корисні для виявлення можливих аномалій у виробництві пляшок, банок, пробірок, стекол. Точно так само вони можуть застосовуватися у виробництві металів (наприклад, в автомобілебудуванні), у гумовій промисловості (вулканізація), при виробництві пластмасових виробів шляхом термічного формування (при виготовленні панелей або інших предметів навіть зі складною геометрією) і так далі.

2). Профілометри (наприклад на основі лазерних сканерів), які дозволяють вимірювати профіль поверхні продукту, а також контролювати тенденції його зміни із часом. Їх можна використовувати, наприклад, для перевірки на дефекти плоскої поверхні. За допомогою таких технологій можна зробити оцінку того, як обмірюване в часі значення міняється уздовж певних осей, що дозволяє виміряти зазори між зібраними виробами (наприклад, дверей і капота щодо кузова автомобіля) або визначити параметри конкретних профілів (наприклад, протекторів шин); їх можна використовувати навіть у мікромеханічних виробництвах і при контролі позиціонування компонентів на друкованій платі, тобто у всіх областях, що вимагають найвищої точності;

3). Стереоскопічні камери, що дозволяють одержувати й аналізувати тривимірні зображення продуктів або їхніх окремих частин. Можливість відтворити 3D-зображення, схожі на формовані людським зором, надзвичайно корисні, наприклад, для огляду продукту й перевірки таких характеристик, як взаємне розташування, якість складання, форма або завершеність об'єктів. При контролі якості вони можуть бути ефективно реалізовані в таких задачах, як підрахунок або перевірка правильного положення предметів, вимір геометричних характеристик продуктів (об'єм, площа поверхні, товщина), перевірка правильності й цілісності упаковки, а також виявлення порожніх і не заповнених до норми пакувань продукту.

Інші спеціальні датчики можуть розпізнавати й класифікувати кольори (вони використовуються з додатками, що перевіряють правильність складання, відповідність кольору виробу зразку, незмінність якості продукції у виробництві із часом) і т.д. (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – Наладка промислового обладнання на основі даних, отриманих зі спеціальних цифрових датчиків

Інформація, зібрана цими спеціалізованими датчиками, додається до інформації від машини на виробничій лінії і являє собою базу даних надзвичайної цінності для компаній. Ця інформація дозволяє не тільки досконально зрозуміти й поліпшити якість виробничих процесів, але й знизити кількість дефектів, краще використовувати сировину й необхідні ресурси, скоротити кількість браку й відходів, а також сприяє тому, щоб діяльність компанії стала більш екологічно

безпечною.

У цьому контексті IoT може надати значну допомогу завдяки, наприклад, застосуванню датчиків і систем штучного зору (як на основі профілометрів, так і на базі стереоскопічних камер). Фактично за допомогою цих датчиків можна проводити морфологічні дослідження продуктів: вибірково перевірку окремих кінцевих продуктів (наприклад, випічки), перевірку начинки або підрахунок кількості продуктів у відповідних упаковках (наприклад, на етапі пакування печива або випічки в контейнерах з кілька окремими відсіками), контроль дозування, перевірку вакуумного пакування, контроль остаточного пакування (наприклад, у декількох коробках).

Другий приклад стосується індустрії споживчих товарів, зокрема, виробництва продуктів, у складі яких присутні пластикові компоненти, створені із застосуванням процесу термічного формування. У цю категорію входить цілий набір товарів, у яких є пластикові деталі, що утворюють зовнішню конструкцію, наприклад, невелика побутова техніка (кава-машини, блендери, міксери, екстрактори) або велика побутова техніка, така як холодильники з їх пластиковими внутрішніми панелями. Процес термічного формування складається з послідовних фаз, які передбачають етапи нагрівання пластикового листа в камері до певної температури й наступної передачі листа в камеру термічного формування. Тут завдяки пневматичному впливу нагрітий лист спочатку роздувається, а потім поміщається на металеву форму; після цього він притискається до форми внаслідок впливу вакууму й у результаті, остудившись контрольованим потоком повітря, приймає бажану форму. Застосування тепловізора з лінійним скануванням у переході між двома цими фазами дозволяє одержати тепловізійне зображення листа, яке можна використовувати для точного настроювання виробничих параметрів (нагрівання й формування), що впливають на поліпшення якості кінцевого продукту.

Дані, зібрані за допомогою додаткових датчиків, можуть бути використані для створення цифрових моделей обладнання в реальному часі.

Імітаційна модель, у свою чергу, дозволяє випробувати варіанти процесів до того, як вони будуть розгорнуті у виробничих системах.

Рішення IoT, застосовувані в конкретному виробничому контексті для підвищення якості продукції, приносять переваги, що часто далеко виходять за рамки поставленої цілі. Фактично, крім надання в режимі реального часу цілого набору інформації, що може бути використана для відповідного коректування робочих параметрів у процесі виробництва, вони служать джерелом даних, які разом з відповідними параметрами виконання процесу необхідні для розуміння, поглиблення й удосконалювання самого виробничого процесу. Отже, рішення IoT дозволяють:

- поліпшити якість продукції й знизити обсяг браку;
- скоротити відходи й заощадити сировину, одночасно переходячи до більш екологічно безпечних процесів, що оптимально споживають енергоресурси й зменшують забруднення навколишнього середовища;
- мати в наявності потужний інструмент для аналізу виникаючих на виробництві проблем;
- реалізувати структурований контроль кожної зміни виробничих процесів, збагачуючи арсенал засобів можливостями цифрових двійників машин або процесів;
- розширити базу даних, доступних для промислової аналітики, чим підсилити функції раннього попередження й прогностного обслуговування;
- зв'язати докладну інформацію про виробництво з кінцевими продуктами, як для внутрішнього використання (наприклад, для управління гарантійним обслуговуванням), так і в перспективі для зовнішнього використання кінцевими клієнтами.

Аналізуючи усі наведені вище приклади застосування IoT та цифрової сенсоризації на «розумному виробництві» будь-якого цифрового підприємства, побудованого за концепцією «Індустрія 4.0», можна виділити основні його властивості, що характеризуються відповідними ознаками.

Ці ознаки можна віднести до таких трьох груп: «Економічні ознаки», «Технічні/функціональні ознаки» та «Соціальні/суспільні ознаки».

В таблиці 3.1 наведені усі ці ознаки та їх короткі характеристики.

Таблиця 3.1 – Основні ознаки «розумного виробництва» І4.0

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.
Нові бізнес-моделі управління виробництвом	Засновані на тім, що цінність визначається не тільки самим виробом, але й знаннями й ноу-хау, які пов'язані із цим виробом. Успішними стають ті компанії, які оперативно впроваджують знання й ноу-хау серед своїх співробітників і в ланцюжках створення цінності. При цьому ці ланцюжки мають розгортатися у мережі, які об'єднуюватимуть можливості реального й віртуального світів для розробки, впровадження й спільного використання стійких інновацій, а також для безперервного вдосконалення 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.

Продовження таблиці 3.1

1	2
Віртуалізація виробничого середовища	Віртуальне виробниче середовище, як правило, створюється й управляється на основі інфраструктури спеціальної віртуальної платформи. Ця інфраструктура дозволяє візуалізувати і контролювати у віртуальному середовищі те, що неможливо фізично побачити в реальному світі, - єдину промислову екосистему. При цьому новітні цифрові технології забезпечують можливість ефективної роботи у віртуальному виробничому середовищі.
Абсолютна гнучкість виробничих процесів	Споживчий попит може раптово змінитися, нові технології миттєво стають революційними і тому виробничі процеси повинні бути більш гнучкими й такими, що налаштовуються у відповідності зі змінами. При цьому оперативність - локальна або глобальна - стає вкрай важливою. Наприклад, швидкий вивід нової продукції на ринок є запорукою отримання максимальних прибутків. Знання типових потреб користувача й можливість адаптації до них продуктів і потоків операцій у реальному часі дають чимало переваг.
Децентралізація (Decentralization)	Перенесення децентралізованого та автономного прийняття рішень до машин та кіберфізичних систем, в тому числі, і до автономних системних елементів (модулі, системи обробки матеріалу та продукту), що розміщені де завгодно на рівні виробництва. Головною метою є надати кіберфізичним системам можливість приймати рішення без втручання централізованого управління (людини чи машини).
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.

Продовження таблиці 3.1

1	2
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 (ІТ) і операційних технологій (ОТ) вимагає наявності висококваліфікованих фахівців – системних інтеграторів, які здатні продемонструвати свої уміння та знання в конкретних аспектах «підключеного підприємства». Хоча Industry 4.0 замінює більшість робочих місць автоматизацією, проте, вона також і створює багато робочих місць, але з іншим характером праці.
Екологічна безпечність	Скорочення кількості браку й відходів, що сприяє екологічно безпечнішій діяльності підприємства. Застосування більш екологічно безпечних процесів, що оптимально споживають енергоресурси й зменшують забруднення навколишнього середовища
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 екскурсиводи, 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 вже 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.

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 вже існує і структура АТП «розумного виробництва», що ґрунтується на концепції І4.0.

Виходячи з навчально-методичних міркувань, буде більш доцільним взяти за взірець 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 компоненту структури І4.0 у складі структури існуючого реального АТП можна зразу вважати його недоліком, тобто у цьому випадку процес аналізу значно спрощується.

На даний час структурну будову «розумного підприємства» І4.0 та його «розумного виробництва» регламентують декілька стандартних моделей, які називаються референтними [32-35].

Як було описано вище, цифрова промисловість була вигадана як одна з основних стратегій руху до виробництва, що засноване на знаннях. В наш час розвиток цифрових платформ для промисловості є реальністю, вони відіграють ключову роль у підтримці процесів сумісного виробництва, обслуговування, аналізування та прогнозування у бізнес-мережах. Крім того, вони забезпечують гнучкість для підприємств шляхом швидкого та простого об'єднання сервісів та додатків. Референтні моделі для такого цифрового виробництва, що побудоване за концепцією І4.0, є новою областю дослідження, яка вимагає зараз особливої уваги, враховуючи нові парадигми Інтернету та кіберфізичних систем для промисловості. Загалом, референтні моделі для І4.0 у певній мірі базуються на Computer Integrated Manufacturing Open System Architecture (CIMOSA) та стандарті ISA-95 [36]. Серед них найбільшого розповсюдження зараз набула архітектурна модель, яка отримала назву «Reference Architecture Model for Industry 4.0» або «RAMI 4.0» [32].

Ця модель 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 і які відомі зараз під назвою «розумне виробництво», «інтелектуальне виробництво» та просто «Індустрія 4.0» (І4.0). Референтна модель надає загальну структуру та мову для пояснення та специфікації системної архітектури, що, відповідно, сприяє поліпшенню загального розуміння та системної взаємодії. При архітектурному описі цифрових виробничих платформ рівняння на референтну модель є дуже корисним, бо вона надає каркас для стандартизації відповідних технічних систем, від їх розробки, подальшої інтеграції і до їх дії.

Референтна модель RAMI 4.0, що показана на рисунку 3.4, базується на трьохвимірній системі координат – «Шари» (Layers), «Життєвий цикл та потік формування цінності» (Life Cycle & Value Stream) та «Ієрархічні рівні» (Hierarchy Levels). Ця структура може використовуватися для системної організації та подальшої розробки концепцій та технологій в рамках І4.0.

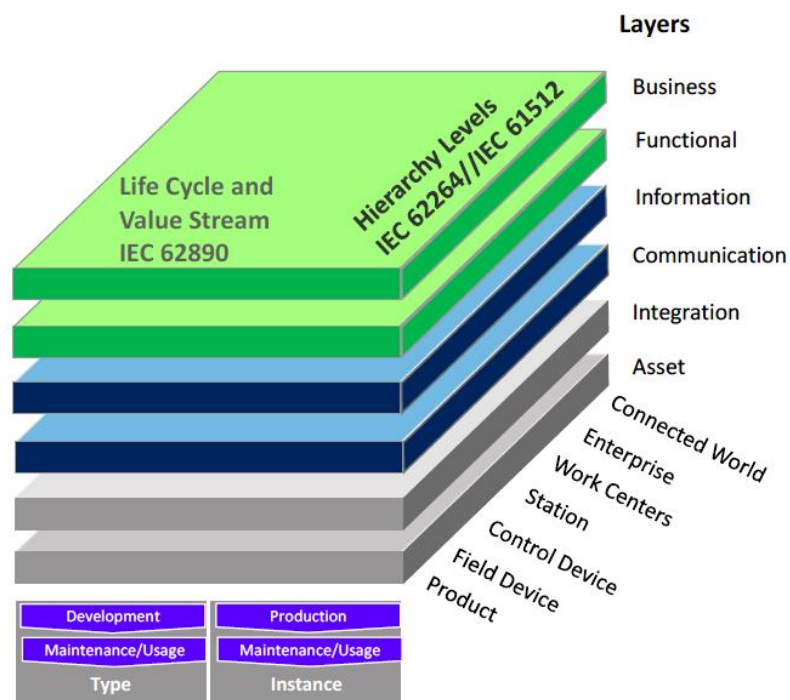


Рисунок 3.4 - Референтна архітектурна модель RAMI 4.0

Ієрархічні рівні (Hierarchy Levels) представляють в моделі RAMI4.0 різні функціональні рівні «розумної фабрики» (рисунок 3.5), що засновані на стандартах IEC 62264 (ISA 95) та IEC 61512 (ISA 88) [36]. При цьому для уніфікованого опису, що охоплюватиме різні архітектури виробничих систем, ієрархічні рівні моделі RAMI4.0 не максимально точно відповідають рівням вказаних стандартів, проте, за необхідності можна вводити в проєкт конкретної системи і ті стандартні рівні, що відсутні в референтній моделі. Тобто між ієрархічними рівнями моделі RAMI4.0 та рівнями організаційних моделей вказаних стандартів існує тісний зв'язок.

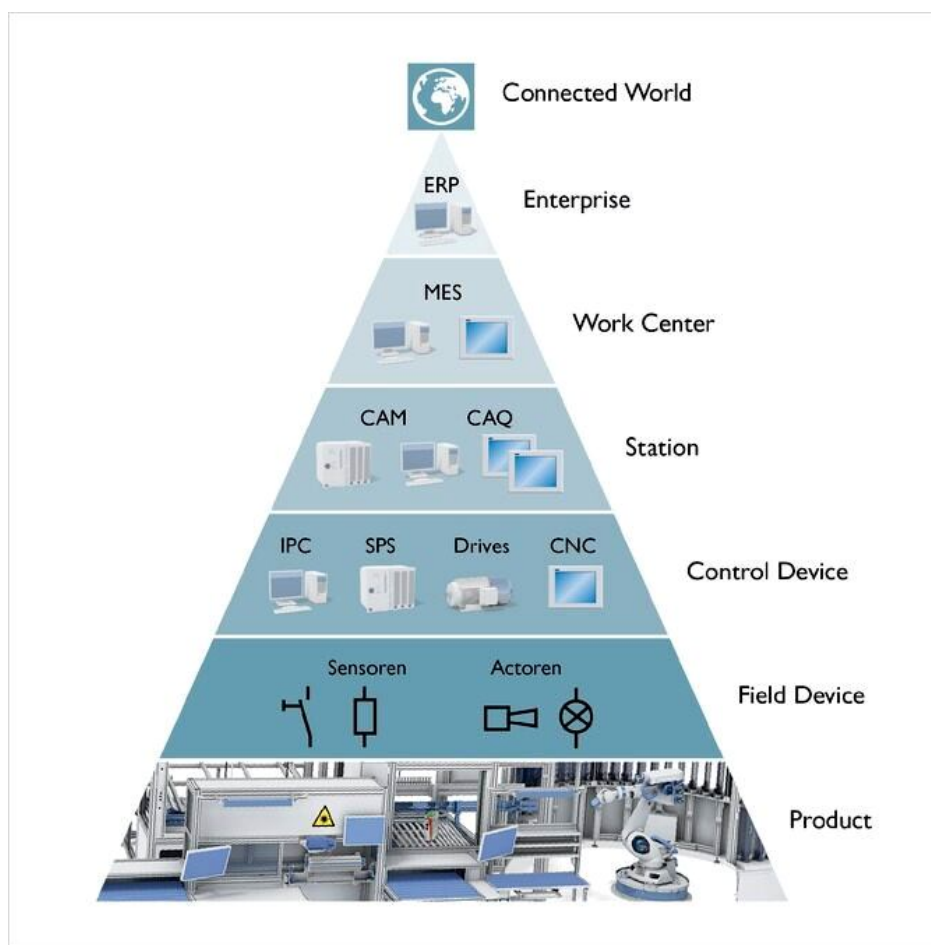


Рисунок 3.5 – Розширена для RAMI 4.0 стандартна піраміда автоматизації

Рівень «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.

Рівень «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.

Рівень «Майданчик» (site) описаний лише у вказаних стандартах. Він означає фізичне, географічне або логічне угруповання підприємства. Основна продуктова потужність зазвичай ідентифікує саме майданчик, тому він зазвичай має добре описані виробничі потужності. Планування та складання розкладів характерні саме для майданчиків. Як зазначено, цей рівень не включений до моделі RAMI4.0, але тут він розглядається для полегшення розуміння наступних рівнів.

Рівень «Ділянка, область» (Area) представляє фізичне, географічне або логічне угруповання, що означене на рівні «Майданчик» (site). Ділянки (області) зазвичай мають добре визначені (описані) виробничі потужності та можливості. Ділянки (області) можуть містити один або більше елементів більш низького рівня ієрархії. Як і у випадку майданчика, цей стандартний ієрархічний рівень не відображається у моделі RAMI4.0, проте, описаний тут для полегшення розуміння рівнів моделі RAMI4.0, що описаних нижче.

Рівень «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 комірka). 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 елементу, 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.

Рівень «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.

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

Рівень «Польовий пристрій» (Field Device) представляє пристрій, інстальований на польовому рівні, який фізично взаємодіє з виробничим процесом та продуктом (продукцією), наприклад датчик або виконавчий механізм.

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

Шари архітектурної моделі RAMI4.0 (див. рисунок 2.1), організовані уздовж вертикальної вісі і відображають різні керуючі шари інформаційних технологій (ІТ) проекту конкретного І4.0 рішення. Кожний шар збирає в собі різні частини системи, що призначені для виконання управління (схеми даних, комунікації, апаратні засоби і т.д.), забезпечуючи сервіси для верхнього шару та об'єднуючи дії сервісів нижнього шару. В архітектурній моделі різні шари означені так:

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

- 2). Функціональний шар (Functional): забезпечує середовище виконання та моделювання для сервісів, які підтримують бізнес шар. Віддалений доступ та горизонтальна інтеграція мають місце у функціональному шарі, окрім процесів, що мають лише відношення до нижчого шару (наприклад, читання діагностичних

даних), або тих, що не мають відношення до постійної функціональної та горизонтальної інтеграції (наприклад, технічне обслуговування).

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

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

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

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

Таким чином, в процесі цифрової трансформації АТП дозування в якості структурних компонентів для його порівнювального аналізу доцільно використовувати усі ті архітектурні компоненти, що 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 нових НЗ.

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 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.

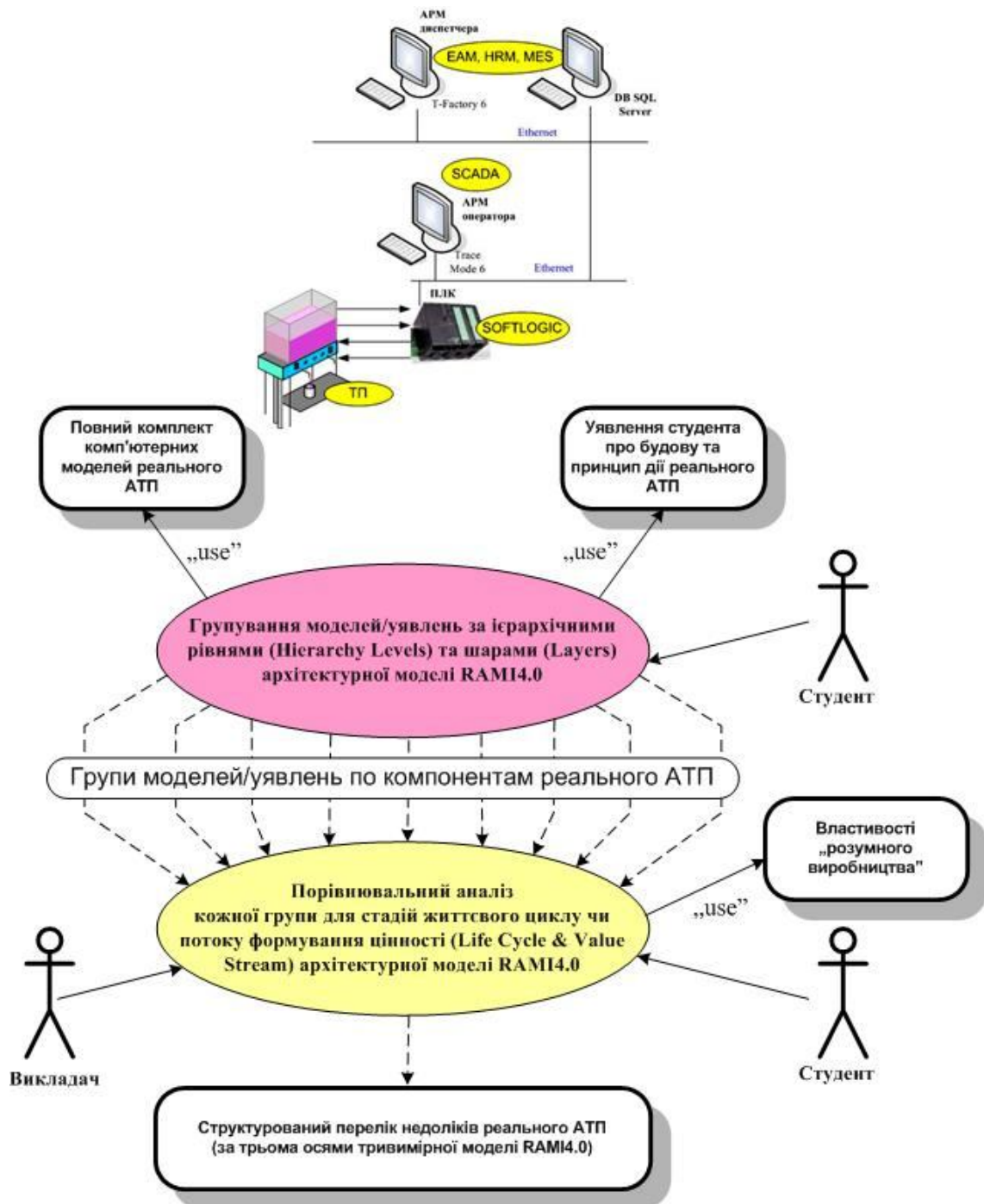


Рисунок 3.6 – Алгоритм виконання стадії «Аналіз реального ATP»

3.3 Приклад виконання аналізу

Розглянемо приклад використання запропонованого алгоритму. Візьмемо довільний фрагмент існуючого реального ATP дозування, ізометрична модель якого показана на рисунку 3.7. Вона відображує робочу операцію, здійснювану

робочим, по встановленню ним чергової пустої банки на відповідний конвеєр, що далі в автоматичному режимі переміщує цю банку до вихідного крану дозатора .

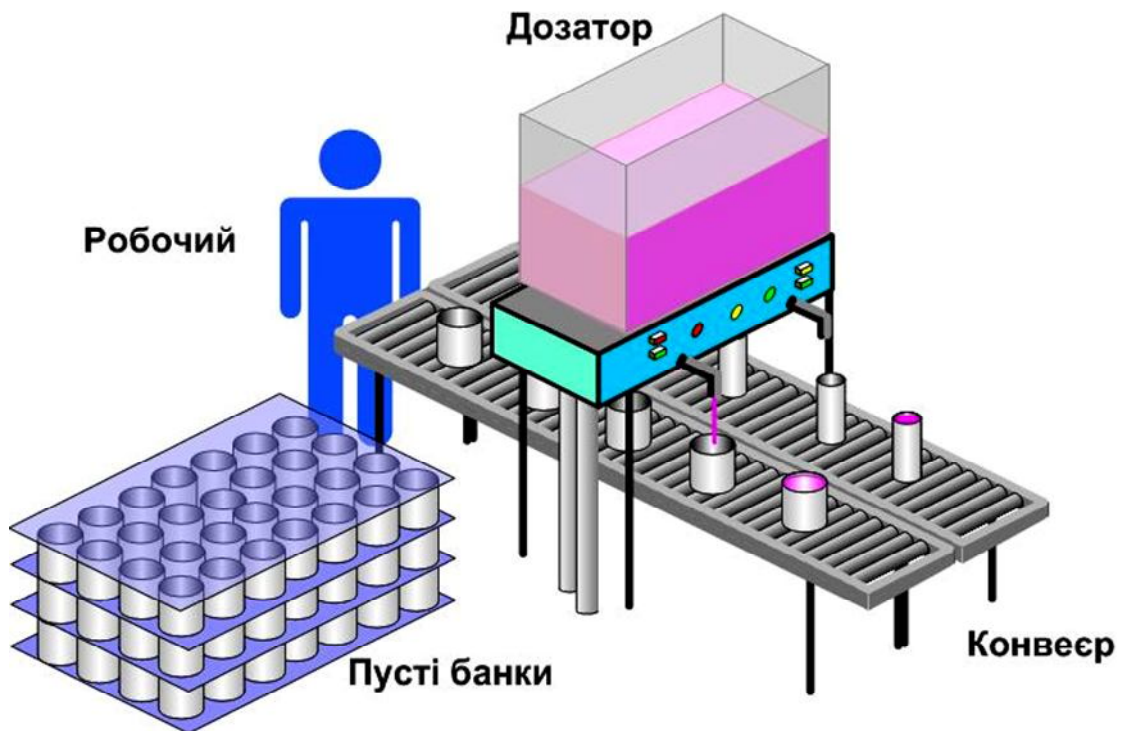


Рисунок 3.7 – Фрагмент реального АТП для виконання порівняльного аналізу

Спочатку, згідно з описаним вище алгоритмом, виділимо усі складові компоненти існуючого АТП. Для цього прикладу їх буде чотири – робочий, що здійснює дану операцію (Робочий), пуста банка, яку робочий ставить на конвеєр (Пуста банка), конвеєр автоматичної подачі банки у дозатор (Конвеєр) та дозатор, як технологічна установка (Дозатор).

Тепер розподілимо ці компоненти по групах у відповідності з ієрархічними рівнями (Hierarchy Levels) моделі RAMI4.0. В нашому прикладі, як показано на рисунку 3.8 та в додатку Б, усі виділені вище компоненти відносяться до одного рівня – «Product» (продукція, виробниче встаткування та виробничі системи).

Далі переходимо до вісі «Layers» моделі RAMI4.0, означуючи на ній відповідні активи/ресурси реального АТП, які важливі для ІТ-відображення реального АТП. Тут треба відмітити, що для нашого прикладу, беручи до уваги саме навчальну мету цих дій, ми вказуємо у шарі «Asset» вісі «Layers» тільки ці

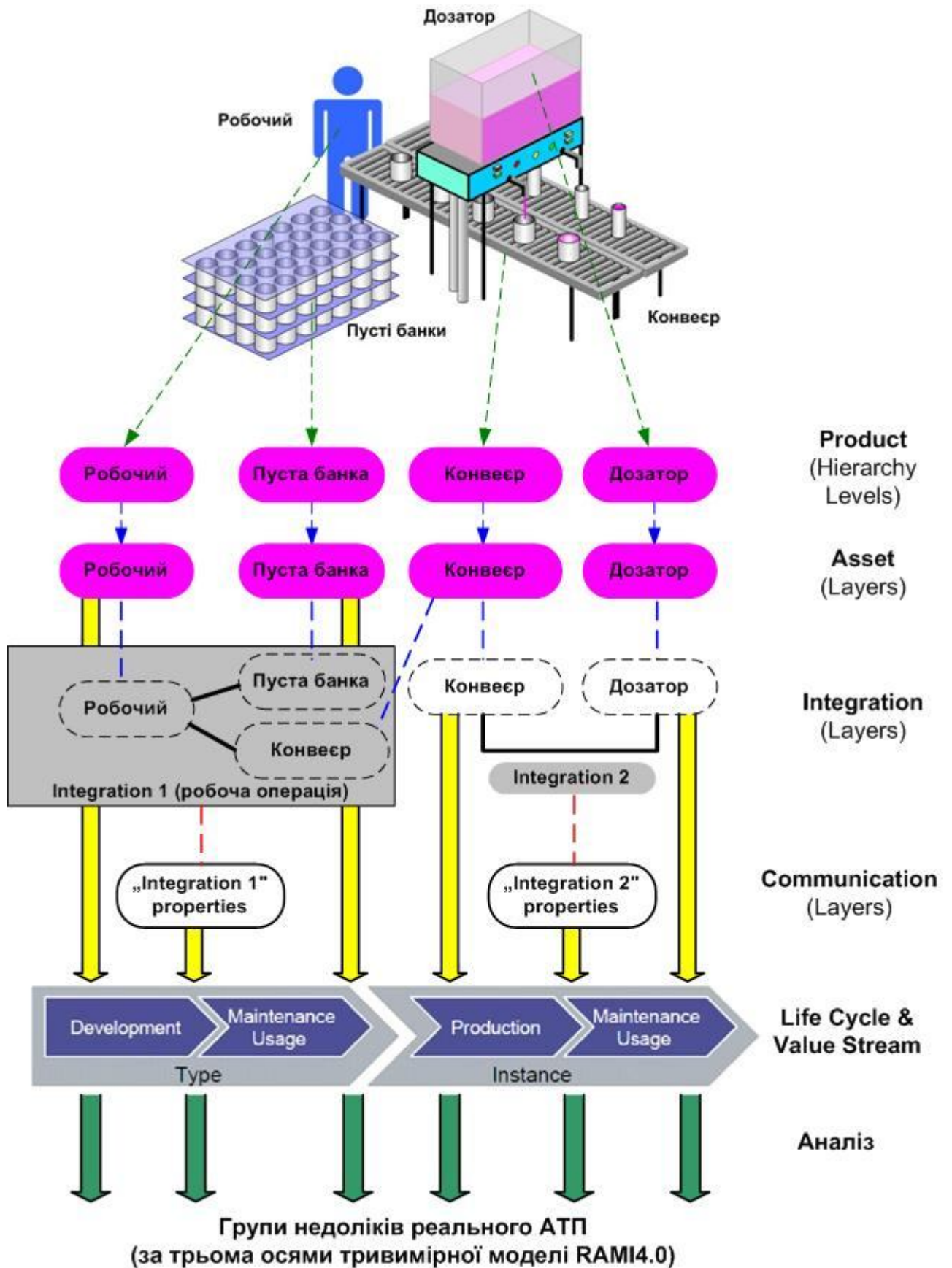


Рисунок 3.8 – Приклад виконання порівнювального аналізу для фрагмента реального АТП

чотири компоненти з ієрархічного рівня «Product». Якщо б в нашому прикладі був присутній компонент рівня «Control Device», який, наприклад, керує конвеєром, то в шарі «Asset» ми повинні були означити ще і ті цифрові дані, які використовує цей пристрій управління. Проте, в нашому прикладі такого керуючого пристрою немає, тому і немає в шарі «Asset» такого активу/ресурсу як цифрові дані.

Переходимо далі по вісі «Layers» у шар «Integration». Тут можна означити ті об'єднання компонентів (інтеграційні зв'язки), які важливі для функціонування даного фрагменту реального АТП. В нашому випадку важливі два об'єднання компонентів:

- «Робочий», «Пуста банка» та «Конвеєр», яке можна позначити як «Integration 1 (робоча операція)»;

- «Конвеєр» з «Дозатор», яке можна позначити як «Integration 2».

На справді, у шарі «Integration» для АТП «розумного виробництва» має відобразитися зовсім інші об'єднання, а саме, інтеграція даного виробництва з віддаленими у мережі Інтернет іншими «розумними виробництвами» або з НМІ працівників. Тобто підкреслюємо, що за визначенням модель RAMI4.0 не призначається для опису існуючого реального АТП. Просто ми, виходячи тільки з навчально-методичних міркувань, вимушені дещо змінити призначення даного шару моделі RAMI4.0, щоб далі забезпечити виконання повного порівнювального аналізу існуючого реального АТП.

Тепер переходимо у шар «Communication», де описуємо тим чи іншим способом властивості двох інтеграційних зв'язків – «„Integration 1" properties» та «„Integration 2" properties», які виділені у шарі «Integration», тобто розробляємо їх специфікацію.

Таким чином, в результаті всіх попередніх дій у нас буде сформовані такі групи компонентів реального АТП для проведення їх аналізу у порівнянні з властивостями «розумного виробництва»:

- «Робочий», «Пуста банка», «Конвеєр» та «Дозатор» (компоненти ієрархічного рівня «Product» інтегрованої системи автоматизації;

- «Робочий», «Пуста банка», «Конвеєр» та «Дозатор» (компоненти шару

«Asset» вісі «Layers» ІТ – представлення інтегрованої системи автоматизації);

– «Integration 1 (робоча операція)» та «Integration 2» (компоненти шару «Integration» вісі «Layers» ІТ – представлення інтегрованої системи автоматизації);

– «Integration 1 properties» та «Integration 2 properties» (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 та потоку формування цінності, формуючи при цьому перелік недоліків існуючого реального АТП. Для прикладу наведемо тільки окремі з цих недоліків, які можна виявити в результаті такого порівнювального аналізу.

Так, компонент «Робочий», як частина АТП загальної інтегрованої системи автоматизації виробництва (вісь ієрархічних рівнів), для стадії використання (Usage) у порівнянні з властивістю/ознакою «Висока виробнича ефективність (КПЕ)» «розумного виробництва» (див. таблицю 3.1) має обмежену продуктивність. Також присутність компонента «Робочий» в існуючому реальному АТП суперечить властивостям/ознакам «Новий характер людської праці» та «Ергономічна безпечність» АТП «розумного виробництва», які виключають з виробничого процесу тяжку та монотонну людську працю.

Розглядаючи компонент «Робочий» у шарі «Asset» вісі «Layers» ІТ – представлення інтегрованої системи автоматизації, можна зробити висновок, що цей компонент не контролюється цією системою, бо в існуючому реальному АТП не генеруються будь-які дані щодо його дій у реальному часі, тому його дії, а скоріше бездіяльність, можуть призводити до збоїв в роботі усієї виробничої системи, а це суперечить такій властивості/ознаці «розумного виробництва», як «Висока стійкість (надійність)» (див. таблицю 3.1). Відсутність в інтегрованій системі даних реального часу про дії компонента «Робочий» є недоліком існуючого реального АТП, бо не відповідає такій властивості/ознаці «розумного виробництва», як «Цифрова виробнича система», яка передбачає обов'язкову наявність усіх потрібних цифрових даних про дії компонентів системи у

реальному часі.

Те ж саме стосується компонентів «Конвеєр» та «Дозатор» у шарі «Asset» вісі «Layers», бо це виробниче обладнання не укомплектоване потрібними спеціальними цифровими датчиками, дані з яких могли б дозволити системі управління або виключити випадки браку при дозуванні, наприклад, шляхом вимірювання кількості реально наливої продукції у кожній банці на конвеєрі (таким чином реальний АТП не відповідає властивості/ознаці «Висока якість продукції»), або виявляти можливість поломки/нештатної зупинки обладнання і оперативно реагувати на це (тобто реальний АТП не відповідає властивості/ознаці «Висока стійкість (надійність)»), або швидко адаптуватися до зміни виду продукції та тари, в яку вона дозується (реальний АТП не відповідає властивості/ознаці «Абсолютна гнучкість виробничих процесів»).

Якщо проаналізувати компонент «Integration 1 (робоча операція)» у шарі «Integration» вісі «Layers», то її наявність вже є недоліком існуючого реального АТП, бо описує ручну робочу операцію, що суперечить кільком властивостям/ознакам «розумного виробництва, про що вже йшла мова вище.

Компонент «Integration 1 properties» у шарі «Communication», по суті, описує основні властивості ручної операції, наприклад, робочий може втомлюватися та втрачати увагу, що призведе або до неточного/неритмічного виконання операції (порушується хід виконання ТП), або до виникнення браку даного ТП (наприклад робочий може неточно поставити чергову пусту банку на конвеєр, а дозатор із-за цього не повністю наповнить її готовою продукцією або взагалі наллє повз банки, якщо банка із-за неточної установки потім впаде). Такі випадки неприпустимі у «розумному виробництві (властивості/ознаки «Висока виробнича ефективність (КПЕ)» та «Висока якість продукції»)

Усі перелічені недоліки конкретного фрагменту існуючого реального АТП насправді складають невелику частку тих недоліків, які можна виявити шляхом ретельного порівнювального аналізу усіх компонентів даного АТП за описаним вище алгоритмом. Цей факт вказує на те, що навчальний потенціал даної стадії практичного виконання студентом цифрової трансформації дуже значний і може надати студенту багатий практичний досвід.

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 дозування. 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 діяльностей

На цій стадії дослідження цифрової трансформації реального АТП дозування студент та викладач мають виконувати певну послідовність обов'язкових діяльностей для досягнення кінцевої мети – набуття студентом потрібного обсягу теоретичних знань та практичного досвіду, достатніх для самостійного виконання цифрової трансформації реального промислового підприємства, де студент потім буде працювати (рисунки 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 дозування, 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 дозування, 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 проектного 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

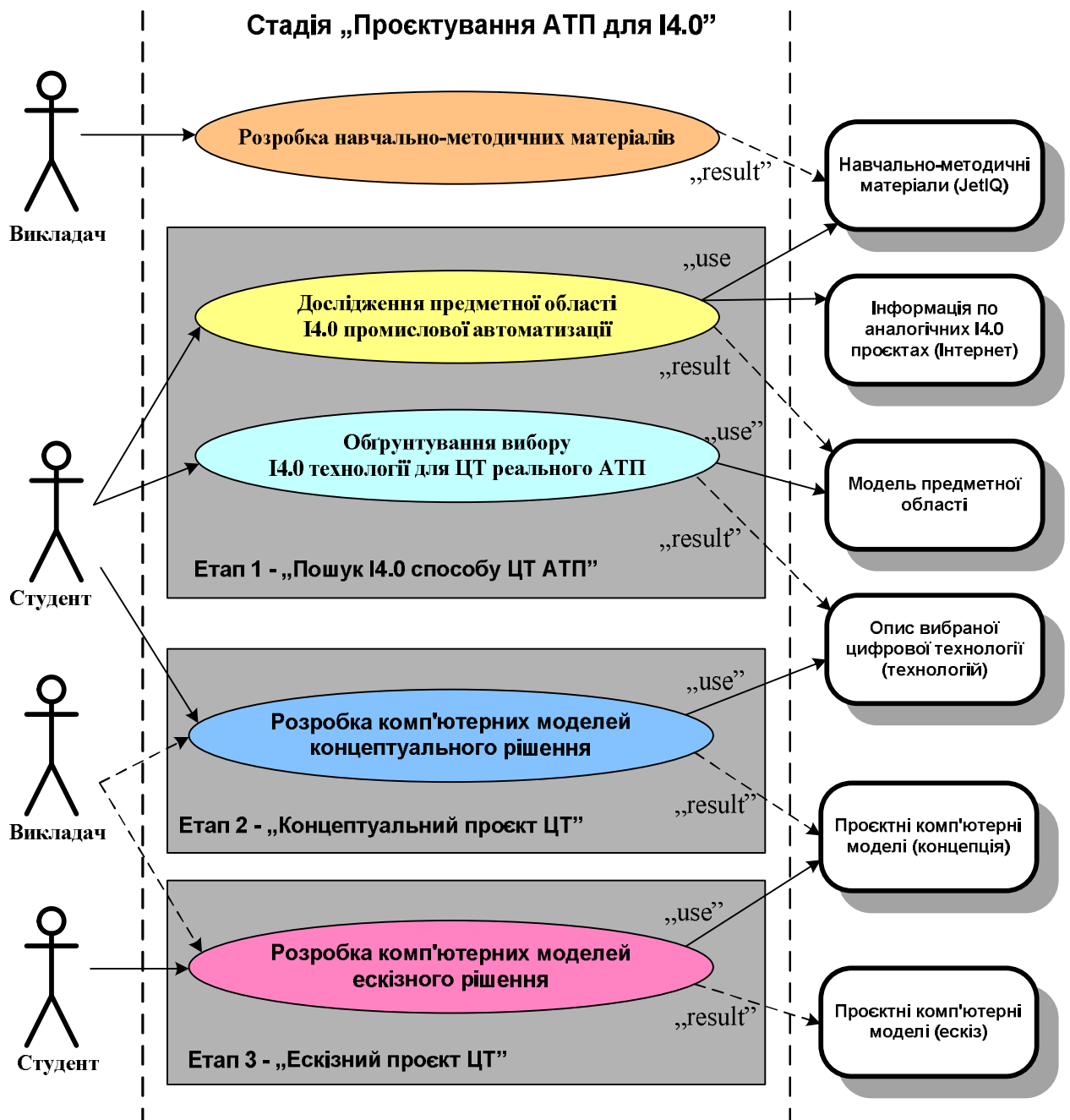


Рисунок 4.1 – Модель діяльностей заключної стадії дослідження цифрової трансформації реального АТП

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 дозування, 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 дозування 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 дозування, який повинен бути представлений у вигляді відповідних комп'ютерних моделей статичної та динамічної трансформованого АТП дозування. 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 дозування 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 І4.0 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 І4.0 промислової автоматизації.

На рисунку 4.2 наведений варіант побудови такої графічної концептуальної моделі предметної області І4.0 промислової автоматизації. В якості відправної точки її будування вибране класичне означення промислової кіберфізичної системи (КФС), яка є фундаментом промислової автоматизації за концепцією І4.0, – «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» [37]. 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» І4.0.

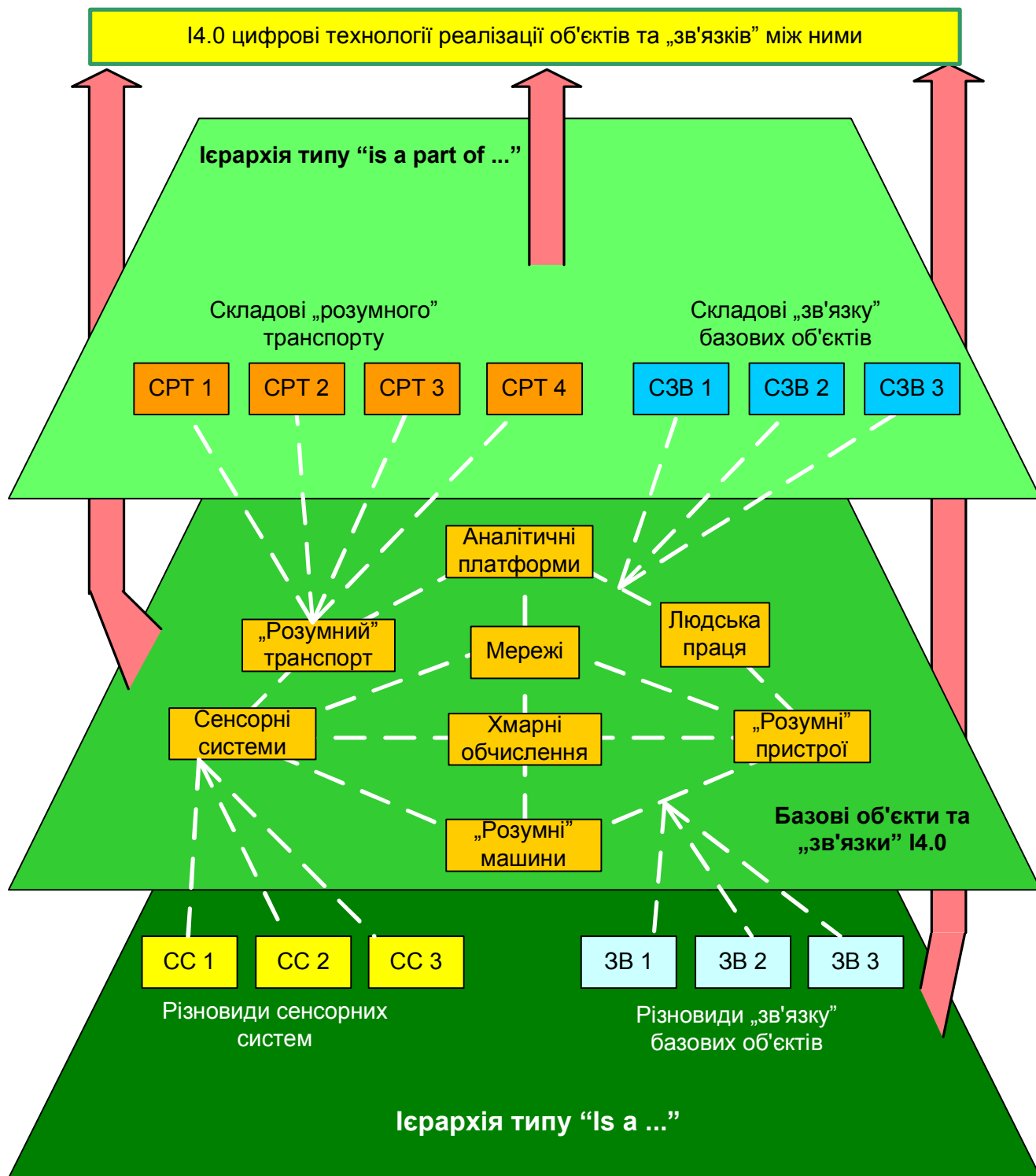


Рисунок 4.2 – Варіант графічної концептуальної моделі предметної області I4.0 промислової автоматизації

Нижче та вище площини базових об'єктів та «зв'язків» I4.0 поміщені площини, де відображується подальший розвиток I4.0 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 ... (чогось)»). 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 дозування 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 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 [38, 39], ми на практиці вивчали в дисципліні «Промисловий Інтернет речей» магістерського рівня підготовки (рисунок 4.3).

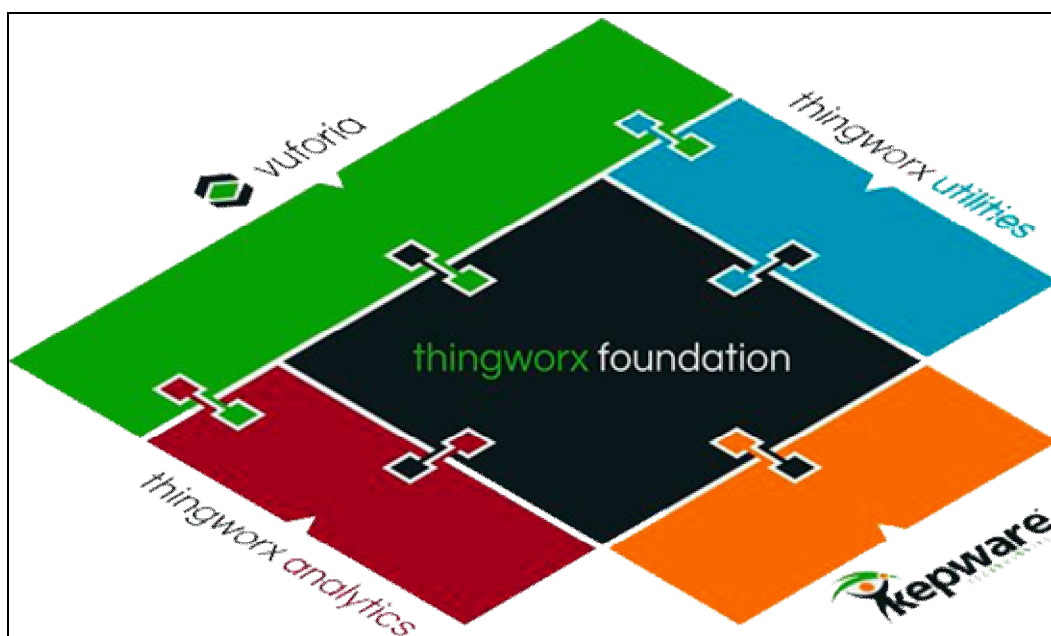


Рисунок 4.3 - Загальна архітектура платформи «ThingWorx Foundation»

Тому для ескізного проектування цифрової трансформації існуючого реального АТП дозування 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 який 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» [40-42], 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.

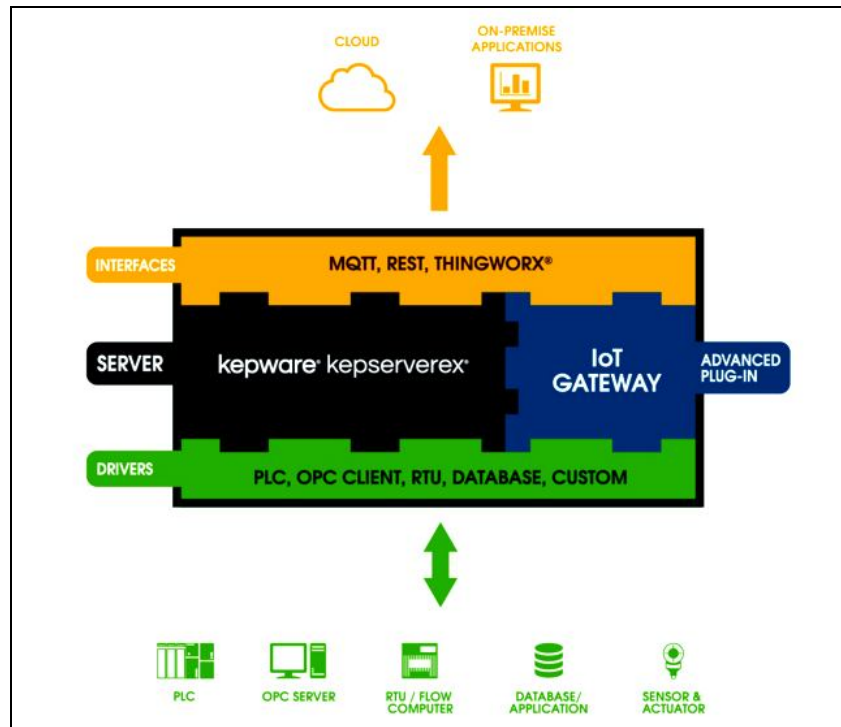


Рисунок 4.4 – Використання сервера «IoT Gateway» для передачі даних до «хмарних» додатків IoT

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 проект 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.

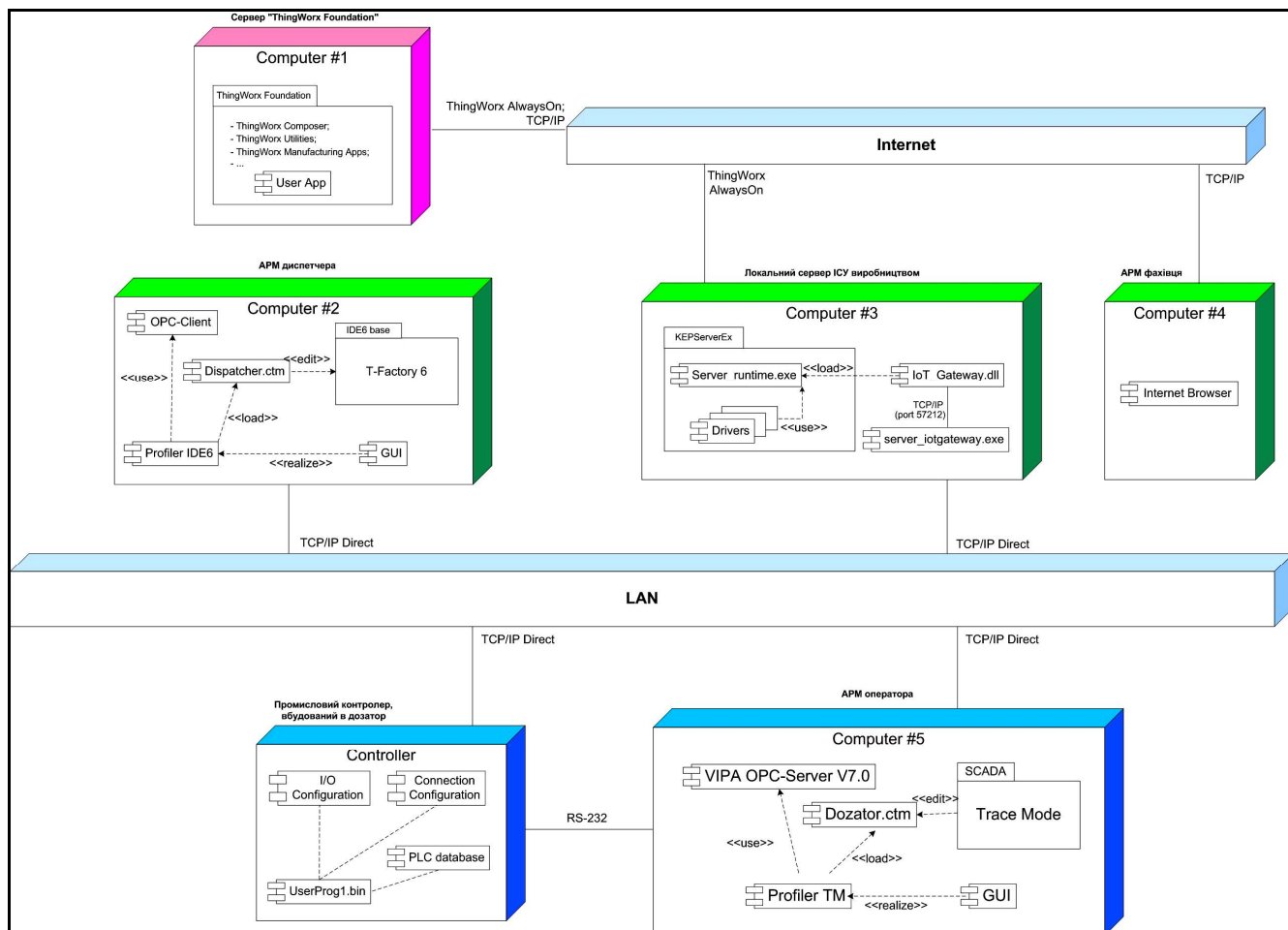


Рисунок 4.5 - Проєкт архітектури програмного забезпечення АТП для І4.0

Архітектура, що описана мовою UML, складається з таких вузлів:

- "Computer #1" («хмарний» сервер "ThingWorx Foundation" компанії PTC);
- "Computer #2" (APM диспетчера виробництва з функцією рівня MES);
- "Computer #3" (локальний сервер ІСУ виробництвом);
- "Computer #4" (APM фахівця з функціями контролю активів);

- "Computer #5" (АРМ оператора АТП дозування);
- "Controller" (промисловий контролер АТП дозування, вмонтований в дозатор;
- "LAN" (обчислювальні засоби локальної мережі АТП);
- "Internet" (обчислювальні засоби глобальної мережі Інтернет).

На вузлі "Computer #1", який є «хмарним» сервером компанії РТС, розгорнута платформа промислового Інтернету речей «ThingWorx Foundation», де ми можемо застосувати для цифрової трансформації такі програмні сервіси: «ThingWorx Composer», «ThingWorx Utilities» та «ThingWorx Manufacturing Apps». В одному з цих програмних сервісів ми і створимо спеціальний програмний додаток «User App». Виробничі дані до вказаних програмних сервісів передаються через мережу Internet за оригінальним протоколом «ThingWorx AlwaysOn» компанії РТС. Дані зі спеціального програмного додатку до їх приймача можуть передаватися через мережу Internet за протоколом «TCP/IP».

На вузлі "Computer #2" розгорнутий пакет інтегрованого середовища розробки, наприклад "IDE6 base" фірми "AdAstra", в якому використовується програмний компонент "T-Factory 6". Він дозволяє розробити прикладну програму диспетчера "Dispatcher.ctm" (управління виробничим процесом в цілому та окремим ТП дозування), яка далі завантажується до виконавчого середовища "IDE6 base" (програмний компонент "Profiler IDE6") для виконання в режимі м'якого реального часу (МРЧ). При виконанні цієї прикладної компонент "Profiler IDE6" використовує компонент "OPC-Client" для введення даних з OPC-сервера (наприклад "VIPA OPC-Server V7.0"), встановленого на АРМ оператора ("Computer #5"). Крім того, програмний компонент "Profiler IDE6" реалізує графічний інтерфейс (програмний компонент "GUI") АРМ диспетчера.

На вузлі "Computer #3" встановлена комунікаційна платформа "KEPServerEx", виконавче середовище якої "Server_runtime.exe" застосовує вбудовані драйвери "Drivers" для доступу до джерел даних реального часу АТП дозування. Для зв'язування даних цього сервера з «хмірними» сервісами платформи «ThingWorx Foundation» на даному вузлі встановлений також

компонент "IoT Gateway", який складається з плагіну сервера "IoT_Gateway.dll" та IoT агента "server_iotgateway.exe". "IoT_Gateway.dll" відповідає за конфігурування агенту протоколу «ThingWorx AlwaysOn», за збирання даних з виконавчого середовища "Server_runtime.exe" та за конфігурування налаштувань компонента "IoT Gateway". У свою чергу, IoT агента "server_iotgateway.exe (системний сервіс) керує з'єднаннями з «хмарними» сервісами 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" встановлений звичайний Інтернет браузер, за допомогою якого фахівець виробництва може переглядати Web-сторінки спеціального програмного додатку, який виконується на «хмарному» сервері компанії РТС в рамках ІоТ платформи «ThingWorx Foundation».

На вузлі "Computer #5" розгорнутий інструментальний пакет "SCADA". Він відображає інтегроване середовище розробки та виконання ПЗ операторського управління (наприклад IDE "Trace Mode 6") у вигляді прикладної програми "Dozator.ctm", що здійснює автоматизоване управління виконанням Майстер рецепту в ТП дозування. Пакет "SCADA" дозволяє розробляти та редагувати файл "Dozator.ctm" прикладної програми АРМ оператора. Ця програма потім завантажується до виконавчого середовища SCADA (наприклад для Trace Mode 6 воно представлено у вигляді програмного компоненту "Profiler TM"), що виконує її в режимі м'якого реального часу (МРЧ). В нашому випадку при виконанні прикладної програми "Dozator.ctm" програмний компонент "Profiler TM" використовує OPC-сервер "VIPA OPC-Server V7.0" для обміну даними з промисловим контролером АТП дозування ("Controller"), а також реалізує графічний інтерфейс оператора (програмний компонент "GUI").

На вузлі «Controller» у режимі реального часу виконується файл прикладної програми "UserProg1.bin" (управління дозатором та рештою обладнання АТП). При цьому використовуються настройки області введення/виведення контролера (програмний компонент "I/O Configuration") та його інтерфейсу зв'язку через TCP/IP Direct (програмний компонент "Connection Configuration"). В ході виконання прикладної програми в контролері формується

база даних "PLC database", яка містить інформацію як про її змінні, так і про фізичні сигнали, що обробляються контролером.

На основі даної архітектури ПЗ можна розробити проєкт відповідної інформаційної бази трансформованого АТП дозування, 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".

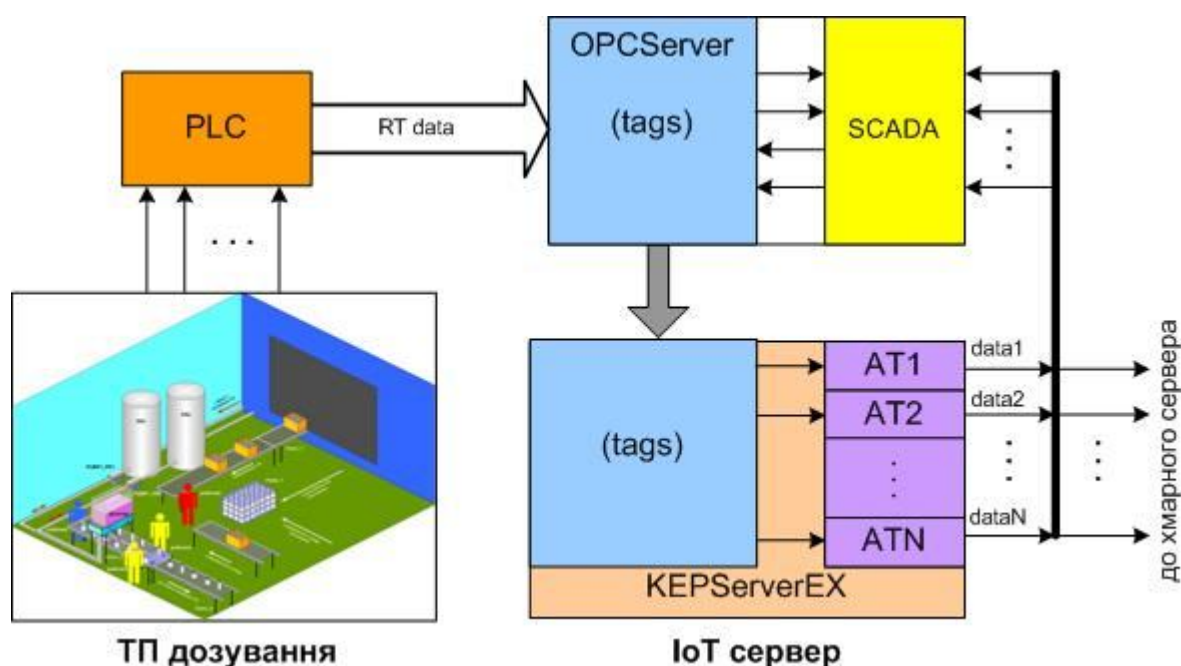


Рисунок 4.6 – Концепція організації інформаційної бази трансформованого АТП

Різноманітні вихідні електричні сигнали з ТП дозування вводяться до промислового контролера PLC, що вбудований в дозатор, а потім передаються в цифровій формі до значень тегів (tags) OPC-сервера (OPCServer). До тегів OPC-сервера додаються також дані з прикладної програми оперативного управління ТП (SCADA). Комунікаційна платформа «KEPServerEX» створює IoT сервер, теги якого читають дані з відповідних тегів OPC-сервера (OPCServer). Крім цих тегів в даному сервері створюються теги типу "Advanced Tags" (AT1, AT2, ... ATN), які в якості вхідних значень використовують вихідні значення звичайних тегів IoT сервера (tags). 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 дозування. Вихідні значення тегів AT1 – ATN або зчитуються локальними OPC-клієнтами, наприклад, прикладною програмою «SCADA», або спеціальним програмним додатком, що виконується на «хмарному» сервері з IoT платформою «ThingWorx Foundation».

Спроекуємо тепер для прикладу кілька процедур обробки в IoT сервері вхідних цифрових даних за допомогою AT тегів. На рисунку 4.7 показаний проєкт процедури DP1, яка призначена для розрахунку локального запасу готового продукту PR1 у спеціальній ємності біля дозатора.

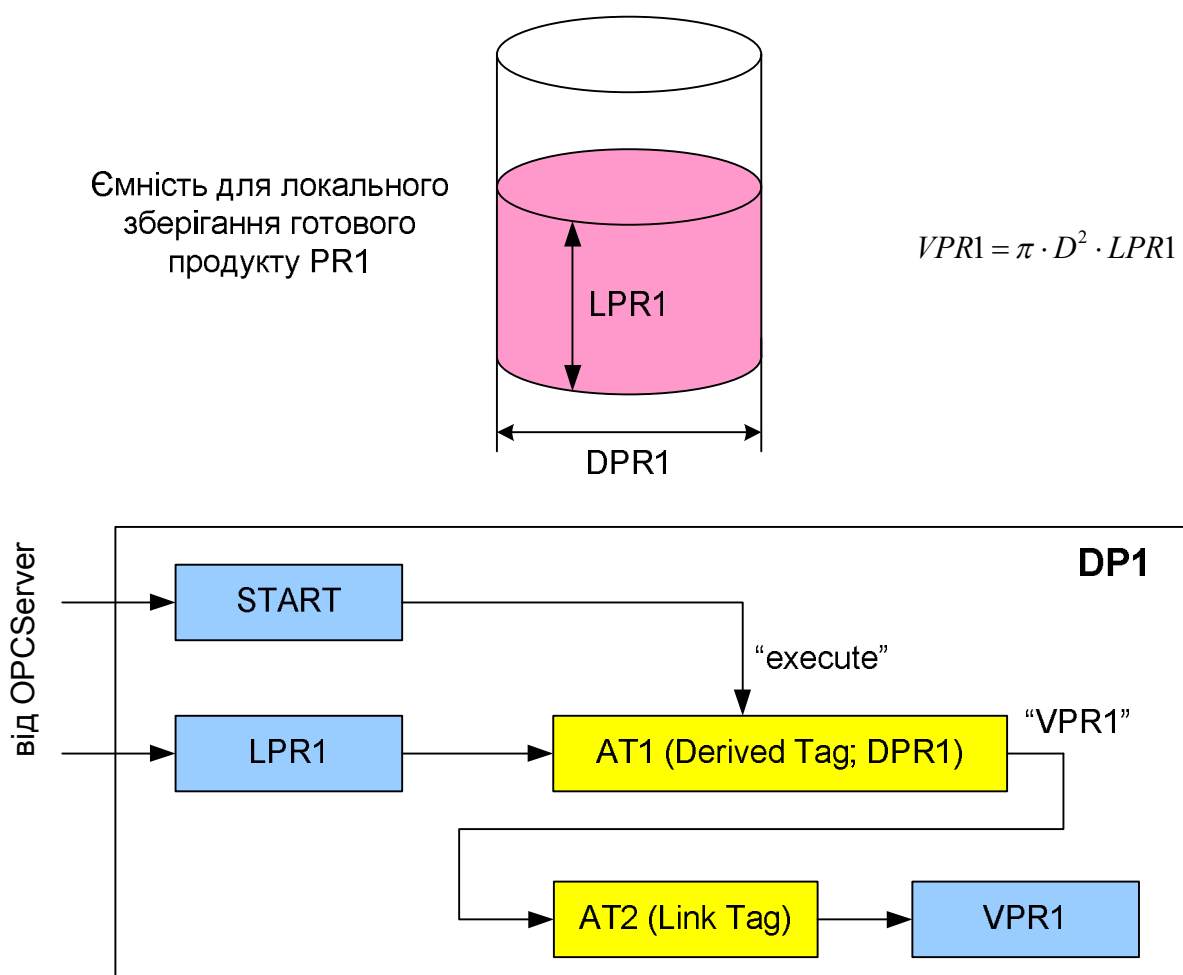


Рисунок 4.7 – Проєкт процедури DP1

Зліва показані звичайні теги IoT сервера, які пов'язані з відповідними тегами OPC-сервера «OPCServer» (див. рисунок 4.7). Тег "START" записується в цей OPC-сервер прикладною програмою «SCADA» ("START" – логічна змінна пуску роботи системи управління при виготовленні партії продукції). Тег "LPR1" записується в OPC-сервер з прикладної програми контролера «PLC» ("LPR1" – поточне значення рівня продукту PR1 в ємності зберігання). Для розрахунку локального запасу "VPR1" в IoT сервері створюються два AT теги: один типу "Derived Tag" (AT1) та один типу "Link Tag" (AT2). Тег AT1 призначений для розрахунку об'єму локального запасу продукту PR1 на основі поточного його рівня в ємності «LPR1» та заданих геометричних розмірів ємності. При цьому, коли тег "START" приймає значення логічного "нуля", то розрахунок зупиняється. Тег AT2 повинен записувати вихідні значення тегу AT1 у звичайний тег «VPR1» IoT сервера, звідки цей результат може зчитуватися або прикладною програмою «SCADA», або передаватися до «хмарного» додатка. Аналогічно побудована процедура DP2 розрахунку локального запасу готового продукту PR2.

На рисунку 4.8 показаний проєкт процедури DP3 розрахунку поточного запасу готового продукту в ємності дозатора «VDOZ». Ця процедура побудована за тією ж схемою, що і DP1, яка описана вище.

На рисунку 4.9 показаний проєкт процедури DP4 підрахунку кількості банок типу 1 з готовою продукцією «NTP1», які дозатор через кран №1 вже наповнив на даний момент часу. Зліва також показані звичайні теги IoT сервера, які пов'язані з відповідними тегами OPC-сервера «OPCServer». Теги " NTP1_NUL", "START_INV" та "START" записуються в OPC-сервер прикладною програмою «SCADA» ("START" – логічна змінна пуску роботи системи управління, "START_INV" – інверсна логічна змінна пуску системи управління, "NTP1_NUL" – короткий одиничний імпульс, що формується по передньому фронту змінної "START"). Теги "KR1_ON" та "POZ1_ON" записуються в OPC-сервер з прикладної програми контролера «PLC» ("KR1_ON" – одиничний сигнал відкриття крану №1 дозатора, "POZ1_ON" – одиничний сигнал робочої позиції банки типу 1 під краном дозатора). Для підрахунку кількості наповнених банок в IoT сервері створюються три "Advanced Tags": два типу "Link Tag" (AT1, AT3) та

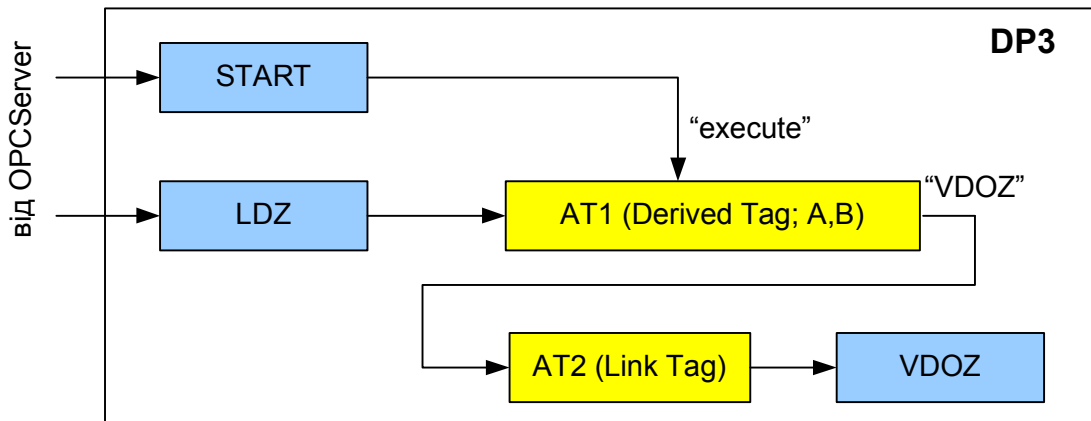
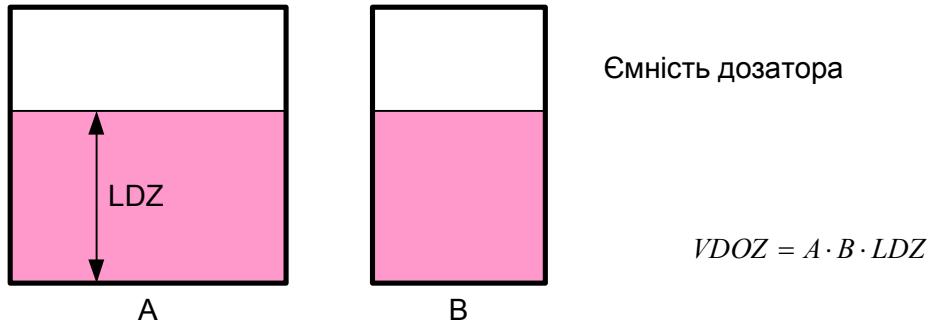


Рисунок 4.8 – Проект процедури DP3

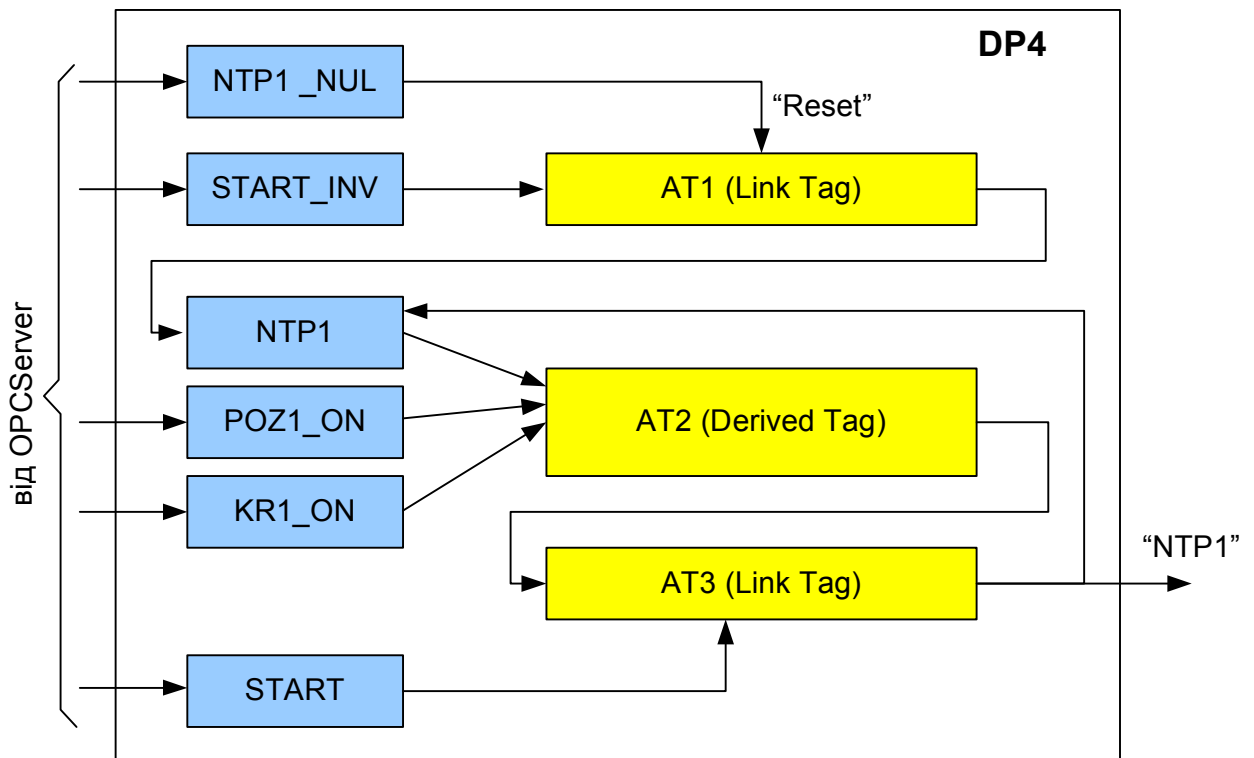


Рисунок 4.9 – Проект процедури DP4

один типу "Derived Tag" (AT2). Тег AT1 призначений для запису нуля (операція скидання "Reset") в тег "NTP1" при пуску системи до роботи. Тег AT3 призначений для запуску або зупинення підрахунків (коли тег "START" приймає значення логічного "нуля", то підрахунок зупиняється). Тег AT2 повинен прибавляти до значення тегу "NTP1" одиницю, коли одночасно встановлені значення тегів "KR1_ON" та "POZ1_ON". Результат підрахунку "NTP1" може зчитуватися або прикладною програмою «SCADA», або передаватися до «хмарного» додатка. За аналогічною схемою виконується процедура DP5 для підрахунку наповнених банок типу 2 через кран №2 дозатора.

На рисунку 4.10 наведений проєкт процедури DP6 розрахунку використаної електричної потужності насосом «PUMP1_PR1», що перекачує готовий продукт PR1 або з ємності зберігання до ємності дозатора, або навпаки.

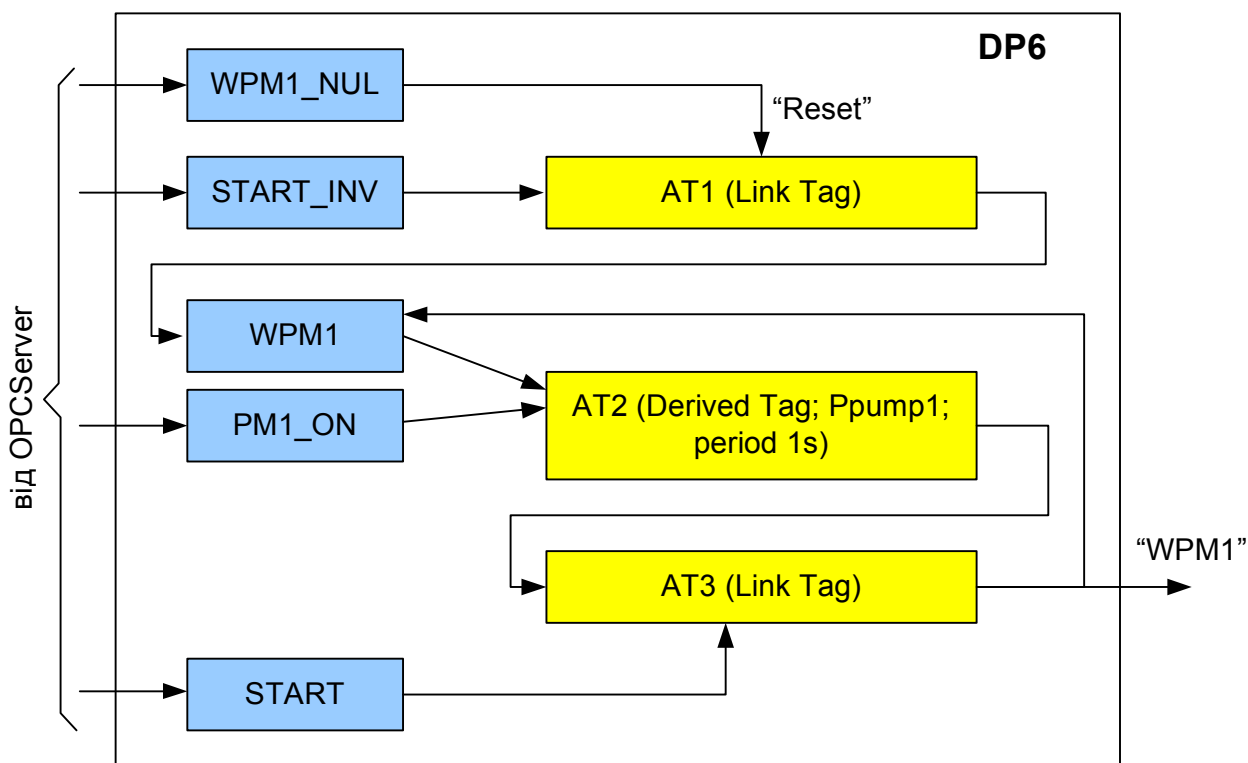


Рисунок 4.10 – Проєкт процедури DP6

Відмінністю цього проєкту від попереднього є те, що AT тег типу "Derived Tag" (AT2) налаштований на перерахунок вихідного значення кожної секунди.

Тому, як в ньому задана електрична потужність насосу, то його вмикання (тег «PM1_ON» приймає значення логічної одиниці) призводить до того, що вихідне значення AT2 буде збільшуватися кожної секунди на значення електричної потужності насосу, тобто підраховуються витрати електричної енергії за час роботи насосу. Результат підрахунку "WPM1" може також зчитуватися або прикладною програмою «SCADA», або передаватися до «хмарного» додатка.

За аналогічною схемою виконуються і процедури для підрахунку сумарних витрат потужності іншим технологічним обладнанням АТП – DP7 (насосом «PUMP2_PR2»), DP8 (дозатором та його конвеєром «Conv_3»), DP9 – DP11 (відповідно, конвеєрами «Conv_1», «Conv_2», «Conv_4»,

На рисунку 4.11 наведений проєкт процедури DP12 розрахунку загальних витрат електричної потужності усім обладнанням технологічного процесу дозування.

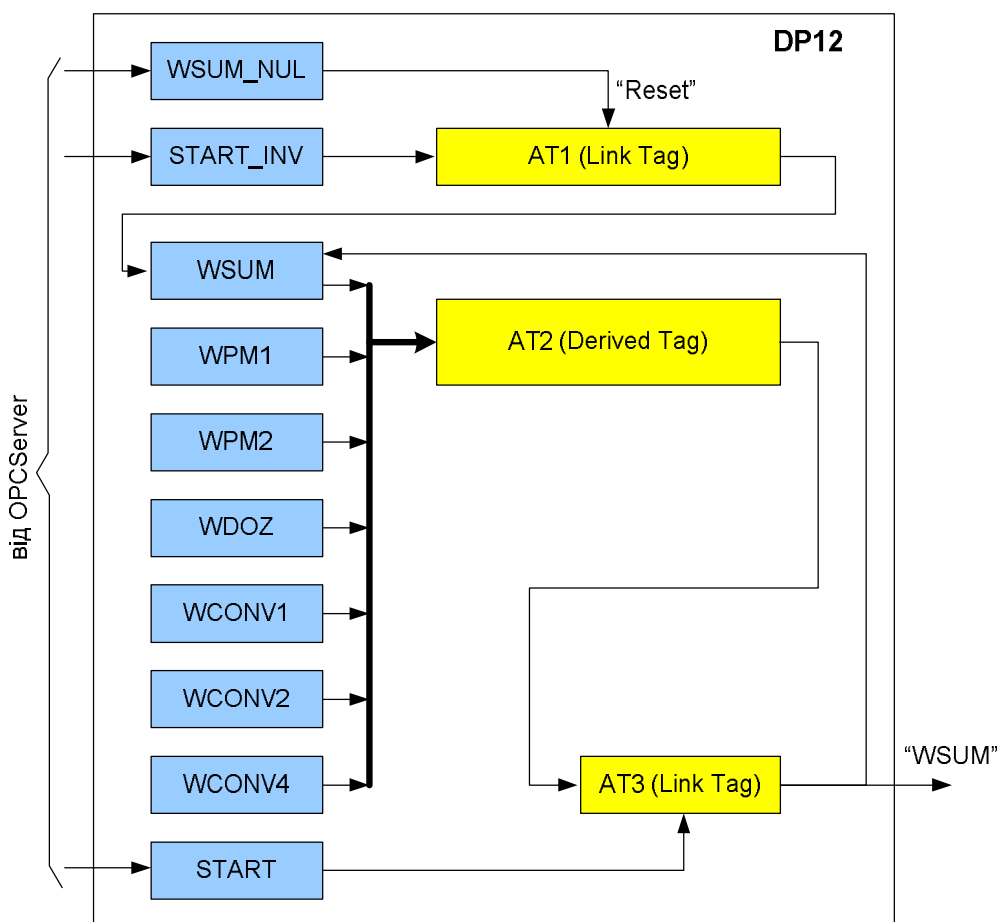


Рисунок 4.11 – Проєкт процедури DP12

Ця процедура побудована по вже описаній вище схемі, коли підраховується якась сума. В ній в якості вхідних значень використовуються ті теги, що розраховані процедурами DP6-DP11. Результат підрахунку "WSUM" може також зчитуватися або прикладною програмою «SCADA», або передаватися до «хмарного» додатка.

І останній проєкт процедури DP13 показаний на рисунку 4.12. Вона призначена для розрахунку собівартості готової продукції (банки, наповнені хімічною рідиною) по вартості витраченої електричної потужності технологічним обладнанням АТП дозування.

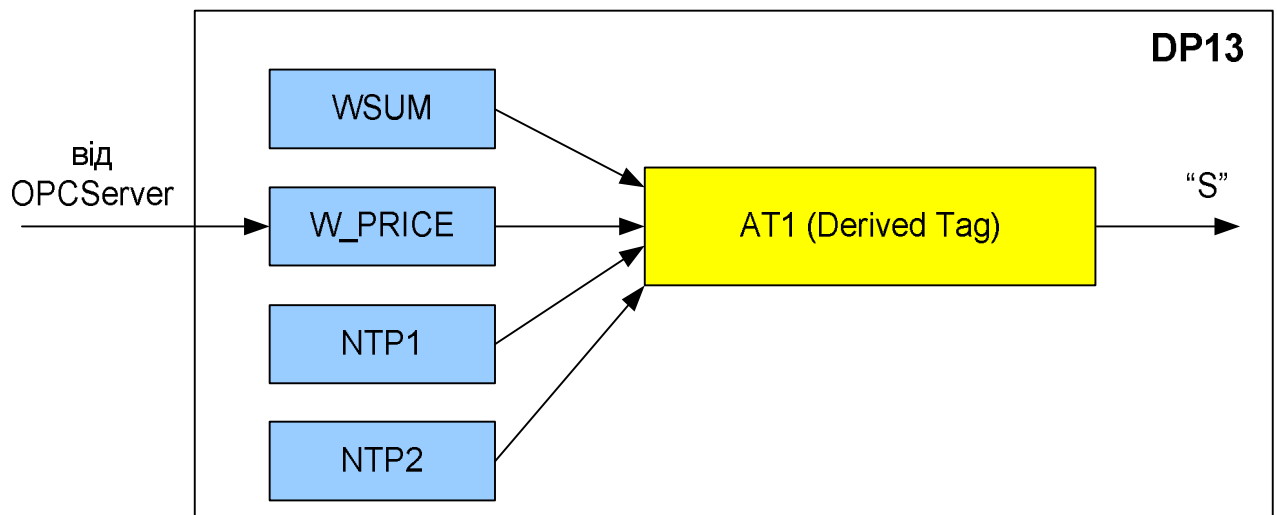


Рисунок 4.12 – Проєкт процедури DP13

Зліва показані звичайні теги, що розраховані попередніми процедурами IoT сервера – DP4, DP5, DP12, а також тег "W_PRICE" (вартість одиниці електроенергії), який пов'язаний з відповідним тегом OPC-сервера «OPCServer»,. Тег "W_PRICE" записується в OPC-сервер прикладною програмою «SCADA». Для розрахунку собівартості "S" одиниці продукції в IoT сервері створюється "Advanced Tags" типу "Derived Tag" (AT1). Тег AT1 ділить значення помножує значення двох тегів "WSUM" і "W_PRICE", а потім ділить їх на суму двох тегів «NTP1» та «NTP2».

Результат підрахунку "S" може також зчитуватися або прикладною програмою «SCADA», або передаватися до «хмарного» додатка.

На основі концепції організації інформаційної бази трансформованого АТП дозування та проєктів окремих процедур оброблення в ній цифрових даних, що описано вище, 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 [43]. 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 4.13 та в додатку Б наведено результати розробки такої схеми. Опишемо кожний з показаних на схемі інформаційних потоків.

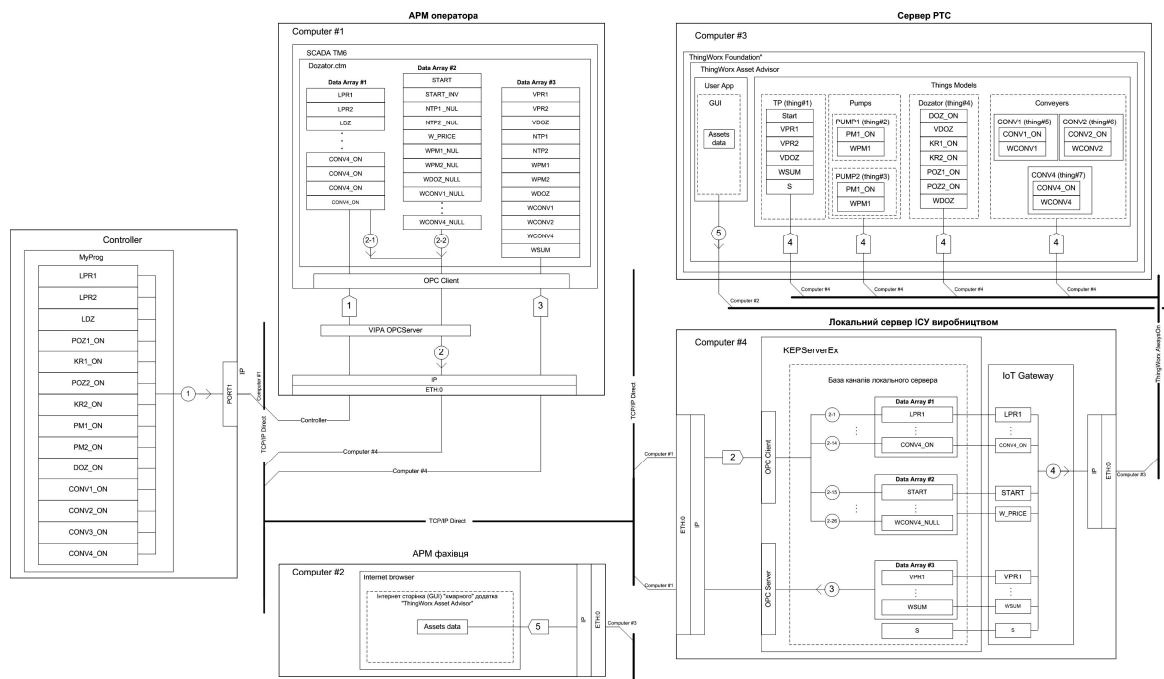


Рисунок 4.13 - Схема мережних інформаційних потоків АТП для І4.0

Інформаційний потік 1 забезпечує передавання масиву даних з прикладної програми "MyProg" вузла "Controller" (промисловий контролер, вбудований в дозатор) через мережу з протоколом TCP/IP Direct та програму "VIPA OPCServer" до каналів типу "OPC" програми "Dozator.ctm", що виконується у SCADA-системі "Trace Mode 6" вузла "Computer #1" (АРМ оператора), де

утворюють масив даних «Data Array #1». Частота передавання інформації визначається налаштуваннями середовища виконання "OPC Client" SCADA-системи "Trace Mode 6". Масив даних «Data Array #1» містить такі дані:

- «LPR1» - дані поточного рівня готового продукту PR1 у ємності зберігання;

- «LPR2» - дані поточного рівня готового продукту PR2 у ємності зберігання;

- «LDZ» - дані поточного рівня готового продукту у ємності дозатора;

- «POZ1_ON» - дані робочої позиції пустої банки на конвеєрі під краном №1 дозатора;

- «KR1_ON» - дані ввімкненого стану крану №1 дозатора (йде наповнення банки хімічною продукцією);

- «POZ2_ON» - дані робочої позиції пустої банки на конвеєрі під краном №2 дозатора;

- «KR2_ON» - дані ввімкненого стану крану №2 дозатора (йде наповнення банки хімічною продукцією);

- «PM1_ON» - дані ввімкненого стану насоса перекачування готового продукту PR1;

- «PM2_ON» - дані ввімкненого стану насоса перекачування готового продукту PR2;

- «DOZ_ON» - дані ввімкненого стану дозатора;

- «CONV1_ON» - дані ввімкненого стану конвеєра «Conv_1»;

- «CONV2_ON» - дані ввімкненого стану конвеєра «Conv_2»;

- «CONV3_ON» - дані ввімкненого стану конвеєра «Conv_3» дозатора;

- «CONV4_ON» - дані ввімкненого стану конвеєра «Conv_4».

Інформаційний потік 2 забезпечує передавання двох масивів даних «Data Array #1» та «Data Array #2» вузла "Computer #1" (АРМ оператора) через програму "VIPA OPCServer", мережу з протоколом TCP/IP Direct та драйвери "OPC Client" до масиву даних OPC-клієнта, яким є програма IoT сервера "KEPServerEx" вузла "Computer #4" (локальний сервер ІСУ виробництвом). Масив

даних «Data Array #2» вузла "Computer #1" (АРМ оператора) містить такі дані:

- «START» - дані управління пуском системи управління до дії для виготовлення партії продукції, заданої Майстер рецептом;
- «START_INV» - інверсні дані управління пуском системи управління до дії для виготовлення партії продукції, заданої Майстер рецептом;
- «NTP1 _NUL» - дані скидання в нуль процедури підрахунку кількості банок типу 1, наповнених дозатором;
- «NTP2 _NUL» - дані скидання в нуль процедури підрахунку кількості банок типу 2, наповнених дозатором;
- «W_PRICE» - дані вартості одиниці витрат електричної потужності;
- «WPM1_NUL» - дані скидання в нуль процедури розрахунку витрат електричної потужності насосом перекачування готового продукту PR1;
- «WPM2_NUL» - дані скидання в нуль процедури розрахунку витрат електричної потужності насосом перекачування готового продукту PR2;
- «WDOZ_NULL» - дані скидання в нуль процедури розрахунку витрат електричної потужності усім обладнанням дозатора;
- «WCONV1_NULL» - дані скидання в нуль процедури розрахунку витрат електричної потужності конвеєром «Conv_1»;
- «WCONV2_NULL» - дані скидання в нуль процедури розрахунку витрат електричної потужності конвеєром «Conv_2»;
- «WCONV3_NULL» - дані скидання в нуль процедури розрахунку витрат електричної потужності конвеєром «Conv_3»;
- «WCONV4_NULL» - дані скидання в нуль процедури розрахунку витрат електричної потужності конвеєром «Conv_4».

Масив даних IoT сервера "KEPServerEx" утворюється у вигляді бази звичайних його тегів. Після драйвера "OPC Client" потік 2 розгалужується на 26 потоків, з яких перші 14 передають дані масиву «Data Array #1» (2-1, 2-2, 2-3, ... , 2-14), а решта потоків передають дані масиву «Data Array #2» (2-15, 2-16, 2-17, ... , 2-26). Кожний з цих потоків закінчується відповідним тегом IoT сервера. Значення цих тегів по внутрішній віртуальній мережі вузла "Computer #4"

передаються до відповідних тегів програми "IoT Gateway", де зберігаються для подальшого передавання потоком 4 до «хмарного» програмного додатка, реалізованого на платформі «ThingWorx Foundation». Крім того, на IoT сервері генеруються додаткові дані за допомогою АТ тегів, які утворюють разом масив даних «Data Array #3», який містить такі дані:

- «VPR1» - дані поточного локального запасу готового продукту PR1;
- «VPR2» - дані поточного локального запасу готового продукту PR2;
- «VDOZ» - дані поточного запасу готового продукту у ємності дозатора;
- «NTP1» - дані кількості банок типу 1, наповнених дозатором;
- «NTP2» - дані кількості банок типу 2, наповнених дозатором;
- «WPM1» - дані витрат електричної потужності насосом перекачування готового продукту PR1;
- «WPM2» - дані витрат електричної потужності насосом перекачування готового продукту PR2;
- «WDOZ» - дані витрат електричної потужності усім обладнанням дозатора;
- «WCONV1» - дані витрат електричної потужності конвеєром «Conv_1»;
- «WCONV2» - дані витрат електричної потужності конвеєром «Conv_2»;
- «WCONV3» - дані витрат електричної потужності конвеєром «Conv_3»;
- «WCONV4» - дані витрат електричної потужності конвеєром «Conv_4»;
- «WSUM» - дані сумарних витрат електричної потужності всім обладнанням АТП.

Всі дані цього масиву також інформаційним потоком 4 передаються до «хмарного» програмного додатка, реалізованого на платформі «ThingWorx Foundation», але до цього масиву ще додаються дані «S» щодо собівартості одиниці готової продукції на виході АТП дозування.

Також масив даних «Data Array #3» з IoT сервера «KEPServerEx» передається інформаційним потоком 3 через мережу з протоколом TCP/IP Direct до каналів типу "OPC Client" програми "Dozator.ctm", що виконується у SCADA-системі "Trace Mode 6" вузла "Computer #1" (АРМ оператора), де утворюють

відповідний масив даних «Data Array #3».

Інформаційний потік 4 забезпечує передавання масивів даних «Data Array #1» та «Data Array #2» вузла "Computer #4" (локальний сервер ІСУ виробництвом) з програми "IoT Gateway" та мережу Internet з протоколом «ThingWorx AlwaysOn» до масивів даних семи моделей речей (Things Models) «Thing#1» - «Thing#7» інструментального сервера «ThingWorx Asset Advisor» «хмарної» платформи «ThingWorx Foundation». Сервер «ThingWorx Asset Advisor» забезпечує перегляд у реальному часі статусу всіх активів АТП дозування, аналізує їх і надає можливість фахівцям віддалено спостерігати за поведінкою цих активів, виявляючи аномалії в їх роботі і попереджаючи серйозні аварії на виробництві [44]. Програмна модель «Thing#1» відображає поточний стан ТП дозування в цілому, «Thing#2» – поточний стан насосу «PUMP1», «Thing#3» – поточний стан насосу «PUMP2», «Thing#4» – поточний стан дозатора разом з вбудованим конвеєром «Conv_3», «Thing#5» – поточний стан конвеєра «Conv_1», «Thing#6» – поточний стан конвеєра «Conv_2», а «Thing#7» – поточний стан конвеєра «Conv_4».

Для інформування фахівців про стани активів АТП дозування на інструментальному сервері «ThingWorx Asset Advisor» реалізується спеціальний програмний додаток «User App» з графічним Web-інтерфейсом користувача «GUI», через який відображаються усі потрібні дані стану активів АТП («Assets data»). Web-сторінки цього «GUI» разом з даними «Assets data» інформаційним потоком 4 через мережу Internet за протоколом TCP/IP передаються до звичайного Інтернет браузера, встановленого на вузлі «Computer #2» (АРМ фахівця). Отримуючи цю інформацію, фахівець може спостерігати за поточними станами активів, аналізувати їх зміну та попереджати виникнення нештатних ситуацій.

4.4 Концепція поглибленої цифрової трансформації АТП

В розділі 3 був проаналізований компонент «Integration 1 properties» у шарі «Communication» існуючого реального АТП дозування і виявлено, що він, по суті,

описує основні властивості ручної операції, яка взагалі має багато недоліків, наприклад, робочий може втомлюватися та втрачати увагу, що призведе або до неточного/неритмічного виконання операції (порушується хід процесу), або до виникнення браку (наприклад робочий може неточно поставити чергову пусту банку на конвеєр, а дозатор із-за цього не повністю наповнить її готовою продукцією або взагалі наллє повз банки, якщо банка із-за неточної установки потім впаде). Такі випадки неприпустимі у І4.0 «розумному виробництві, яке має властивості/ознаки «Висока виробнича ефективність (КПЕ)» та «Висока якість продукції».

Розробимо концептуальний проєкт цифрової трансформації існуючого реального АТП дозування, який усуне вказані його недоліки. На рисунку 4.14 показаний цей проєкт.

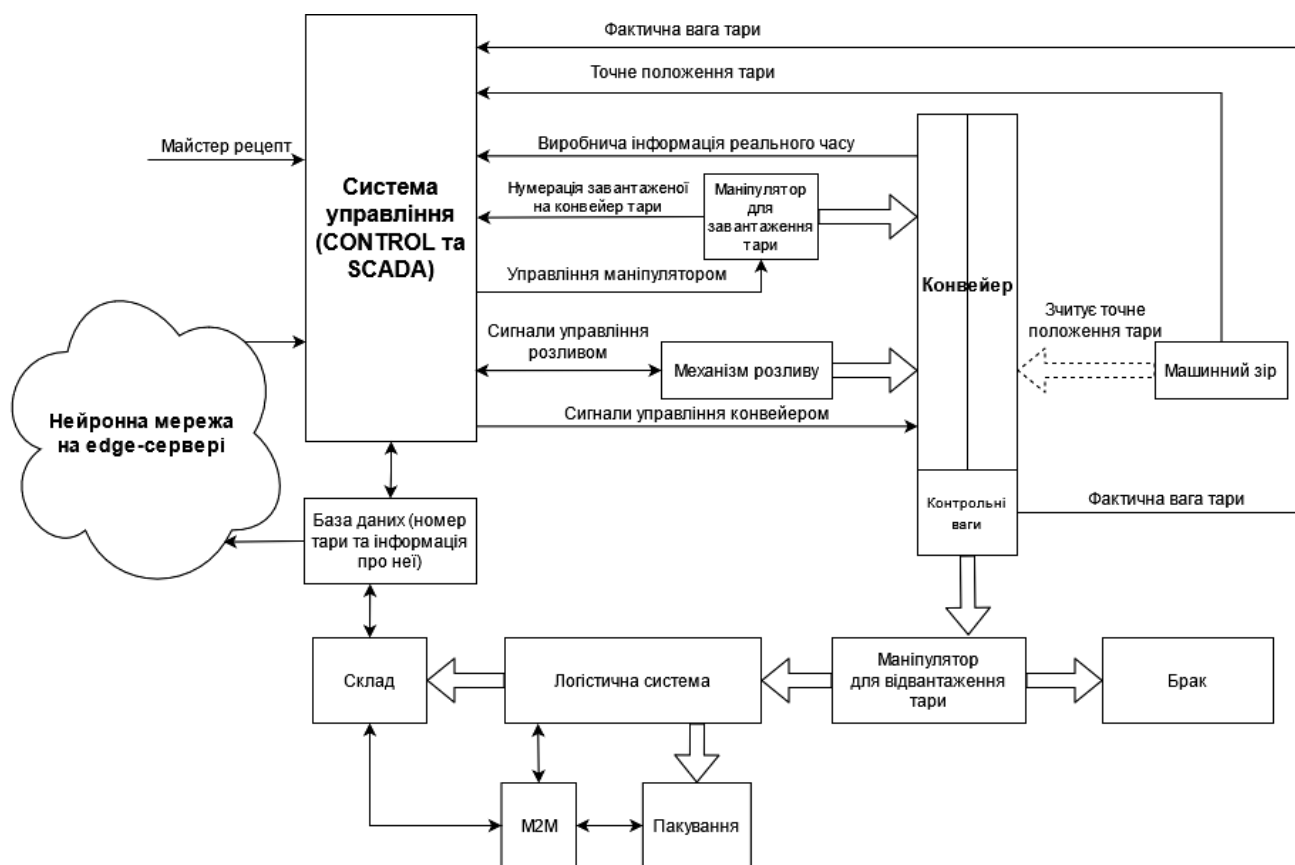


Рисунок 4.14 – Концептуальний проєкт цифрової трансформації АТП дозування з застосуванням цифрової технології AI

Основними елементами даного проєкту є:

- система управління (CONTROL та SCADA), що виконує функції цих двох рівнів управління ІСУ виробництвом;
- 2-шляховий конвеєр, на якому пусті банки подаються до кранів №1 та №2 дозатора, зупиняються у робочій позиції, а після наповнення, переміщуються до наступної технологічної операції;
- логістична система, що обслуговує АТП дозування;
- нейронна мережа, що розгорнута на edge-сервері.

Трансформований АТП дозування працює наступним чином. Починається все з отримання Майстер рецепту. Підсистема управління SCADA, отримуючи Майстер рецепт, за допомогою вбудованої програми автоматично створює Керівний рецепт. Після створення Керівного рецепту починається виконання технологічного процесу з виготовлення партії готової продукції. Підсистема управління CONTROL подає відповідні команди на маніпулятор для завантаження тари (пусті банки) на конвеєр та здійснює пуск самого конвеєра. На цьому етапі також виконується автоматичне цифрове позначення кожної завантаженої одиниці тари (пуста банка) і ці цифрові дані зберігаються в базі даних системи управління. Нумерація здійснюється в процесі роботи маніпулятору – кожен його рух детермінований програмою управління і пов'язується з одиницею тари, що поміщується на конвеєр. Таким чином, кожна окрема одиниця тари (пуста банка) ідентифікується за своїм цифровим номером у відповідності зі своїм розміщенням на конвеєрі. Одночасно з цим зберігаються дані про тару (пусту банку) – номер тари, номер поточного керівного рецепту, тип тари (форма, літраж), час завантаження. Важливо зауважити, що на конвеєр тара (пусті банки) мають завантажуватися попарно (на праву та ліву стрічки конвеєра одночасно).

Далі завантажена тара рухається по конвеєру доки вона не під'їде до точки позиціонування, де дозатор заповнить її через відповідний кран. Пропонується застосувати систему машинного зору, яка дозволить отримати детальну візуальну інформацію та оцінити точність положення одиниці тари (пустої банки) під

краном дозатора. Саме на основі цієї інформації здійснюється точна зупинка конвеєра подачі пустої тари (пустої банки) під кран дозатора. Також за допомогою машинного зору можна виявити будь-які порушення на етапі подачі тари (пустої банки) до крану дозатора, наприклад, або помилкова подача тари не того типу, або подача пошкодженої тари, або подача тари (банки,, яка впала в процесі руху конвеєра. У такому випадку раніше збережена інформація про одиницю тари, що поставлена на конвеєр, дозволить швидко її відстежити та скоригувати процес виконання Керівного рецепту, наприклад, замінити браковану тару, завантаживши на конвеєр додаткову нову її одиницю. Також корегується робота програми управління дозатором, наприклад, відміняється процес відкривання відповідного крану дозатора.

Коли тара (пуста банка) знаходиться у правильній робочій позиції під краном розливу та ніякого її браку не виявлено, то на пристрій розливу подаються відповідний сигнал управління. Так як у відкритого крану є своя пропускна здатність, то процес заповнення тари триває у часі, протягом якого кран буде відкритий. Наприклад, якщо через кран поступає 200 мл/с, то для заповнення тари об'ємом 1.3л клапан повинен бути відкритий протягом 6,5с. Дані про літраж тари також фіксуються на етапі її завантаження на конвеєр.

Після завершення процесу розливу конвеєр переміщує наповнену тару (банку) на контрольні ваги. Це важливий момент, адже він дозволить виявити брак – у кожної заповненої тари (банки) повинна бути задана вага в межах якихось допусків. Якщо відхилення виходить за рамки встановлених границь, то готова продукція бракується, що фіксується у відповідній базі даних.

Після контролю ваги готової продукції маніпулятор знімає її з контрольних ваг (розділяє готову продукцію від браку). Готова продукція передається у логістичну систему, звідки вона потрапляє на наступну роботизовану станцію пакування, а далі на склад. На протязі цього процесу додаткова інформація про готову продукцію заноситься у базу даних АТП.

Після потрапляння готової продукції на склад технологічний процес можна вважати завершеним. Таким чином, в ході всього трансформованого АТП дозування активно зберігається різноманітна інформація щодо його ходу та станів

його матеріальних ресурсів (тара, готова продукція), яку можна надалі аналізувати. Наприклад, якщо виявиться, що брак після наповнення банок є систематичним, то можна, наприклад, скорегувати програму управління дозатором, щоб усунути джерело браку. Також, змінюючи належним чином порядком подачі пустої тари на конвеєр можна оптимізувати час виконання всього технологічного процесу з виготовлення партії готової продукції, обсяг якої заданий у Керівному рецепті. Всім цим аналізом та розрахунком має займатися нейронна мережа на edge-сервері, яка відправляє необхідні дані у підсистему управління SCADA, щоб належним чином змінити хід виконання ТП.

4.5 Висновки до розділу

В результаті виконання дослідницьких та проектних робіт у даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи була обґрунтована модель діяльності заключної стадії навчального дослідження цифрової трансформації АТП дозування, які виконують студент і викладач. На основі запропонованого методу онтологічного дослідження предметної області промислової автоматизації I4.0 була побудована її концептуальна модель та означені способи її використання для цифрової трансформації АТП дозування. 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 вище, 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 сформувати 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» було створено комп'ютеризований навчальний засіб, який дозволяє організувати практичне вивчення студентами спеціальності 151 методів та засобів цифрової трансформації його основного технологічного процесу дозування 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., Овчинникова К. В. 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	Конкуренція 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 розроблений нами комп'ютеризований навчальний засіб (таблиця 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.	Овчинников К.В.	Папінов В.М.
	Бали, що їх виставили експерти:		
1	3	4	4
2	3	4	4
3	4	3	3
4	3	4	4
5	4	4	3
6	3	4	4
7	4	4	4
8	4	3	3
9	3	4	4
10	3	4	4
11	4	3	3
12	4	3	3
Сума балів	СБ ₁ = 42	СБ ₂ = 44	СБ ₃ = 43
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{42 + 44 + 43}{3} = \frac{129}{3} = 43$		

Встановлення комерційного потенціалу нашої розробки будемо здійснювати на основі рекомендацій, наведених в таблиці 5.3 [45].

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 43 бали, то це свідчить, що розроблений нами комп'ютеризований навчальний засіб має рівень комерційного потенціалу, який вважається «високим».

Це пояснюється тим, що створений нами новий комп'ютеризований навчальний засіб, будуватиметься, 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 існуючого технологічного процесу дозування.

5.2 Розрахунок витрат на розробку комп'ютеризованих навчальних засобів

При розробці нових комп'ютеризованих навчальних засобів були зроблені такі витрати. Основна заробітна плата Z_0 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	880,95	20 годин	≈ 2936 (при 6-годинноиу робочому дні)
2. Магістрант-студент-виконавець	2000 (беремо 6700)	319,04	70	≈ 22333
3. Консультант з економічної частини	17000	809,53	1,5 години	≈ 203 (при 6-год. робочому дні)
Загалом				$Z_o = 25472$ 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:

$$Z_d = 0,11 \times 25472 = 2801,92 \approx 2802 \text{ (грн.)}.$$

Нарахування на заробітну плату НЗП_{зп} розробників розраховуються за формулою:

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

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

Тоді:

$$НЗН_{зп} = (25472 + 2802) \times 0,22 = 6220,28 \approx 6221 \text{ (грн.)}.$$

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

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

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

$Н_а$ – річна норма амортизаційних відрахувань. Для нашого випадку можна прийняти, що $Н_а$ 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	30000	20	3 (при 50% використанні)	750

Продовження таблиці 5.5

2. Приміщення університету, кафедри	15000	5	3 при 40% використанні	75
Всього				A = 825 грн.

Витрати на матеріали М 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 К 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 3000 грн.

Витрати на силову електроенергію V_e розраховуються за формулою:

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

де V – вартість 1 кВт-год. електроенергії, в 2022 р. V приблизно рівна 3,0 грн./кВт;

Π – установлена потужність обладнання, кВт, Π дорівнює 0,8 кВт;

Φ – фактична кількість годин роботи обладнання, годин. Прийmemo, що Φ дорівнює 180 годин;

K_{Π} – коефіцієнт використання потужності, K_{Π} менше 1 та дорівнює 0,7;

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

Тоді витрати на електроенергію будуть дорівнювати:

$$V_e = \frac{V \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}}{K_d} = \frac{3 \cdot 0,8 \cdot 180 \cdot 0,7}{0,65} = 465,23 \approx 466 \text{ (грн.)}.$$

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

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

Для нашого випадку отримаємо:

$$V_{\text{інш}} = 0,8 \times 25472 = 20377,6 \approx 20378 \text{ (грн.)}.$$

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

$$V = 25472 + 2802 + 6221 + 825 + 3000 + 466 + 20378 = 59164 \text{ (грн.)}.$$

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

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

де β – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання цієї роботи. Можна прийняти, що, β приблизно рівний 0,88 [45], оскільки робота майже повністю виконана і готова до можливого впровадження.

Тоді:

$$B_{\text{заг}} = \frac{59164}{0,88} = 67231,82 \text{ (грн.)}$$

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 40 тис грн., то нашу розробку можна реалізовувати за 45 тисячі грн., або на 5 тисяч грн. дорожче.

Аналіз місткості ринку даного продукту показує, що сьогодні в Україні кількість реальних користувачів подібних комп'ютеризованих навчальних засобів може складати приблизно 100 осіб щороку. Це різні навчальні заклади, наукові

установи, підприємства, дослідні структури тощо. Оскільки наш комп'ютеризований навчальний засіб має 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 10 шт. до базового року;
- 2024 р. – плюс 20 шт. до базового року;
- 2025 р. – плюс 25 шт. до базового року;
- 2026 р. – плюс 30 шт. до базового року.

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

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta C_0 \cdot N + C_0 \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\nu}{100}\right) [\text{тис. грн.}], \quad (5.10)$$

де ΔC_0 – покращення основного якісного показника від впровадження результатів розробки у цьому році. Для нашого випадку це є збільшення ціни нових навчальних засобів на 5 тисяч грн.;

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

ΔN – покращення основного кількісного показника від впровадження результатів розробки. Таке покращення становитиме по роках, відповідно: плюс 10, плюс 20, плюс 25 та плюс 30 шт. (до базового 2022 року);

C_0 – основний якісний показник, який визначає обсяг діяльності у році після впровадження результатів розробки, грн., C_0 дорівнює 45 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 $\Delta\Pi_1$ для потенційного інвестора протягом першого року від можливого впровадження нашої розробки (2023 р.) складе:

$$\Delta\Pi_1 = [5 \cdot 100 + 45 \cdot 10] \cdot 0,8333 \cdot 0,4 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 259,65 \text{ (тис. грн.)}$$

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

$$\Delta\Pi_2 = [5 \cdot 100 + 45 \cdot 20] \cdot 0,8333 \cdot 0,4 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 382,65 \text{ (тис. грн.)}$$

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

$$\Delta\Pi_3 = [5 \cdot 100 + 45 \cdot 25] \cdot 0,8333 \cdot 0,4 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 444,15 \text{ (тис. грн.)}$$

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

$$\Delta\Pi_4 = [5 \cdot 100 + 45 \cdot 30] \cdot 0,8333 \cdot 0,4 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 505,64 \text{ (тис. грн.)}$$

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

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

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

t – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої роботи, роки. Для нашого випадку t 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:

$$\begin{aligned} \text{ПП} &= \frac{259,65}{(1+0,1)^1} + \frac{382,65}{(1+0,1)^2} + \frac{444,15}{(1+0,1)^3} + \frac{505,64}{(1+0,1)^4} = \\ &= 236,05 + 317,07 + 333,70 + 345,36 = 1232,18 \approx 1233 \text{ (тис. грн.)}. \end{aligned}$$

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

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

Для нашого випадку:

$$\text{PV} = (1,0 \dots 5) \times 68 = 2,5 \times 68 = 170 \text{ (тис. грн.)}.$$

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

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

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

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

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

$$E_{абс} = 1233 - 170 = 1063 \text{ (тис. грн.)}.$$

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

Далі розрахуємо внутрішню дохідність E_v вкладених інвестицій:

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

де $E_{абс}$ – абсолютний ефект вкладених інвестицій, $E_{абс}$ 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:

$$E_v = \sqrt[5]{1 + \frac{1063}{170}} - 1 = \sqrt[5]{1 + 6,2529} - 1 = \sqrt[5]{7,2529} - 1 = 1,486 - 1 = 0,486 = 48,6' (\%),$$

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

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

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

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:

$$\tau_{\text{мін}} = 0,10 + 0,30 = 0,40$$

або $\tau_{\text{мін}}$ дорівнює 40%.

Оскільки величина E_B дорівнює 48,6% , що більше $\tau_{\text{мін}}$, яка дорівнює 40%, 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:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{0,486} = 2,057 \text{ (років)},$$

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:

$$\begin{aligned} \text{ПП} &= \frac{259,65}{(1+0,3)^1} + \frac{382,65}{(1+0,3)^2} + \frac{444,15}{(1+0,3)^3} + \frac{505,64}{(1+0,3)^4} = \\ &= 199,73 + 226,42 + 202,16 + 177,04 = 805,35 \approx 806 \text{ (тис. грн.)}. \end{aligned}$$

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

$$E_{\text{абс}} = 806 - 170 = 636 \text{ (тис. грн.)}$$

Внутрішня дохідність E_v вкладених інвестицій становитиме:

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

де $E_{\text{абс}}$ – абсолютний ефект вкладених інвестицій, $E_{\text{абс}}$ дорівнює 636 тисяч грн;

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, PV дорівнює 170 тисяч грн.

Для нашого випадку отримаємо:

$$E_v = \sqrt[4]{1 + \frac{636}{170}} - 1 = \sqrt[4]{1 + 3,7412} - 1 = \sqrt[4]{4,7412} - 1 = 1,365 - 1 = 0,365 = 36,5(\%).$$

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 E_v рівна 36,5%, та менша ніж $\tau_{\text{мін}}$, що дорівнює 40%, то потенційний інвестор у принципі також може бути зацікавлений у

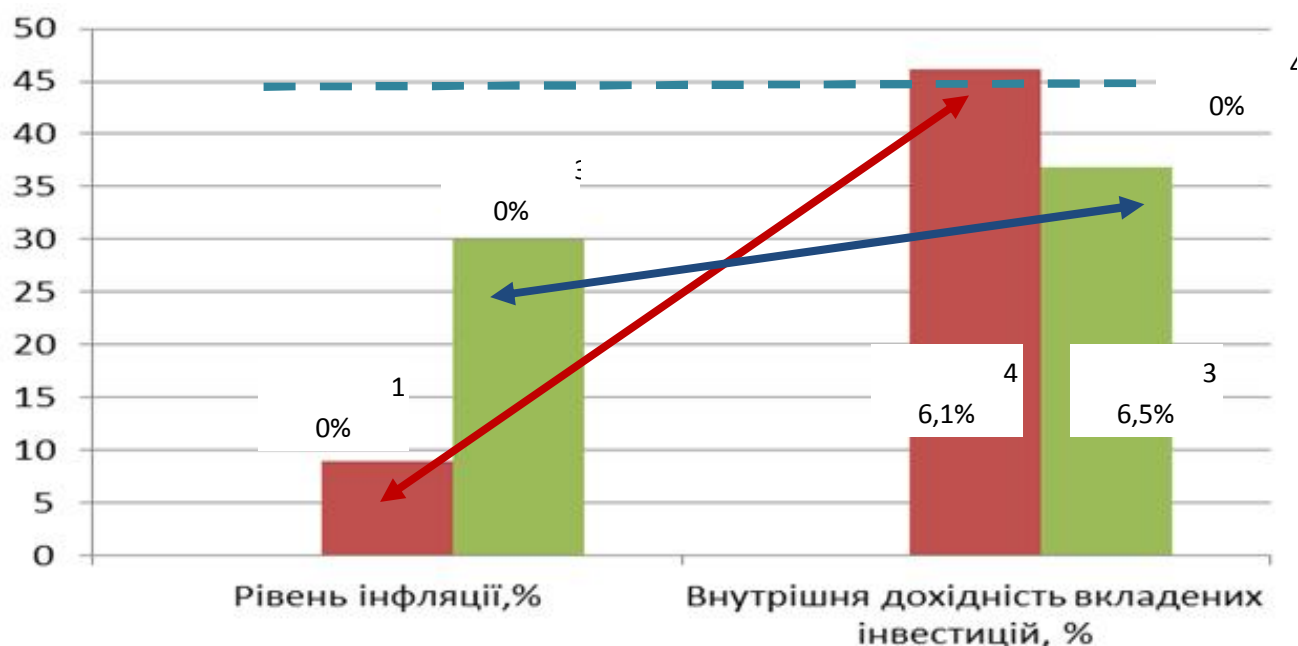


Рисунок 5.1 – Моделювання залежності величини внутрішньої дохідності потенційних інвестицій від рівня інфляції в країні

фінансуванні та комерціалізації розроблених нами комп'ютеризованих навчальних засобів, але таке рішення потребує додаткових обґрунтувань.

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

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 технологічного процесу дозування 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 модель процесу виконання стадії «Моделювання існуючого автоматизованого ТП», який виконує і студент, і викладач, в ході дослідження цифрової трансформації ТП дозування. 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 навчального дослідження.

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

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 дозування. 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 модель діяльностей заключної стадії навчального дослідження цифрової трансформації АТП дозування, які виконують 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 дозування. 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. Вы готовы к производственной среде будущего? [Электронная книга] : Dassault Systemes : The 3DEXPERIENCE Company [Електронний ресурс]. URL: <https://ifwe.3ds.com/>.
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. IIoT vs Digital Transformation vs Industry 4.0 [Електронний ресурс] . URL: <https://www.youtube.com/watch?v=O-ALemUcgsU>.
7. Лабораторна модель промислового накопичувача/дозатора рідини (фаза 2 основного технологічного процесу) / Укладач: Папінов В.М. – Вінниця, ВНТУ, 2020. – 11 с.
8. Industry 4.0: Mini Assembly Line (Part 1/2) - Sensors & Jigs with Dobot robot arm & Blockly code [Електронний ресурс]. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=DjNwQ89KXhs>.

9. Industry 4.0: Mini Assembly Line (Part 2/2) - Computer vision with Dobot robot arm & OpenCV [Електронний ресурс]. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=hR1GYoaSJkw>.

10. Жарков А.В. Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення цифрової трансформації технологічного процесу дозування / А.В.Жарков, В. М. Папінов / Матеріали 51-ої Науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ) [Електронний ресурс]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2022/paper/view/14853/12588>.

11. Жарков А.В. Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення цифрової трансформації технологічного процесу дозування / А.В.Жарков, В. М. Папінов / Матеріали Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2022)» [Електронне мережне наукове видання]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2022/paper/view/14183>.

12. Як створити цифрове підприємство: 6 етапів на шляху до Індустрії 4.0 [Електронний ресурс]. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%8F%D1%82%D0%B8%D0%B5.

13. Широков Ю. Интеллектуальные решения ИЕИ для производства // Современные технологии автоматизации. – 2020. - №1. - С.68-75.

14. OVERVIEW OF DIGITAL TRANSFORMATION: MARKET SIZE, BENEFITS AND TRENDS [Електронний ресурс]. URL: <https://www.analyticsinsight.net/overview-of-digital-transformation-market-size-benefits-and-trends/>.

15. THE EVOLUTION OF DIGITAL TRANSFORMATION [Електронний ресурс]. URL: <https://www.analyticsinsight.net/the-evolution-of-digital-transformation/>.

16. Nathan Furr, Andrew Shipilov, Didier Rouillard, Antoine Hemon-Laurens.

The 4 Pillars of Successful Digital Transformations [Електронний ресурс]. URL: <https://hbr.org/2022/01/the-4-pillars-of-successful-digital-transformations>.

17. Mohan Subramaniam. The 4 Tiers of Digital Transformation [Електронний ресурс]. URL: https://hbr.org/2021/09/the-4-tiers-of-digital-transformation?ab=at_art_art_1x4_s02.

18. Digital Transformation in the Manufacturing Industry [Електронний ресурс]. URL: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=U0FjPgF5ZsA>.

19. 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.

20. 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.

21. Implementing Industrie 4.0: This is how it works! [Електронний ресурс]: Festo Corporate. URL : <https://youtube/ZCLHojIj7eA>.

22. MBSE for Dummies: Rethinking your systems engineering approach [Електронний ресурс]. URL : <https://youtu.be/KR6bb8HRzzc>.

23. Папінов В.М. Організація віртуального виробництва в лабораторії 5303 [Електронний ресурс]. URL : https://iq.vntu.edu.ua/b04213/html/nlr/nlr.php?card_id=41175&id=960&renum=1.

24. Папінов В.М. Лабораторне завдання для роботи №4 на тему «Вивчення лабораторної імітації інтегрованої АСУ виробництвом» [Електронний ресурс]. URL : https://iq.vntu.edu.ua/b04213/html/nlr/nlr.php?card_id=41175&id=960&renum=1.

25. Visio: Працюйте з графічним представленням даних, де і коли вам потрібно [Електронний ресурс]. URL : <https://www.microsoft.com/uk-ua/microsoft-365/visio/flowchart-software>.

26. Batch Control. Part 1: Models and Terminology: ANSI/ISA-88.00.02-2001. - [Чинний від 2010–01–01]. – USA: International Society of Automation.

27. Індустрія 4.0: як скористатися новими технологіями // Современные технологии автоматизации. – 2021. – №3. – С. 6-9.
28. 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.
29. 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.
30. 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.
31. 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.
32. Reference Models for Digital Manufacturing Platforms/ Francisco Fraile, Raquel Sanchis, Raul Poler, Angel Ortiz// MDPI: Appl. Sci. 2019, 9, 4433; doi:10.3390/app9204433 [Електронний ресурс]. URL : www.mdpi.com/journal/applsci.
33. Peter Adolphs. RAMI 4.0: An architectural Model for Industrie 4.0/URL: www.plattform-i40.de.
34. 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-dbc47c8-8f1a-dc915d263cd3/605016fb-ed97-4b22-a6fb-de1f93556226/605016fb-ed97-4b22-a6fb-de1f93556226.
35. 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-dbc8-47c8-8f1a-dc915d263cd3/e3a1dea8-20e3-4e25-a3ba-f9836a1c99a8/e3a1dea8-20e3-4e25-a3ba-f9836a1c99a8).

36. 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.

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

38. Офіційний сайт компанії PTC [Електронний ресурс]. URL : <https://www.ptc.com/>.

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

40. Офіційний сайт Kerware Technologies [Електронний ресурс]. URL : www.kerware.com.

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

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

43. 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.

44. ThingWorx Asset Advisor [Електронний ресурс] : PTC. URL : https://www.ptc.com/en/thingworx-applications/asset-advisor-old#_ga=2.180395684.267592167.1539066294-1590801074.1539066294.

45. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт. / Укладачі В.О. Козловський, О.Й. Лесько, В.В.Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

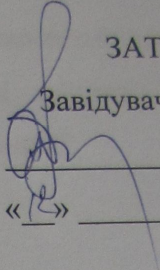
ДОДАТКИ

ДОДАТОК А
(обов'язковий)

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

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри АІТ


Бісікало О.В.

«12» 12 2022 р.

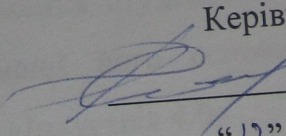
ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на науково-дослідну роботу

«Розробка навчальних засобів дослідження цифрової трансформації
технологічного процесу дозування»

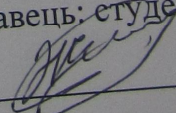
08-02.МКР.002.00.000 ТЗ

Керівник роботи:


доц. Коцюбинський В.Ю.

«12» 12 2022 р.

Виконавець: студент гр. 1АКІТ-21м


Жарков А.І.

«12» 12 2022 р.

Вінниця – 2022 рік

галузь застосування

Навчальні засоби (НЗ) для дослідження цифрової трансформації технологічного процесу дозування.

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 сформувати 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 1.22. Ця архітектура будується на основі таких моделей, існуючих в лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка» ФПТА,:

- на фізичній моделі технологічного процесу (ТП) дозування;
- 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 дозування, 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 проектного практикуму, так і викладачем при підготовці навчально-методичних матеріалів цих професійних дисциплін або проектного 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%;

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.

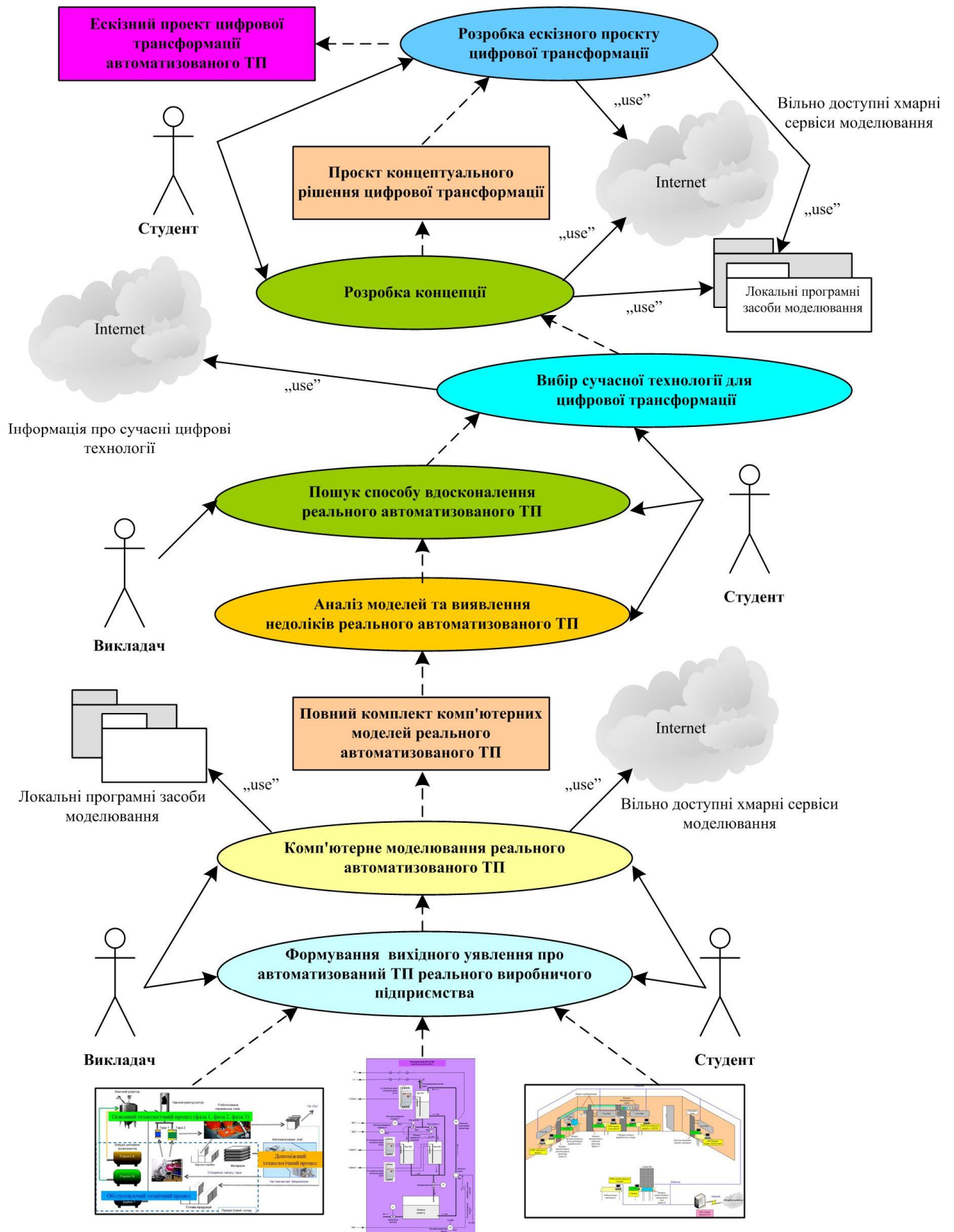
8.3 Захист роботи – в період з 16.12.22 р. по 30.12.22 р. за графіком, встановленим кафедрою АІТ.

ДОДАТОК Б
(обов'язковий)

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

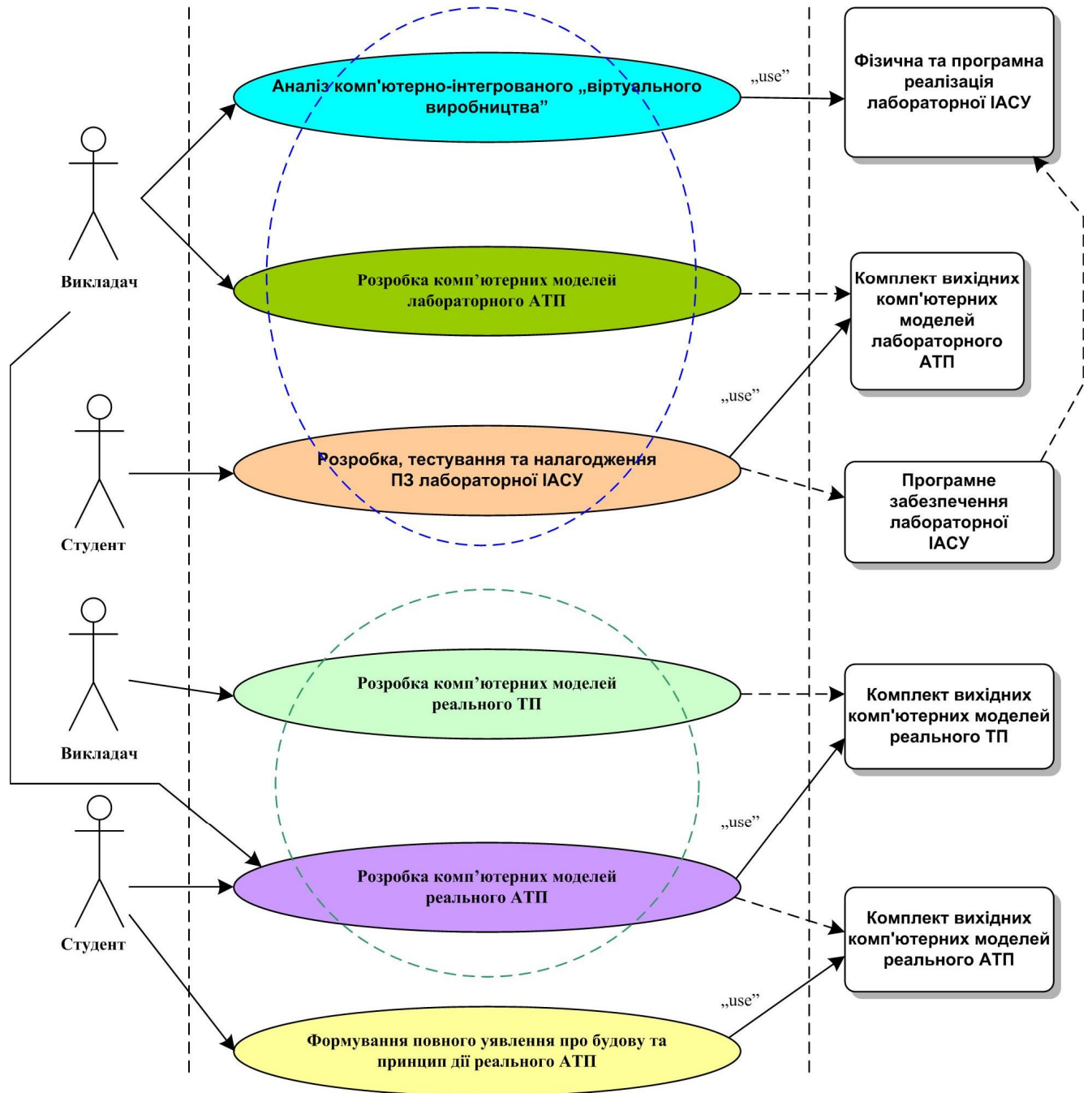
РОЗРОБКА НАВЧАЛЬНИХ ЗАСОБІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВОЇ
ТРАНСФОРМАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДОЗУВАННЯ

ЗАГАЛЬНА АРХІТЕКТУРА НАВЧАЛЬНИХ ЗАСОБІВ



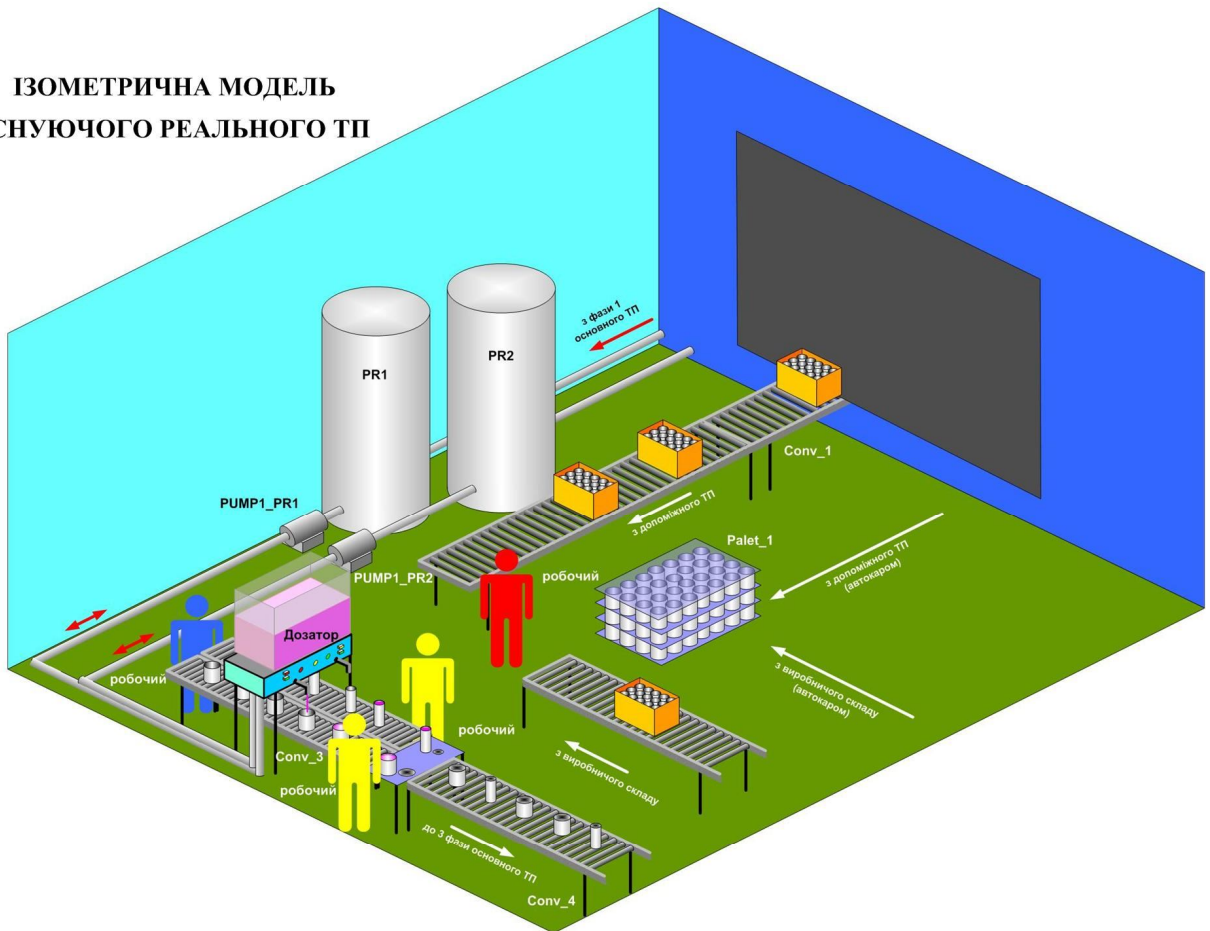
Фізична та програмна реалізація лабораторної ІАСУ технологічним процесом „віртуального виробництва”

МОДЕЛЬ ДІЯЛЬНОСТЕЙ НА СТАДІЇ „МОДЕЛЮВАННЯ ІСНУЮЧОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ТП”

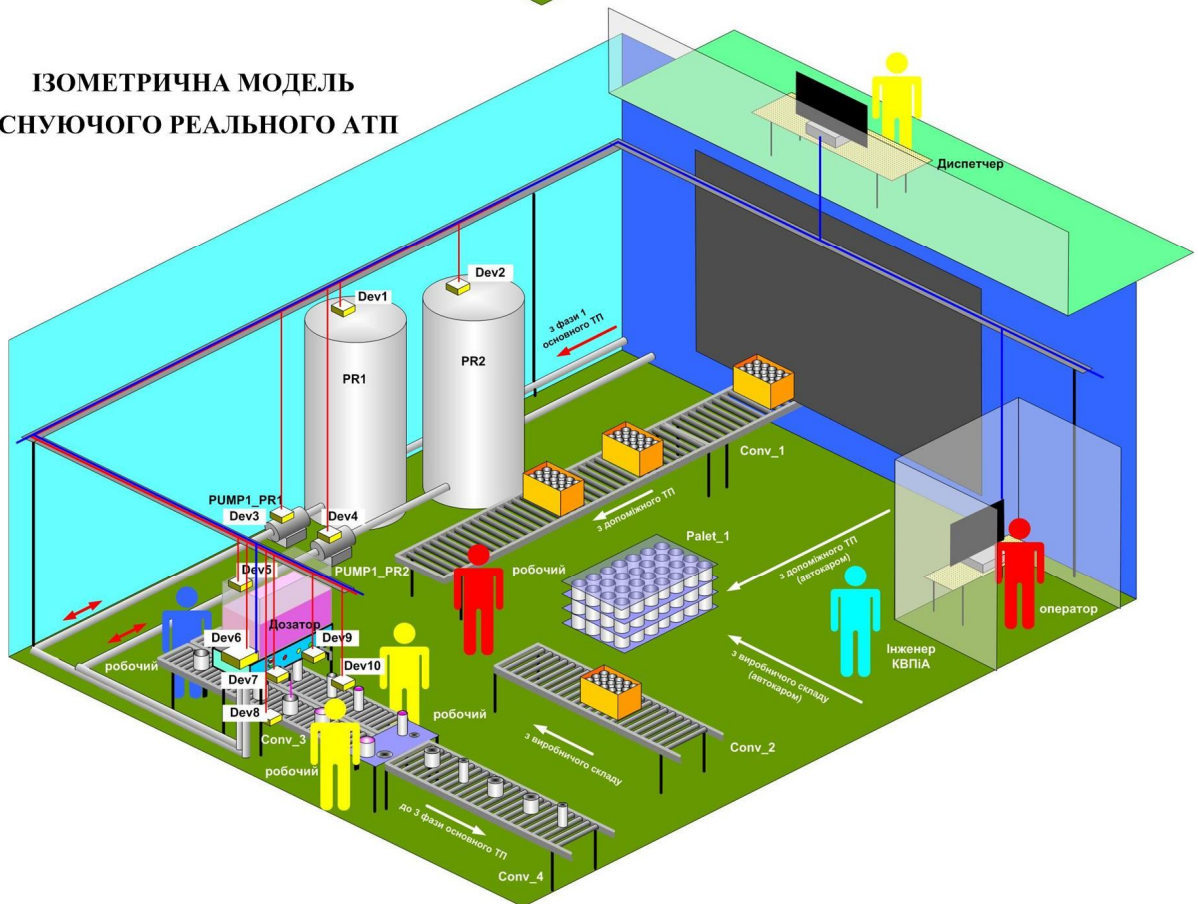


МОДЕЛЮВАННЯ ІСНУЮЧОГО РЕАЛЬНОГО АТП

ІЗОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ
ІСНУЮЧОГО РЕАЛЬНОГО ТП

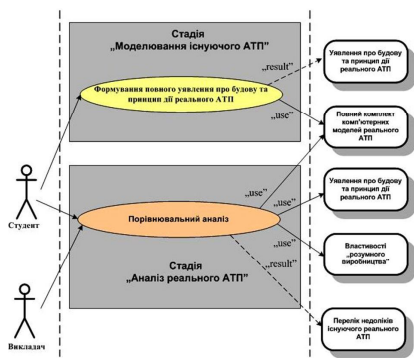


ІЗОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ
ІСНУЮЧОГО РЕАЛЬНОГО АТП

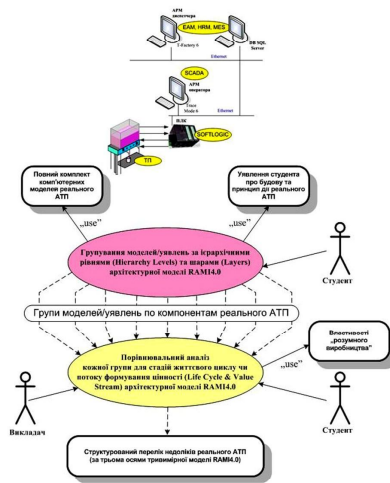


ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ "АНАЛІЗ РЕАЛЬНОГО АТП"

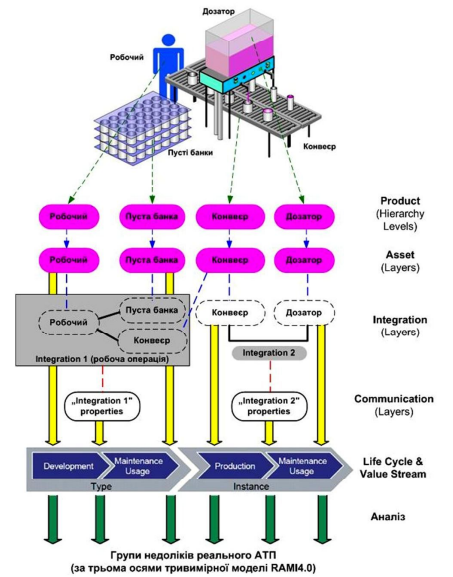
ЗАГАЛЬНЕ БАЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ



АЛГОРИТМ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ



ПРИКЛАД ПРАКТИЧНОГО ВИКОНАННЯ СТАДІЇ



ПРОЄКТ АРХІТЕКТУРИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АТП ДЛЯ І4.0

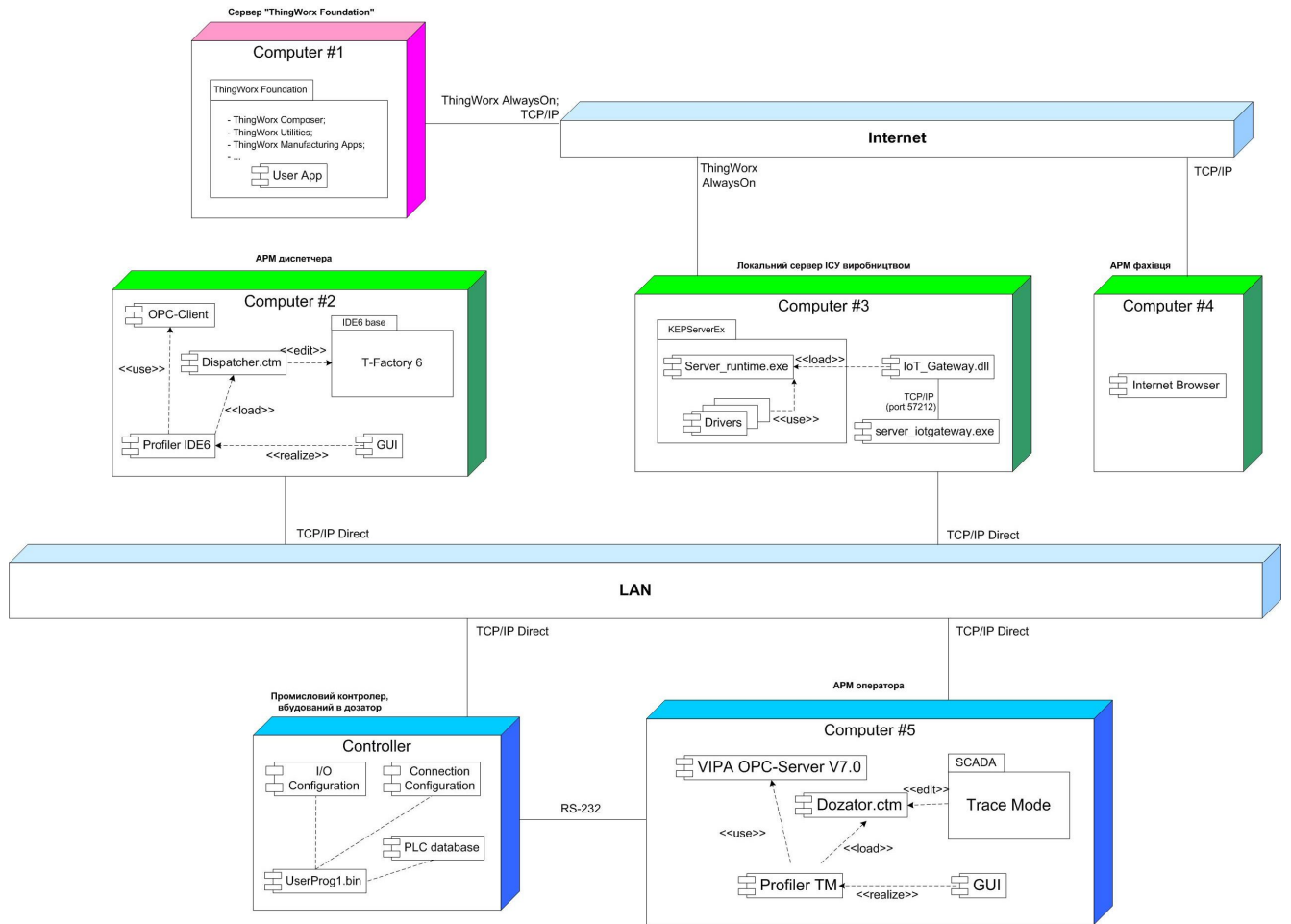
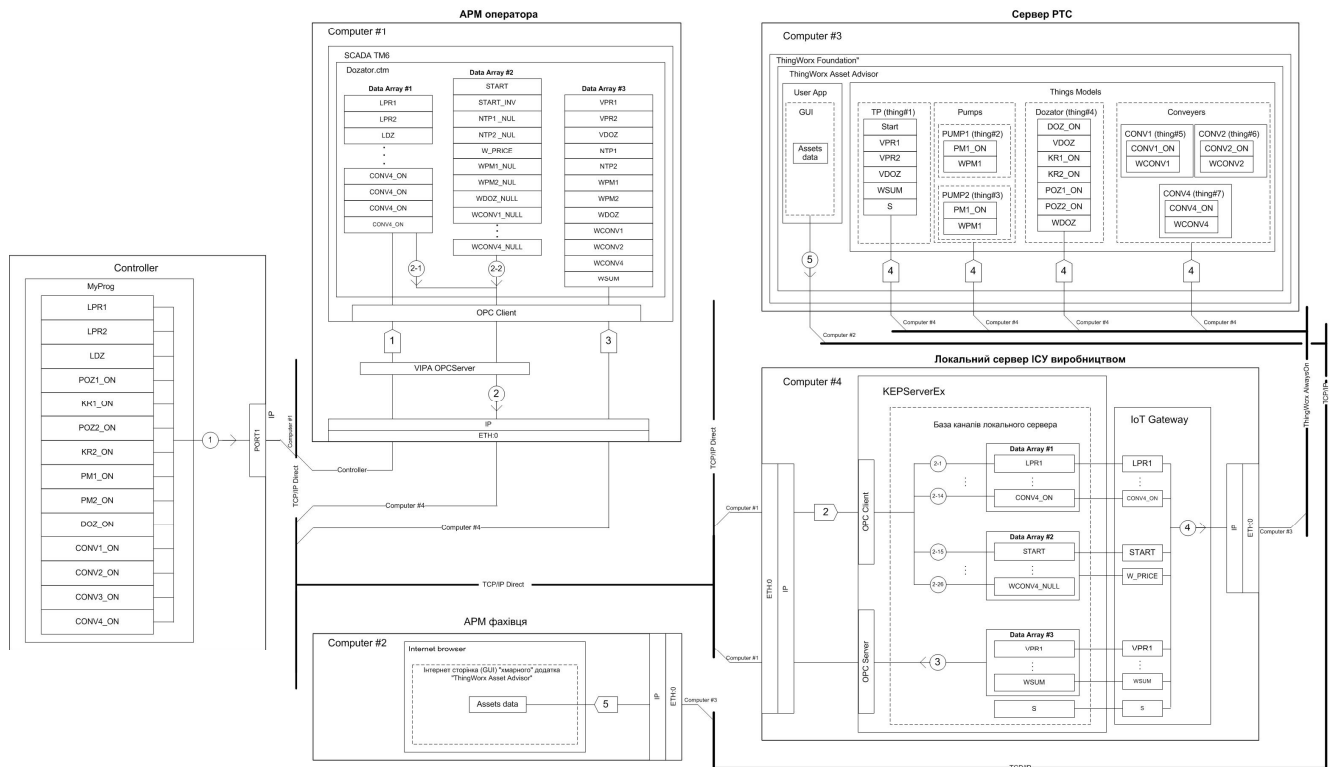


СХЕМА МЕРЕЖНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ АТП ДЛЯ І4.0



ДОДАТОК В
(довідковий)

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ
НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ**

Назва роботи: *Магістерська кваліфікаційна робота*
«Розробка навчальних засобів дослідження цифрової трансформації
технологічного процесу дозування»

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	97.9%
КП2	-		
Тривога/Білі знаки	/	Схожість	2.1%

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 _____ Жарков А.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення: Допустити до захисту

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