

Вінницький національний технічний університет

Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації

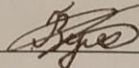
Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

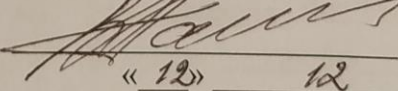
на тему:

«Навчальний засіб на основі Siemens Tecnomatix Plant Simulation для дослідження цифрової трансформації типу автоматизованого виробництва»

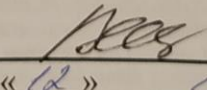
Виконав: здобувач 2 курсу, групи ЗАКІТР-24м,
спеціальності 174 – «Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

 Володимир ГУЛЬМАН

Керівник: к.т.н., проф. кафедри АІТ

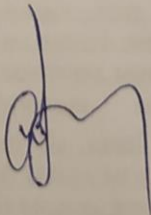
 Володимир ПАПІНОВ
« 12 » 12 2025 р.

Опонент: к.т.н., доцент. кафедри КН

 Валерій ДЕНИСЮК
« 12 » 12 2025 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри АІТ
д.т.н., проф.

Олег БІСІКАЛО
« 15 » 12 2025 р.



Вінниця ВНТУ - 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій
Рівень вищої освіти II-ий (магістерський)
Галузь знань – 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність – 174 - Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
Освітньо-професійна програма – Інформаційні системи і Інтернет речей

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АІТ

д.т.н., проф. Олег БІСІКАЛО

«26» 09 2025 р.

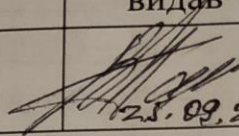
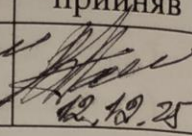
ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Гульману Володимиру Андрійовичу
(ІПБ автора повністю)

1. Тема роботи: Навчальний засіб на основі Siemens Tecnomatix Plant Simulation для дослідження цифрової трансформації типу автоматизованого виробництва
Керівник роботи: к.т.н., проф. каф. АІТ Папінов В.М.
Затвердженні наказом ВНТУ від «24» вересня 2025 року № 313.
2. Строк подання роботи студентом: до «12» грудня 2025 року.
3. Вихідні дані до роботи: Навчальний засіб (НЗ) призначений для забезпечення практикумів професійних дисциплін "Кіберфізичні системи автоматизації виробництва" (4 курс бакалаврської підготовки) та "Промисловий Інтернет речей" (1 курс магістерської підготовки); НЗ повинен створювати умови для індивідуальної когнітивної діяльності здобувача при рішенні реальних проєктних задач, сприяти більш глибокому вивченню здобувачем теоретичного матеріалу вказаних навчальних дисциплін, а також давати можливість сформулювати у здобувача відповідні професійно-орієнтовані практичні уміння та навички проєктування цифрової трансформації реальних автоматизованих виробництв; НЗ повинний будуватися на основі лабораторної імітаційної моделі автоматизованого «віртуального» виробництва хімічної продукції, реалізований в навчальній лабораторії 5303 ФІПА ВНТУ, та на програмно-технічній моделі інтегрованої системи автоматизації (ІСА) даного «віртуального» виробництва
4. Зміст текстової частини: 1) Науково-технічне та техніко-економічне обґрунтування роботи. 2) Проєктування процесу виконання стадії «Розробка типу автоматизованого виробництва ІЗ.0» 3) Проєктування процесу виконання стадії «Аналіз типу автоматизованого виробництва ІЗ.0» 4) Проєктування процесу виконання стадії «Цифрова трансформація типу автоматизованого виробництва ІЗ.0» 5) Економічний розділ; Висновки; Список використаних джерел
5. Перелік ілюстративного (або графічного) матеріалу: 1) Архітектура нового навчального засобу. 2) Модель діяльності на стадії «Розробка типу автоматизованого виробництва ІЗ.0» 3) Концепція моделі типу АВ ІЗ.0 4) Загальне бачення процесу виконання стадії «Аналіз автоматизованого виробництва ІЗ.0» 5) Модель діяльності заключної стадії дослідження цифрової трансформації типу АВ ІЗ.0 6) Концепція моделі типу АВ ІЗ.0

6. Консультанти розділів роботи

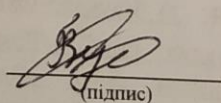
Розділ змістової частини роботи	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 – 4	Володимир ПАПІНОВ, к.т.н., проф. кафедри АІТ	 25.09.25	 25.10.25

7. Дата видачі завдання: «25» вересня 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

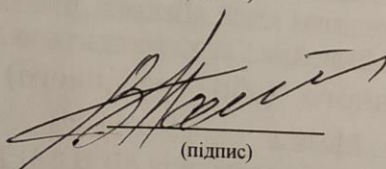
№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Науково-технічне та техніко-економічне обґрунтування роботи	25.09–05.10.2025	вик
2	Розробка технічного завдання на магістерську кваліфікаційну роботу	25.09–05.10.2025	вик
3	Проектування процесу виконання стадії «Розробка типу автоматизованого виробництва І3.0»	05.10 – 25.10.2025	вик
4	Проектування процесу виконання стадії «Аналіз типу автоматизованого виробництва І3.0»	25.10 – 10.11.2025	вик
5	Проектування процесу виконання стадії «Цифрова трансформація типу автоматизованого виробництва І3.0»	05.11 – 20.11.2025	вик
6	Підготовка економічної частини	до 01.12.2025	вик
7	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу і презентації	20.11 – 03.12.2025	вик
8	Попередній захист роботи	до 03.12.2025	вик
9	Захист роботи	до 19.12.2025	вик

Здобувач


(підпис)

Володимир ГУЛЬМАН
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Володимир ПАПІНОВ
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 378.162+681.51

Гульман В.А. Навчальний засіб на основі Siemens Tecnomatix Plant Simulation для дослідження цифрової трансформації типу автоматизованого виробництва. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка, освітня програма – Інформаційні системи і Інтернет речей. Вінниця: ВНТУ, 2025. 140 с.

Укр. мовою. Бібліогр.: 42 назв; рис.: 67; табл. 8.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблений комп'ютеризований навчальний засіб для дослідження цифрової трансформації типу автоматизованого виробництва. Комп'ютеризований навчальний засіб призначений 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, новий засіб будується на основі інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне виробництво», що дозволило за рахунок використання «хмарної» інструментальної платформи «Siemens Tecnomatix Plant Simulation» підвищити ефективність навчального дослідження шляхом виконання ескізного проєкту цифрової трансформації типу автоматизованого виробництва.

Ключові слова: комп'ютерно-інтегрована технологія, цифрова трансформація, автоматизоване виробництво, навчальне дослідження, комп'ютеризована навчальна лабораторія

ABSTRACT

Gulman V.A. Training tool based on Siemens Tecnomatix Plant Simulation for exploring digital transformation of automated manufacturing type. Master's Qualification Thesis in the specialty 174 – Automation, computer-integrated technologies and robotics, educational program – Information systems and the Internet of Things. Vinnytsia: VNTU, 2025. 140 p.

In Ukrainian language. Bibliography: 42 titles; Fig.: 67; table 8.

In the master's qualification work, a computerized educational tool has been developed for the study of digital transformation of the type of automated production. The computerized educational tool is intended to provide workshops in the professional disciplines "Cyber-physical systems of production automation" (4th year of bachelor's training) and "Industrial Internet of Things" (1st year of master's training);. Unlike existing computerized educational tools, the new tool is built on the basis of an information and educational environment of the type "virtual production", which allowed, through the use of the "cloud" tool platform "Siemens Tecnomatix Plant Simulation", to increase the efficiency of educational research by implementing a draft project of digital transformation of the type of automated production.

Keywords: computer-integrated technology, digital transformation, automated manufacturing, educational research, computerized educational laboratory

ЗМІСТ

ВСТУП	
1 НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ.....	
1.1 Дослідження референтної архітектурної моделі «розумного підприємства» RAMI 4.0	
1.2 Дослідження існуючого інструменту відображення й обробки цифрового життєвого циклу автоматизованого виробництва.....	
1.3 Вибір та аналіз типу автоматизованого виробництва для навчального засобу.....	
1.4 Розробка архітектури нового навчального засобу для дослідження цифрової трансформації автоматизованого виробництва	
1.5 Висновки до розділу	
2 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «РОЗРОБКА ТИПУ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА ІЗ.0»	
2.1 Аналіз програмних інструментів моделювання виробничих об'єктів ...	
2.2 Розробка моделі діяльностей	
2.3 Концептуальне проєктування цифрової моделі типу АВ ІЗ.0	
2.4 Висновки до розділу	
3 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «АНАЛІЗ ТИПУ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА ІЗ.0»	
3.1 Загальне бачення	
3.2 Розробка алгоритму виконання аналізу	
3.3 Приклади виконання аналізу типу АВ 3.0.....	
3.4 Висновки до розділу	
4 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ТИПУ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА ІЗ.0».....	

4.1	Означення основних діяльностей
4.2	Дослідження предметної області АВ І4.0
4.3	Приклад розробки концептуального рішення типу АВ І4.0.....
4.4	Проектне моделювання типу АВ І4.0
4.5	Висновки до розділу
ВИСНОВКИ	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	
ДОДАТКИ.....	
Додаток А (довідковий) Протокол перевірки магістерської	
	кваліфікаційної роботи
Додаток Б (обов'язковий) Технічне завдання на виконання	
	магістерської кваліфікаційної роботи
Додаток В (обов'язковий) Ілюстративна частина	

ВСТУП

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

Для цього в моделі RAMI 4.0 існує вісь «Життєвий цикл та потік формування цінності» (Life Cycle and Value Stream) [4], яка відображає згідно зі стандартом ІЕС 62890 життєвий цикл будь-яких виробничих об'єктів, зокрема і автоматизованого устаткування [5]. Така модель життєвого циклу вводить різницю між типом автоматизованого виробництва та його екземпляром. Тип автоматизованого виробництва характеризується унікальним ідентифікатором, а саме всією документацією, пов'язаною з ним (проектна документація, опис виробництва та випробування, технічна документація і т.д.) та потрібними сертифікатами. Опис типу автоматизованого виробництва припустимий як для будь-яких технологічних установок чи верстатів, так і для програмної та апаратної частин їх систем автоматизації. З іншого боку, екземпляр автоматизованого виробництва характеризується унікальним ідентифікатором екземпляру, таким як номер замовлення на його реалізацію в умовах конкретного підприємства.

В наш час існують різні механізми для відображення й обробки цифрового життєвого циклу як типу автоматизованого виробництва у процесі його створення, так і фізичного терміну служби екземпляру даного виробництва в

процесі його реалізації та практичного використання у виробничих умовах. Одним з таких доступних для здобувачів вищої освіти інструментів є «Siemens Tecnomatix Plant Simulation» [6-9].

Метою даної магістерської кваліфікаційної роботи є створення для здобувачів вищої освіти спеціальності 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка" нового навчального засобу (НЗ) для дослідження процесу цифрової трансформації типу існуючого автоматизованого виробництва, створеного за концепцією «Індустрія 3.0», у «розумне» цифрове виробництво «Індустрія 4.0» [10]) шляхом цифрової реалізації їх життєвих циклів в інструментальній системі промислової автоматизації «Siemens Tecnomatix Plant Simulation».

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

Предметом досліджень є підвищення ефективності практичного вивчення здобувачами вищої освіти методів та засобів реалізації життєвого циклу типу автоматизованого виробництва в процесі його цифрової трансформації за рахунок використання в навчальному процесі сучасного навчального засобу.

Задачі досліджень магістерської кваліфікаційної роботи:

1. Дослідження референтної архітектурної моделі «розумного підприємства» RAMI 4.0.
2. Дослідження існуючого інструменту відображення й обробки цифрового життєвого циклу автоматизованого виробництва.
3. Науково-технічне обґрунтування загальної архітектури нового навчального засобу на основі інструментальної системи промислової автоматизації «Siemens Tecnomatix Plant Simulation».
4. Розробка технічного завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.
5. Проектування програмно-технічної частини навчального засобу.
6. Розробка навчально-методичного забезпечення навчального засобу.

Інноваційна новизна отриманих результатів дослідження полягатиме в тім, що на відміну від існуючих навчальних засобів, новий засіб будується на основі

інтеграції сучасного зразка промислової інструментальної системи промислової автоматизації та системи JetIQ автоматизованого управління даними освітнього процесу та документообігу ВНТУ, що дозволяє підвищити ефективність навчального дослідження здобувачами процесу цифрової трансформації типу автоматизованого виробництва за рахунок реалізації наскрізного проєктного практикуму, який відтворює життєвий цикл типу даного виробництва, зокрема, детальну розробку концептуального та ескізного проєктів його цифрової трансформації.

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

Апробація результатів дослідження: основні результати виконання МКР опубліковані в матеріалах щорічної регіональної науково-практичної Інтернет-конференції здобувачів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (Вінниця, ВНТУ, 2026р.) [11].

1 НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ

1.1 Дослідження референтної архітектурної моделі «розумного підприємства» RAMI 4.0

Як було зазначено у вступі, архітектурна модель побудови «розумного» підприємства Reference Model for Industrie 4.0 (RAMI 4.0) є уніфікованою архітектурною референтною моделлю, яка забезпечує колективне розуміння стандартів, створених для реалізації на основі технологій Інтернету речей (IoT) концепції «Industry 4.0» (I4.0) комп'ютерно-інтегрованого виробництва [1-3].

Дана модель може бути інструментом для означення різних концепції в рамках I4.0, так і їх практичних використань. В цій моделі окремі компоненти I4.0 описуються на рівні їх структури та функцій. Модель вимагає формулювання вимог щодо конкретного застосування з метою опису та подальшої розробки I4.0 концепцій та продуктів. Таким чином, модель RAMI 4.0 описує нейтральну щодо подальшої реалізації найкращу (рекомендовану) архітектурну модель для тих додатків, що використовують Інтернет речей, аналітику великих даних та інші технологічні новації у виробничих процесах.

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

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

Референтна модель RAMI 4.0, що показана на рисунку 1.1 [1], базується на трьохвимірній системі координат – «Життєвий цикл та потік формування цінності» (Life Cycle & Value Stream), «Шари» (Layers) та «Ієрархічні рівні» (Hierarchy Levels).

Ця структура може використовуватися для системної організації та подальшої розробки концепцій та технологій в рамках I4.0.

Вісь «Життєвий цикл та потік формування цінності» (Life Cycle and Value Stream) представляє життєвий цикл продуктів (продукції) та систем (наприклад систем автоматизації чи автоматизованих виробничих систем). Ця вісь взята зі стандарту IEC 62890 [5].

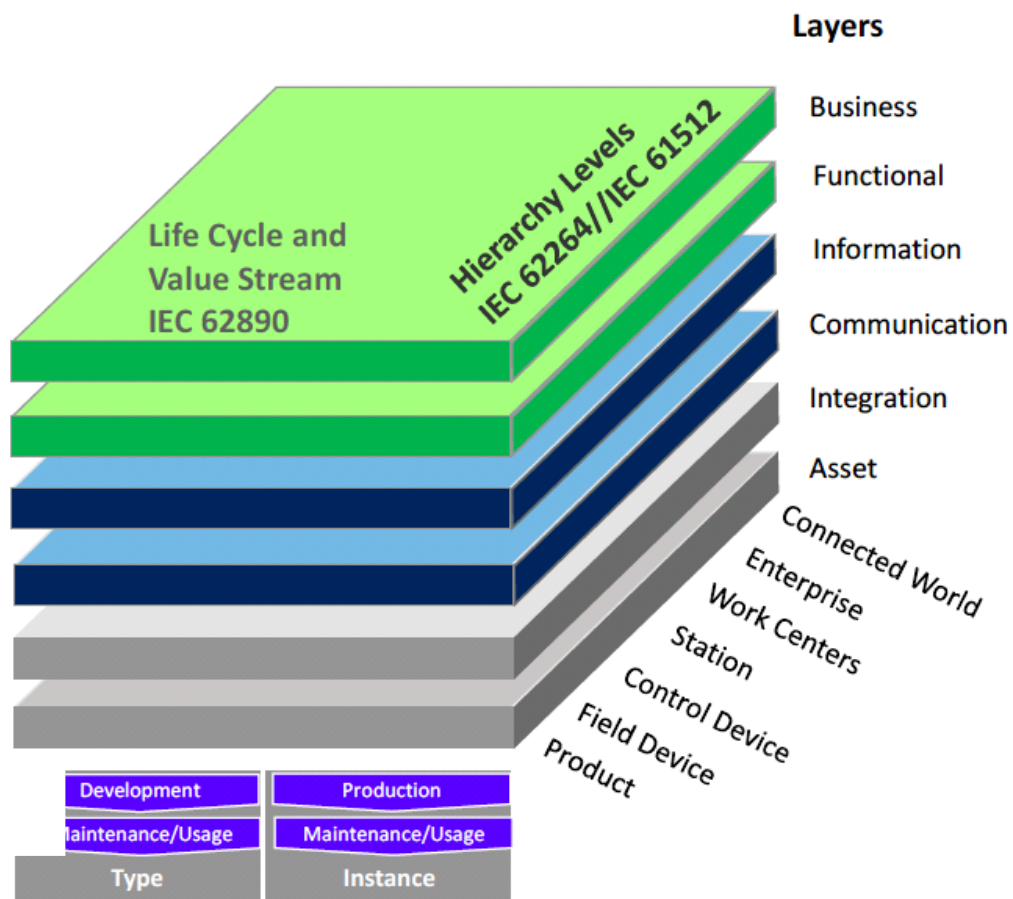


Рис. 1.1 - Референтна архітектурна модель RAMI 4.0

Модель життєвого циклу продукту/системи в першу чергу вводить різницю між типом продукту/системи та екземпляром продукту/системи. Тип продукту/системи характеризується унікальним ідентифікатором продукту/системи, а саме всією документацією, пов'язаною з продуктом/системою (проектна документація, опис виробництва та випробування, технічна та експлуатаційна документація і т.д.) та потрібними сертифікатами. Опис типу продукту/системи припустимий як для будь-яких апаратних (технічних) засобів та програмного забезпечення, так і для програмної та

апаратної частин продуктів/систем. З іншого боку, екземпляр продукту/системи характеризується унікальним ідентифікатором екземпляру, таким як серійний номер або номер замовлення (наряду) на реалізацію.

Усі продукти/системи змінюються в процесі свого життєвого циклу. Зазвичай, такі інструменти, як PLM (Product Lifecycle Management) і ERP (Enterprise Resource Planning) підтримують процеси міграції, комплексність і адаптивність і в такий спосіб забезпечують захист бізнес-моделі в рухливих системах. Для І4.0 недостатньо використання цих інструментів, тому що повинні бути відображені цифровий життєвий цикл у рамках проєктування продукту/системи, а також фізичний термін життя зробленого продукту чи системи (рисунок 1.2) [12].

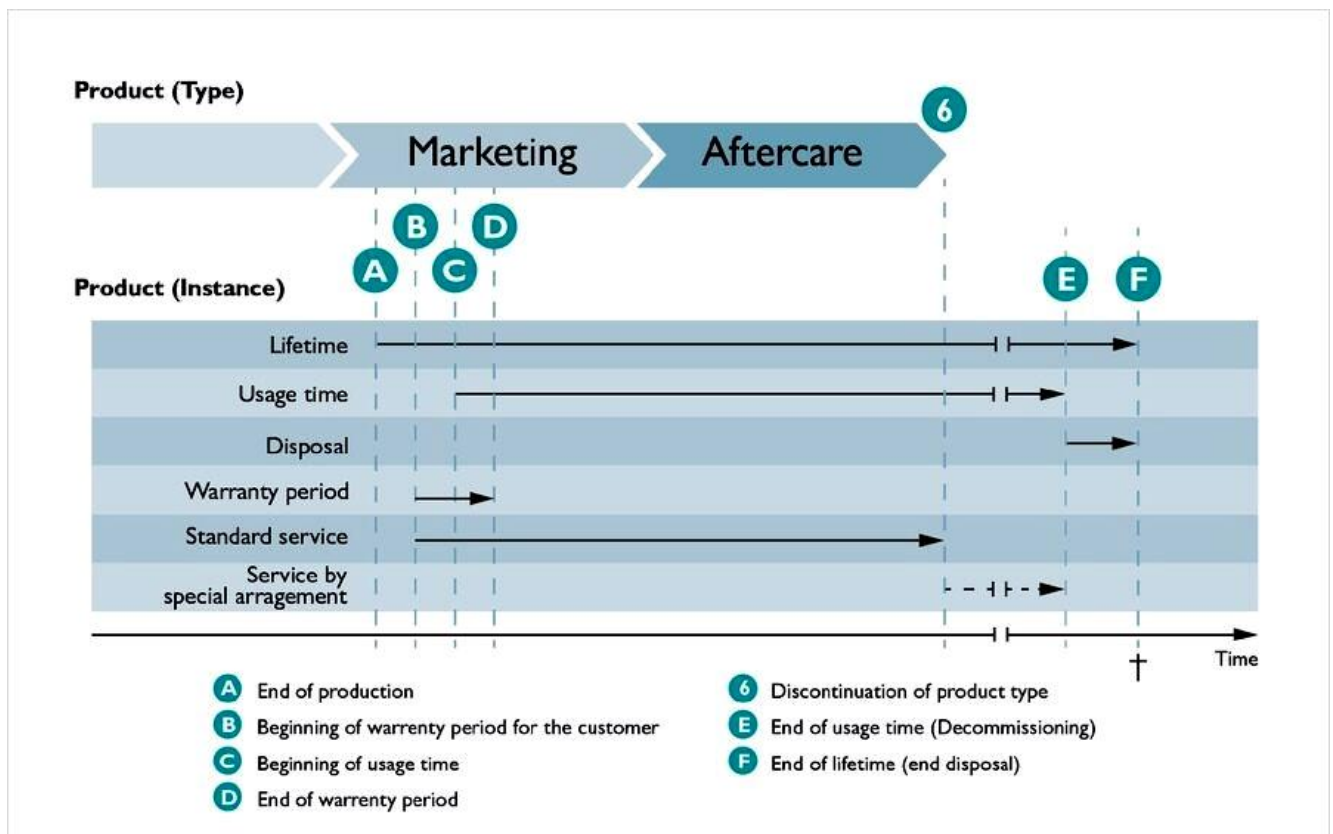


Рисунок 1.2 – Термін служби фізично використовуваного екземпляру продукту чи системи

Різні механізми дозволяють відображати й обробляти цифровий життєвий цикл типу продукту/системи у процесі проєктування, а також фізичний термін

служби екземпляру продукту/системи в процесі виробництва та його використання/експлуатації у виробничих системах (в апаратному чи програмному забезпеченні) чи у процесах, а також ланцюжка створення вартості (цінності) і бізнес-моделі.

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

Шари архітектурної моделі RAMI4.0 (див. рисунок 1.1), організовані уздовж вертикальної вісі і відображають різні керуючі шари інформаційних технологій (ІТ) проєкту конкретного І4.0 рішення. Зокрема, кожний шар збирає в собі різні частини промислової системи автоматизації, що призначені для виконання процедур управління «розумним» підприємством (схеми взаємодії програмних функцій, 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 уможливлюють 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, дана архітектурна модель описує будову інтегрованої системи автоматизації, яка керує усіма операціями «розумного» комп'ютерно-інтегрованого виробництва.

Життєвий цикл систем автоматизації означений і у інших національних та міжнародних стандартах. Наприклад, інтегрована система автоматизації звичайного (не розумного) виробництва може мати той же життєвий цикл, що і автоматизована інформаційна система (AIC) [13-15].

У таблиці 1.1 наведені рекомендовані міжнародним стандартом [13] стадії життєвого циклу AIC та їх цілі. Як видно з таблиці, проектування системи повинно виконуватися на стадії «Розробка», де створюються описи рішень та системи, але не означаються послідовні кроки формування цих описів.

Більш детально послідовність формування описів проєктних рішень автоматизованої системи (АС) означається у застарілому вже міждержавному стандарті ГОСТ 34.601-90 [16].

Таблиця 1.1 – Стадії життєвого циклу АІС згідно з ДСТУ ISO IEC IEEE 15288_2016

Стадія життєвого циклу	Ціль	Схема рішень
Задум	Визначити потреби правовласників Дослідити задуми Запропонувати життєздатні рішення	Варіанти рішення: - виконати наступну стадію; - продовжити данну стадію; - повернутись до попередньої стадії; - призупинити проєкт; - завершити проєкт;
Розробка	Уточнити вимоги до системи Створити опис рішень Створити систему Провести верифікацію і валідацію системи	
Виробництво	Виробити систему Проконтролювати і перевірити	
Застосування	Забезпечити застосування системи для задоволення потреб користувачів	
Підтримка застосування	Забезпечити стійку реалізацію можливостей системи	
Переведення в категорію непридатних для застосування	Зберігання, архівування або списання системи	

Згідно цього стандарту життєвий цикл системи складається з таких стадій:

1. Формування вимог до АС.
2. Розробка концепції АС.
3. Технічне завдання.
4. Ескізний проєкт.
5. Технічний проєкт.
6. Робоча документація (робочий проєкт).
7. Введення в дію.
8. Супровід.

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

На стадії «Ескізний проєкт» визначаються: функції АС (функції підсистем, їх цілі та ефекти, склад комплексів задач та окремих задач); концепція інформаційної бази, її укрупнена структура; функції системи управління базою

даних; склад обчислювальної системи; функції та параметри основних програмних засобів.

Стадія «Технічний проєкт» може складатися з таких етапів: «Розробка проєктних рішень із системи та її частин», «Розробка документації на АС та її частини», «Розробка та оформлення документації на поставку виробів для комплектування АС та технічних вимог (технічних завдань) на їх розробку», «Розробка завдань на проєктування в суміжних частинах проєкту об'єкта автоматизації».

На стадії «Робоча документації (робочий проєкт)» оформляють робочу документацію, яка повинна вміщувати всі необхідні та достатні відомості для забезпечення виконання робіт із введення системи у дію (монтаж, збирання, наладка) та її експлуатацію, а також для підтримки рівня експлуатаційних характеристик (якості) системи відповідно з прийнятими проєктними рішеннями (етап 1). Крім того, на цій стадії розробляють програми та програмні засоби системи, виконують вибір, адаптацію та (або) прив'язку програмних засобів, що мають придбати, а також виготовляють програмну документацію (етап 2).

На рисунку 1.3 показане співставлення моделей життєвого циклу автоматизованих систем (АС), які рекомендовані розглянутими вище стандартами.

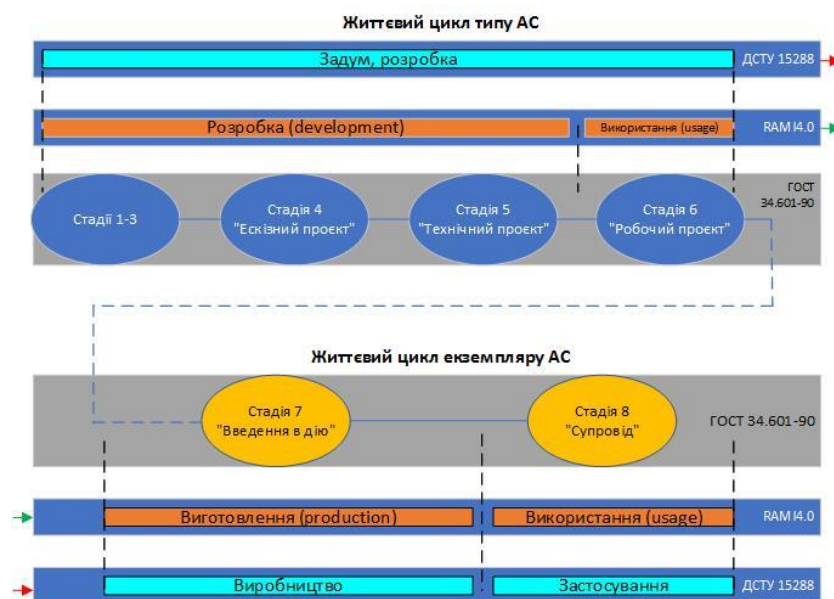


Рисунок 1.3 – Співставлення стандартних моделей життєвого циклу АС

З рисунку видно, що ці моделі пропонують аналогічне бачення життєвого циклу таких систем, тому для студентського дослідження за темою даної магістерської кваліфікаційної роботи, враховуючи його освітній характер, можна синтезувати деяку узагальнену модель, яка буде максимально орієнтована саме на задачі навчального процесу.

1.2 Дослідження існуючого інструменту відображення й обробки цифрового життєвого циклу автоматизованого виробництва

Відома у світі хмарна платформа промислової автоматизації «TECNOMATIX Plant Simulation» компанії Siemens дозволяє шляхом відображення й обробки цифрового життєвого циклу будь-якого промислового об'єкту (автоматизоване технологічне обладнання, виробничі матеріальні потоки, проміжні продукти та готова продукція) забезпечувати виробникам швидший вихід нової продукції на ринок за рахунок проведення вже на стадії розробки цифрової перевірки виробничих та логістичних систем протягом усього життєвого циклу промислових об'єктів [17].

При цьому використовуються 3D-моделі продуктів, ресурсів та виробничого устаткування для перевірки та оптимізації складних виробничих та логістичних процесів, які включають потоки матеріалів, працююче обладнання та людей з метою пришвидшення запуску виробництва та покращення якості нової продукції.

Дослідимо детальніше функції програмного забезпечення «Plant Simulation» та вбудовані спеціалізовані інструменти цієї платформи, які спрощують виконання завдань з моделювання та симуляції, а також забезпечують додаткову цінність для інвестицій у програмне забезпечення.

По-перше, програмне забезпечення «Plant Simulation» дозволяє створювати добре структуровані 3D-ієрархічні моделі виробничих потужностей, ліній та операцій для швидкого та ефективного моделювання дискретних та безперервних

виробничих процесів, використовуючи потужну об'єктно-орієнтовану архітектуру та можливості моделювання (рисунок 1.4) [18].

При цьому створення та візуалізація в 3D виконується з використанням вбудованих бібліотек або зовнішніх даних САПР. Основним форматом даних є JT для 3D-моделювання та технологія прямого моделювання Siemens для ефективного завантаження та реалістичної візуалізації великих 3D-моделей симуляції без шкоди для потреб моделювання та аналізу.

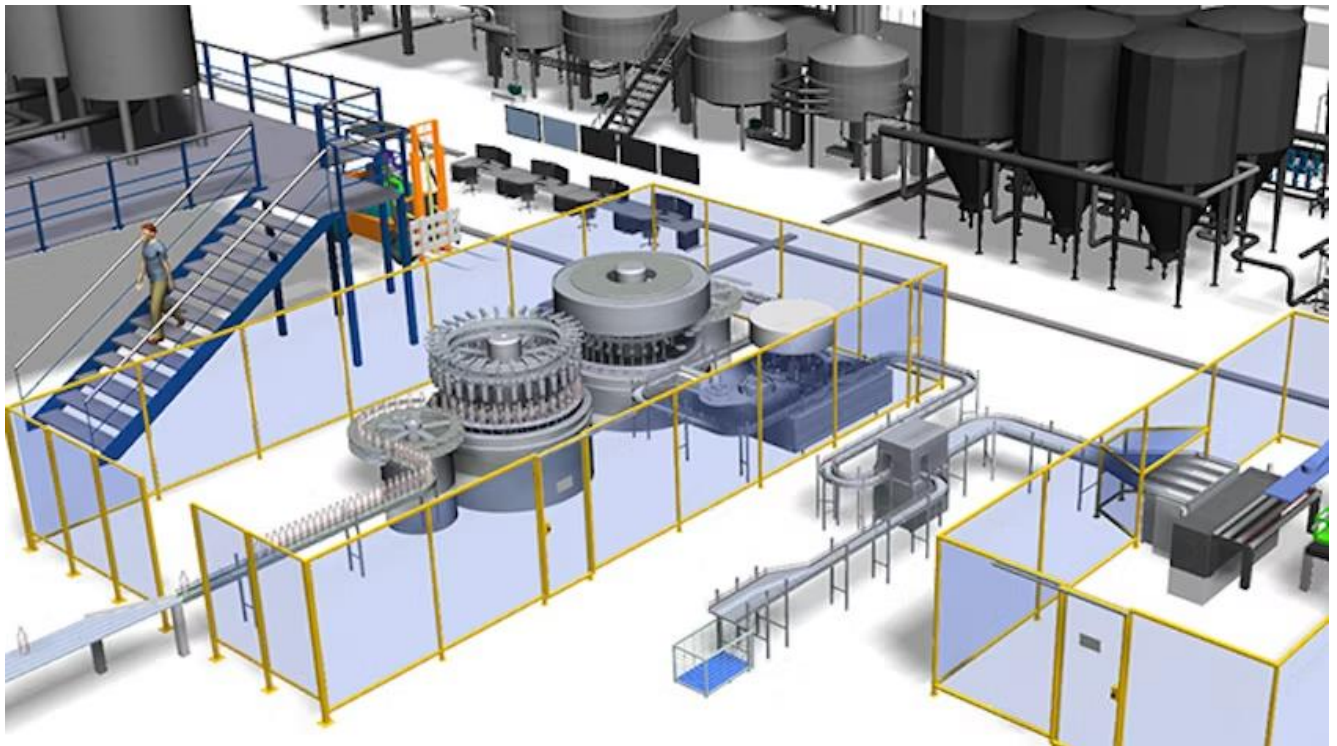


Рисунок 1.4 – Приклад 3D-моделювання з використанням вбудованих бібліотек промислових об'єктів

По-друге, програмне забезпечення «Plant Simulation» обробляє, розуміє та підтримує складні й детальні симуляції набагато краще, ніж традиційні інструменти симуляції, завдяки архітектурним перевагам інкапсуляції, успадкування та ієрархії (рисунок 1.5) [18].

Забезпечується моделювання за допомогою об'єктів всередині об'єктів та моделей всередині моделей на всіх рівнях ієрархії. Елементи, що зберігаються в бібліотеках, зберігаються для всіх користувачів, а зміни автоматично

застосовуються до всіх екземплярів цих елементів, де б вони не використовуються. А ці елементи бібліотеки можна легко налаштувати відповідно до конкретних вимог у рамках конкретної симуляції.

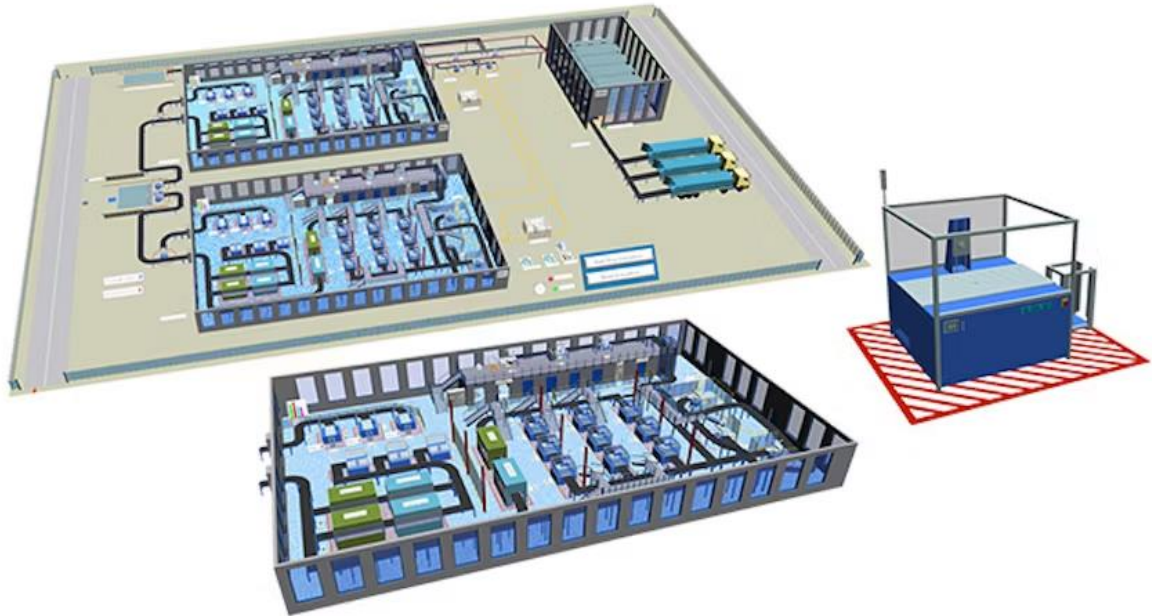


Рисунок 1.5 – Ієрархічні 3D-моделі автоматизованої виробничої системи

По-третє, програмне забезпечення «Plant Simulation» використовує відкриту системну архітектуру для підтримки кількох інтерфейсів та можливостей інтеграції, включаючи ActiveX, C, CAD, COM, JSON, MQTT, ODBC, OPCClassic, OPCUA, Oracle SQL, Socket та XML (рисунок 1.6) [18].

Завдяки цьому це програмне забезпечення легко інтегрується з іншими програмними застосунками Siemens, такими як NX Line Designer, Teamcenter, Simcenter HEEDS, Opcenter APS, TIA Portal, PLCSIM Advanced та SIMIT.

По-четверте, програмне забезпечення «Plant Simulation» оснащений багатьма вбудованими інструментами та графічними засобами відображення для оцінки продуктивності виробничої системи, включаючи автоматичне виявлення вузьких місць; аналіз пропускної здатності; використання машин, ресурсів та буферів; споживання енергії; аналіз витрат; діаграми Санкі та діаграми Ганта (рисунок 1.7) [18].

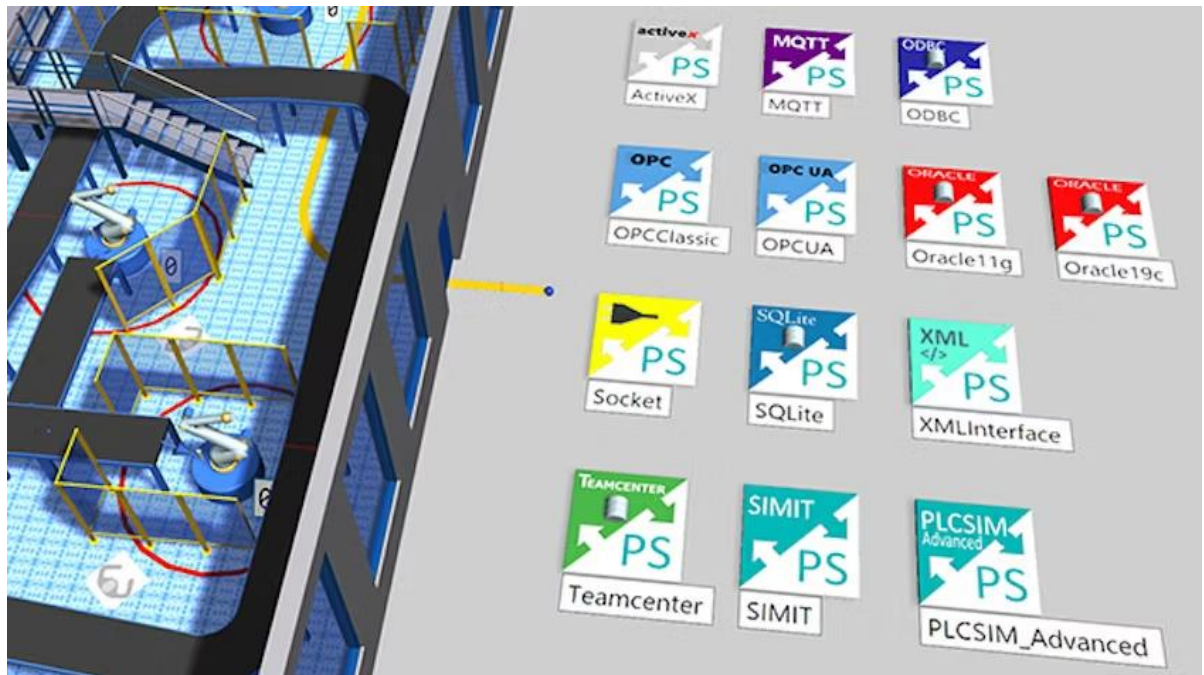


Рисунок 1.6 - Відкритість системної архітектури ПЗ «Plant Simulation»



Рисунок 1.7 - Вбудовані графічні засоби відображення результатів експериментальних досліджень

При цьому можна використовувати інструменти керування експериментами та інтегровані нейронні мережі для комплексного керування експериментами та автоматизованої оптимізації системи за допомогою генетичних алгоритмів.

Описане вище програмне забезпечення «Plant Simulation» доступне на відповідній хмарній платформі (при наявності ліцензії), а також у вигляді демо-версії, розрахованої на 30-денне використання [19].

1.3 Вибір та аналіз типу автоматизованого виробництва для навчального засобу

На факультеті ІТА (ФІТА) Вінницького національного технічного університету (ВНТУ) змонтована універсальна комп'ютеризована навчальна лабораторія [20], 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

ТР 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 ТР 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 "ТР 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 174. 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 174.

У 2020 році був запропонований спосіб організації в цій лабораторії інформаційно-освітнього середовища у формі інтегрованого «віртуального» виробництва. Цей спосіб в першу чергу передбачає логічне об'єднання усіх наявних в лабораторії моделей технологічних/технічних об'єктів/процесів у єдину імітаційну модель виробництва уявної хімічної продукції [21].

На рисунку 1.8 [21] показана загальна схема (концепція) даного автоматизованого виробничого процесу, який складається з основного і допоміжного технологічних процесів, а також обслуговуючого технічного процесу промислового складу:

- основний технологічний процес, що має три фази (фаза 1 – модель хімічного реактора, фаза 2 – модель накопичувача/дозатора, фаза 3 – модель роботизованої пакувальної лінії);

- допоміжний технологічний процес (моделі двох автоматизованих

виробничих ліній для умовного виготовлення комплектів пустої тари);

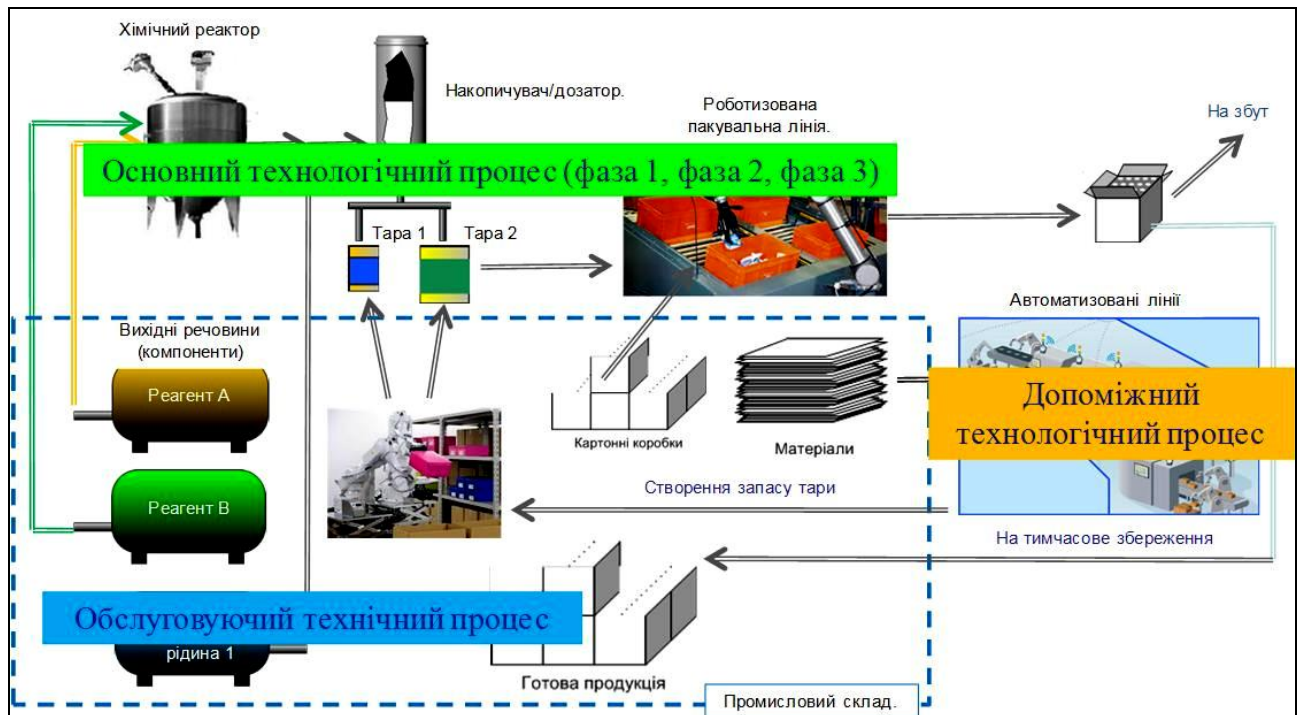


Рисунок 1.8– Складові процеси «віртуального автоматизованого виробництва»

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

На цьому лабораторному «віртуальному» автоматизованому 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 [22-24]:

- 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.

На рисунку 1.9 наведена схема матеріальних потоків «віртуального автоматизованого виробництва», які здійснюються «віртуальними» промисловими конвеєрами у вигляді світлових імітаційних моделей [25].

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 елементу у моделі конвеєра буде імітувати розміщення якогось твердого матеріального ресурсу на стрічці конвеєра.

Якщо ці світлові елементи будуть загорятися та гаснути один за одним, то це утворить наочну імітацію переміщення даного матеріального ресурсу по конвеєру. При цьому можна буде імітувати різні види матеріального ресурсу, що переміщуються конвеєром. Наприклад, якщо буде вмикатися та поступово "переміщатися" тільки один світловий елемент, то це буде імітувати поштучне переміщення таких матеріальних ресурсів як пусті та наповнені банки. Якщо ж одночасно вмикати та "переміщати" два світлових елементи, то це може імітувати переміщення конвеєром таких матеріальних ресурсів як пусті та заповнені коробки. Якщо ж одночасно вмикати та "переміщати" три світлових елементи, то

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

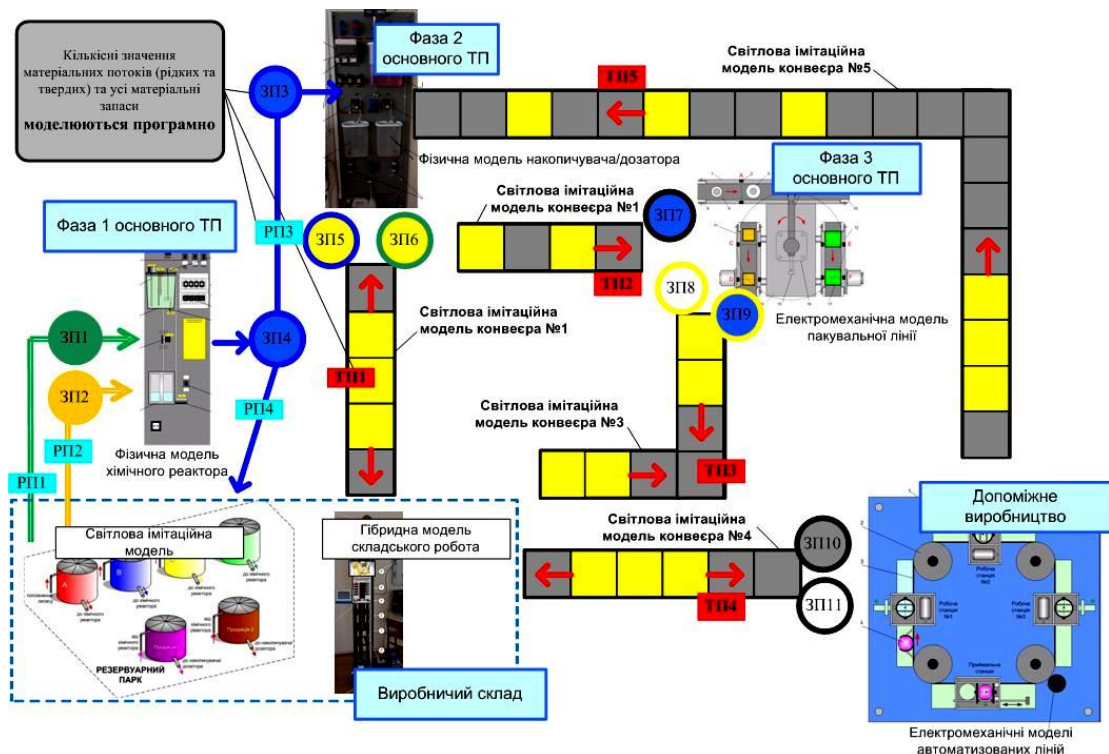


Рисунок 1.9 – Моделювання промислових конвеєрів на «віртуальному автоматизованому виробництві»

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

На рисунку 1.10 показаний план приміщення лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка», на якому означений спосіб з'єднання окремих конструкцій імітаційних моделей конвеєрів в єдине ціле [25].

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.

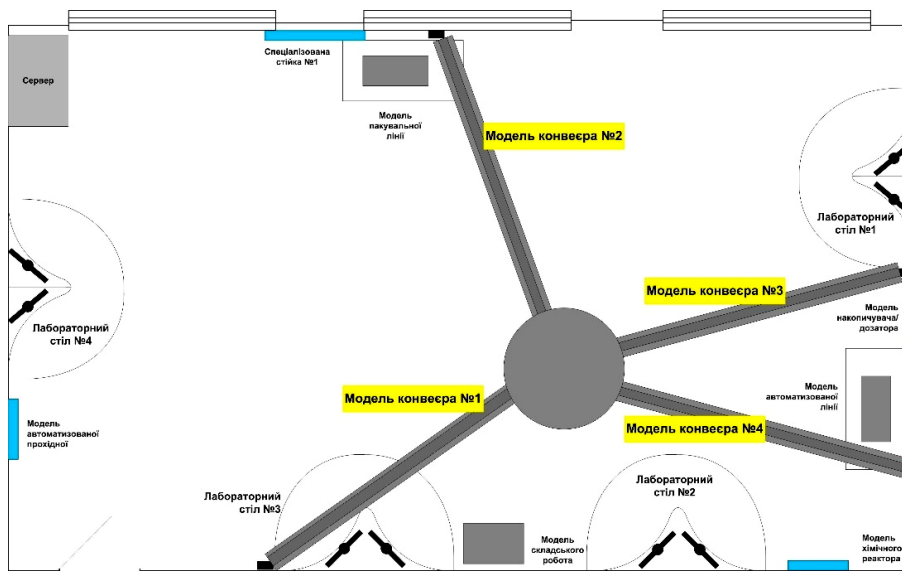


Рисунок 1.10 – Розміщення імітаційних моделей конвеєрів в приміщенні лабораторії

На рисунку 1.11 показана загальна схема матеріального забезпечення рідкими ресурсами усього «віртуального автоматизованого виробництва» хімічної продукції, яка побудована на основі промислового трубопровідного транспорту [25]. На схемі позначені усі потрібні для періодичного «віртуального виробництва» запаси рідких матеріальних ресурсів та напрями їх переміщення промисловими трубопроводами. 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);
- WH_PR1, WH_PR2 – запаси готової продукції першого та другого видів у резервуарному парку виробничого складу (для роботи фази 2 основного ТП);
- PH1_A, PH1_B, PH1_C, PH1_D – локальні запаси вихідних реагентів на виробничій ділянці фази 1 основного ТП (для виконання поточного Майстер рецепту);

PH1_PR1, PH1_PR2 – локальні запаси готової продукції першого та другого видів на виробничій ділянці фази 1 основного ТП (після вивантаження її з хімічного реактора, що виконав поточний Керівний рецепт);

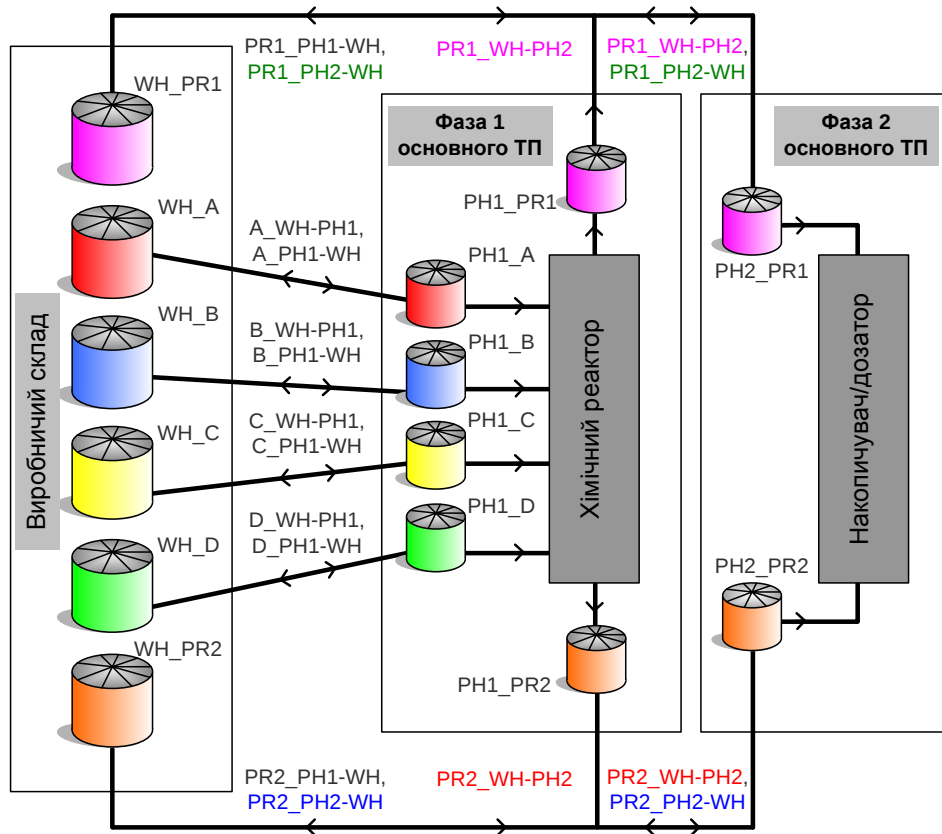


Рисунок 1.11 – Загальна схема матеріального забезпечення «віртуального автоматизованого виробництва» рідкими ресурсами

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

Для переміщення вказаних рідких матеріальних ресурсів між технологічними та технічними процесами виробництва треба організовувати такі матеріальні потоки у трубопроводах:

- 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 1.12 показаний зовнішній вигляд електричної імітаційної моделі рідких матеріальних потоків, що «перекачуються» кількома промисловими трубопроводами між складом та фазою 1 основного ТП [25].

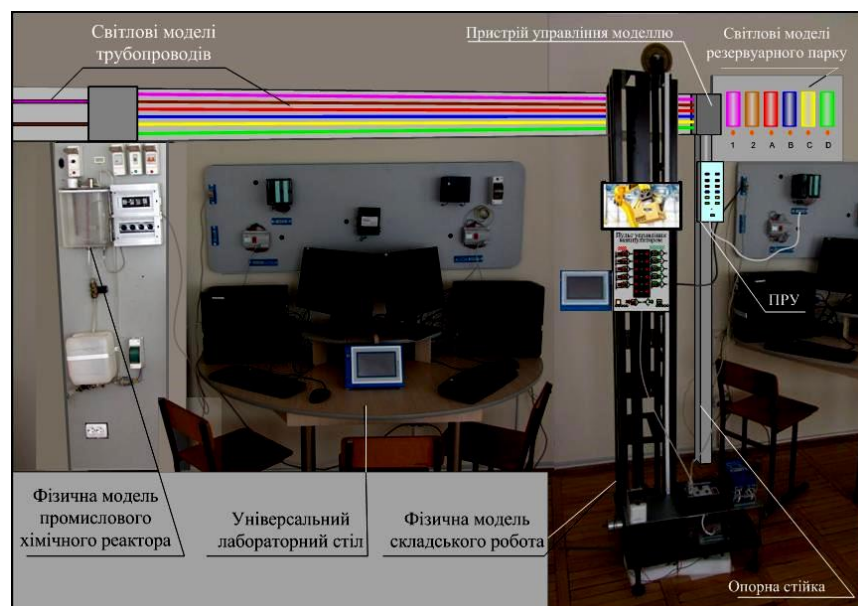


Рисунок 1.12 – Модель трубопроводів між складом і фазою 1 основного ТП

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

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

На рисунку 1.13 показаний зовнішній вигляд конструкції електричної імітаційної моделі рідких матеріальних потоків (промислових трубопроводів) між фазами 1 та 2 основного ТП.

З рисунку видно, що горизонтальна металева панель, на якій монтується світлові імітаційна модель двох трубопроводів, закріплена з двох боків так, щоб зліва опиратися на конструкцію фізичної моделі промислового накопичувача/дозатора (фаза 2), а справа – на конструкцію фізичної моделі промислового хімічного реактора (фаза 1). При цьому металева панель з'єднує обидві фізичні моделі по прямій лінії, тобто розташовується над підлогою лабораторії на висоті приблизно 2 метри. Над фізичною моделлю промислового накопичувача/дозатора закріплений металевий бокс, в якому змонтований пристрій управління світловою імітаційною моделлю двох трубопроводів. Нижче цього боксу і справа від фізичної моделі промислового накопичувача/дозатора встановлюється пульт ручного управління (ПРУ) даною світловою імітаційною

моделлю двох трубопроводів. Він кріпиться і до конструкції фізичної моделі (зліва) і до настінної панелі спеціалізованої стійки №2 (справа).



Рисунок 1.13 - Імітаційна модель рідких матеріальних потоків (трубопроводів) між фазами 1 і 2 основного ТП

1.4 Розробка архітектури нового навчального засобу для дослідження цифрової трансформації автоматизованого виробництва

Як було зазначено у вступі, метою даної магістерської кваліфікаційної роботи є створення для здобувачів вищої освіти спеціальності 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка" нового навчального засобу (НЗ) для дослідження процесу цифрової трансформації типу автоматизованого виробництва, створеного за концепцією «Індустрія 3.0», у

«розумне» цифрове виробництво за концепцією «Індустрія 4.0» шляхом цифрової реалізації їх життєвих циклів в інструментальній системі промислової автоматизації «Siemens Tecnomatix Plant Simulation».

У світовій практиці процес цифрової трансформації у промисловій області давно і активно обговорюється фахівцями та експертами [26-30]. Вже сформоване загальне бачення тих цілей, які ставлять виробники на шляху вдосконалення своїх підприємств (рисунок 1.14) [26].



Рисунок 1.14 – 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 існуючого автоматизованого виробництва (концепція «Індустрія 3.0») у «розумне» цифрове виробництво (концепція «Індустрії 4.0»), породжують для досягнення означених цілей відповідні очікування (рисунок 1.15) [26]:

- 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 1.15 – Основні очікування виробників від цифрової трансформації

Проте, на шляху впровадження нових цифрових рішень у виробництво зараз існує декілька основних завад (рисунок 1.16) [26]: 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 рисунок 1.17 [26] 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 1.16 – Основні причини гальмування цифрової трансформації

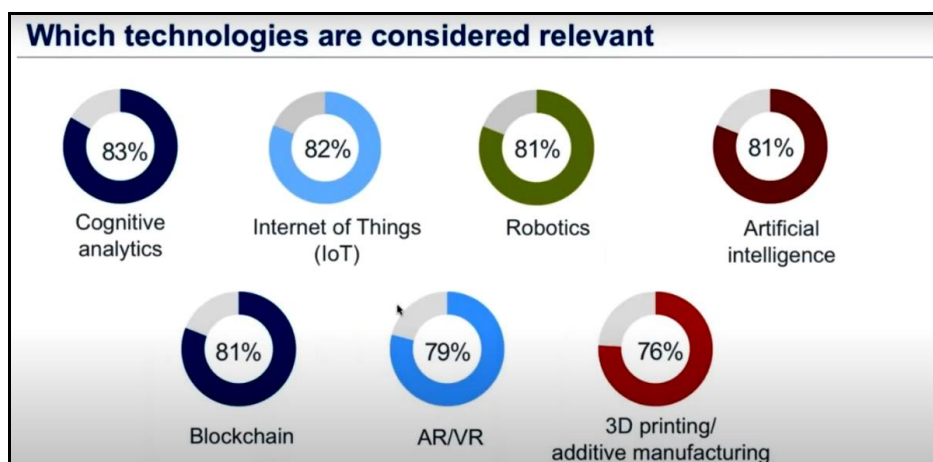


Рисунок 1.17 – Основні цифрові технології для вдосконалення виробництва

Яка ж повинна бути загальна стратегія зазначено цифрової трансформації виробництва? На рисунку 1.18 [26] показаний рекомендований шлях цифрової трансформації, який означає основні її стадії:

- виявлення існуючої на виробництві проблеми (01);
- вибір тих сучасних цифрових технологій, які здатні вирішити наявну проблему (02);
- розроблення бізнес-плану щодо потрібних інновацій, який включатиме концепцію цифрової трансформації виробництва (03);

Recommendations for manufacturers

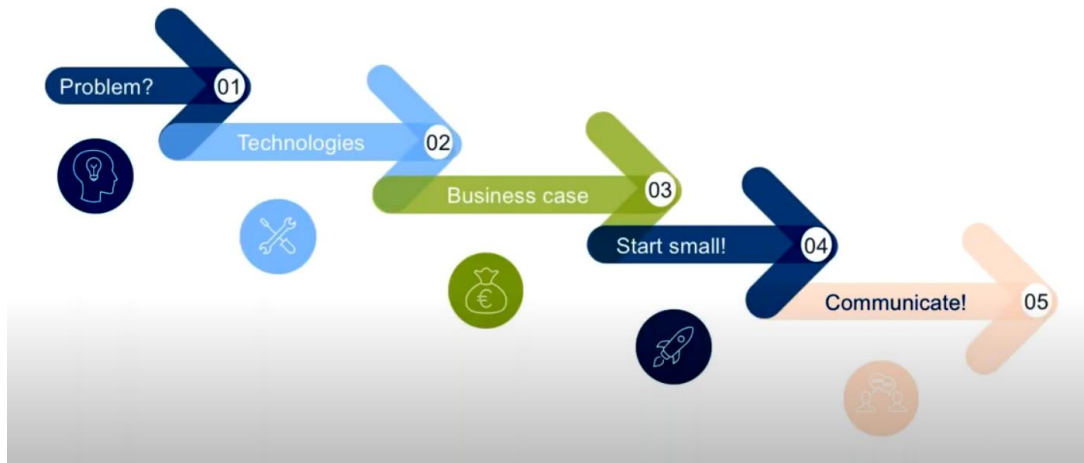


Рисунок 1.18 – Оптимальна стратегія цифрової трансформації виробництва

- виконання невеликого проєкту цифрової трансформації, його впровадження та отримання найшвидшого позитивного результату (04);
- оприлюднення для всіх працівників підприємства досягнутих позитивних результатів, що заохотить їх до виконання подальшої більш складної цифрової трансформації виробництва (05).

Саме цю стратегію і можна застосувати в якості однієї з основ розробки архітектури нового навчального засобу (НЗ) для дослідження цифрової трансформації типу автоматизованого виробництва.

В якості другої основи цієї архітектури доцільно взяти стандартний життєвий цикл типу автоматизованого виробництва, який описаний вище.

Тоді на новому навчальному засобі (НЗ) здобувачі в ході наскрізного проєктного практикуму спочатку зможуть реалізовувати цифровий життєвий цикл існуючого типу автоматизованого виробництва (концепція «Індустрія 3.0»), далі виконувати стадії «01» та «02» стратегії його цифрової трансформації, а потім реалізовувати вже цифровий життєвий цикл типу «розумного» виробництва (концепція «Індустрія 4.0»), який включатиме розробку його концепції (стадія «03» стратегії) та ескізного проєкту (стадія «04» стратегії). Відповідна схема проєктного практикуму, організованого на основі нового навчального засобу, показана на рисунку 1.19.

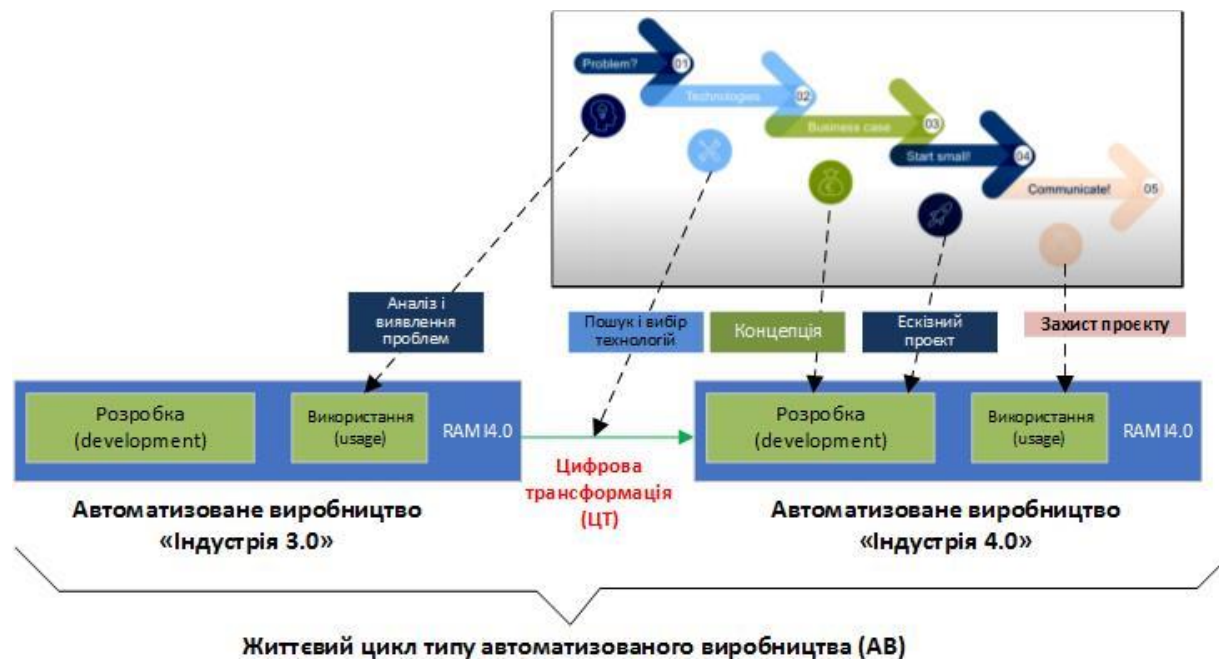


Рисунок 1.19 – Схема проєктного практикуму на основі нового НЗ

З урахуванням усіх цих концептуальних рішень і була розроблена загальна архітектура нового навчального засобу на основі «Siemens Tecnomatix Plant Simulation» для дослідження цифрової трансформації типу автоматизованого виробництва, яка наведена на рисунку 1.20.

Архітектура створюється на базі системи автоматизованого управління даними освітнього процесу та документообігу «JetIQ» ВНТУ [31]. В цій системі використовуються такі її складові частини, як «Персональний кабінет викладача», «Персональний кабінет здобувача» та «Комунікаційні сервіси JetIQ».

Викладач або здобувач через свій комп'ютер входить до відповідного персонального кабінету і створює в ньому запис – один для доступу до інформаційних хмарних сервісів компанії Google, а другий для доступу до інструментів хмарної платформи «Siemens Tecnomatix Plant Simulation».

За допомогою першого з'єднання викладач зі свого персонального кабінету, використовуючи доступні програмні інструменти пошуку інформації, постійно досліджує різноманітні Інтернет-джерела, пов'язані з предметом вивчення двох дисциплін – «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва» та «Промисловий інтернет речей» – та постійно оновлює викладацьку базу даних по прикладам цифрової трансформації автоматизованого виробництва.

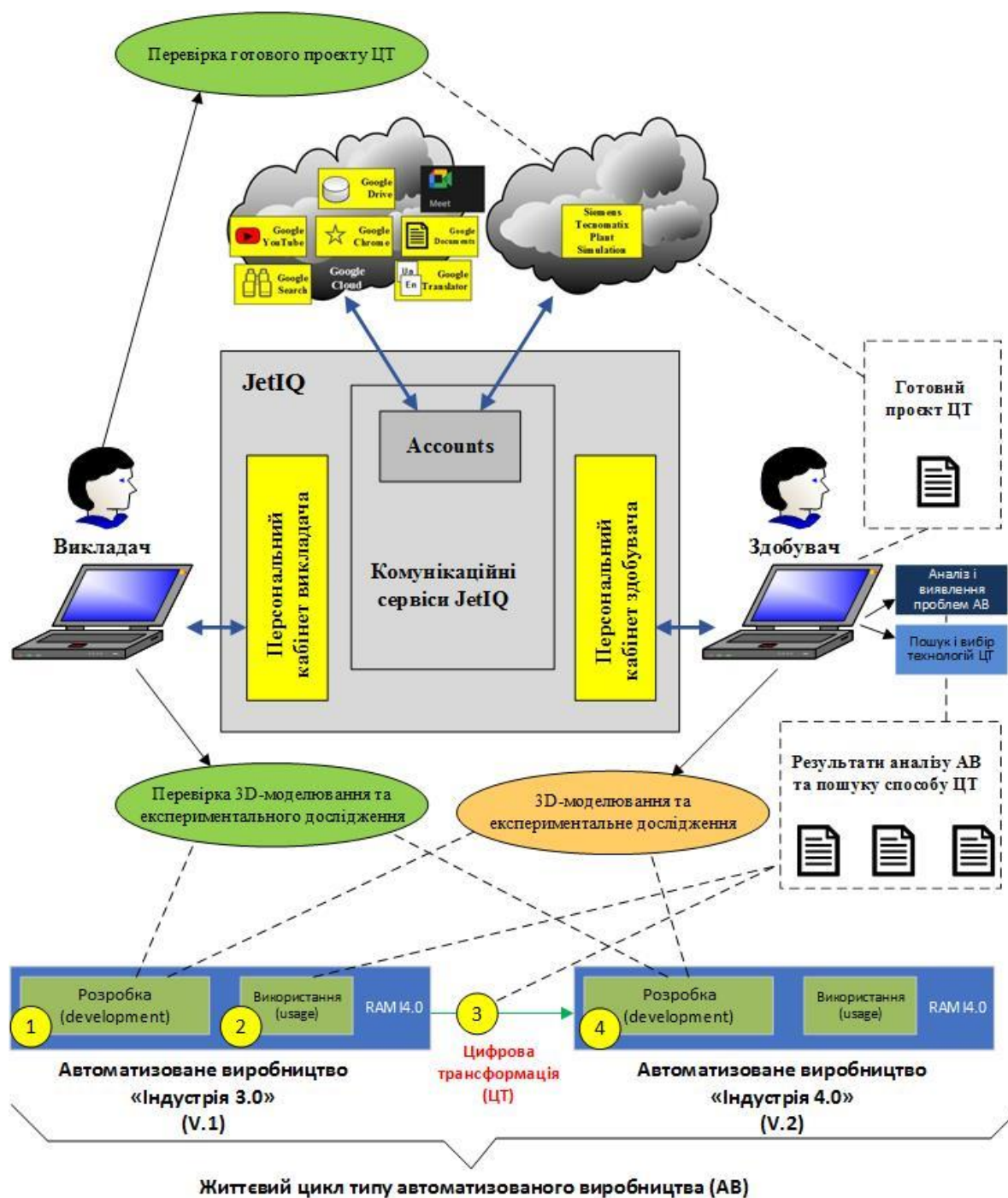


Рисунок 1.20 – Архітектура нового навчального засобу

Накопичена таким чином проєктна інформація потім детально вивчається викладачем з метою самоосвіти та підготовки навчальних матеріалів

декларативного типу по даним дисциплінам. Ця ж база даних через відповідний комунікаційний сервіс системи «JetIQ» публікується для вільного доступу здобувачів, які при необхідності зможуть використовувати її при виконанні своїх індивідуальних завдань з цифрової трансформації типу автоматизованого виробництва.

За допомогою другого з'єднання викладач зі свого персонального кабінету, використовуючи відповідні програмні інструменти, зможе переглядати та оцінювати ті проєкти цифрової трансформації (функції «Перевірка 3D-моделювання та експериментального дослідження» та «Перевірка готового проєкту ЦТ»), які здобувачі розроблятимуть на хмарній платформі «Siemens Tecnomatix Plant Simulation» в рамках наскрізного проєктного практикуму. Результати такого оцінювання викладач зможе за допомогою програмного модуля «Комунікаційні сервіси JetIQ» або публікувати у відкритому доступі для всіх здобувачів, що виконують проєктний практикум, або надсилати на індивідуальні адреси окремих здобувачів. Також для викладача існує можливість демонструвати роботу тих чи інших моделей, створених здобувачами на хмарній платформі, в режимі он-лайн за допомогою сервісу «Google Meet» і надавати при цьому свої коментарі.

Здобувач, у свою чергу, за допомогою першого з'єднання зі свого персонального кабінету, використовуючи наявні програмні інструменти хмарної платформи «Google Cloud», зможе досліджувати різноманітні Інтернет-джерела, пов'язані з предметом вивчення тієї чи іншої дисципліни (або «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва», або «Промисловий інтернет речей»), та зберігати результати цього дослідження, наприклад, у вигляді графічної онтологічної моделі предметної області. Крім того, за допомогою програмного модуля «Комунікаційні сервіси JetIQ» здобувач зможе або публікувати ці результати у відкритому доступі, або надсилати на індивідуальну адресу викладача для перевірки та доповнення.

За допомогою другого з'єднання здобувач зі свого персонального кабінету, використовуючи відповідні програмні інструменти, зможе послідовно розробляти на хмарній платформі «Siemens Tecnomatix Plant Simulation» проєкти цифрової

трансформації за індивідуальним завданням в рамках наскрізного проєктного практикуму (функція «3D-моделювання та експериментальне дослідження»). Результати цього проєктування здобувач зберігає на хмарній платформі для перегляду та оцінювання їх викладачем (дані «Готовий проєкт ЦТ»). Текстові описи проєктних рішень (дані «Результати аналізу АВ та пошуку способу ЦТ») здобувач може за допомогою програмного модуля «Комунікаційні сервіси JetIQ» або публікувати у відкритому доступі для всіх здобувачів, що виконують проєктний практикум, або надсилати на індивідуальну адресу викладача для перевірки та оцінювання. Також для здобувача існує можливість демонструвати викладачу роботу тих чи інших своїх моделей, розроблених на хмарній платформі «Siemens Tecnomatix Plant Simulation», в режимі он-лайн за допомогою сервісу «Google Meet» і надавати при цьому свої коментарі чи просити у викладача консультацій щодо виконання окремих проєктних завдань.

Усі описані вище діяльності викладача і здобувача виконуються послідовно у часі, формуючі при цьому два життєвих цикли – «Життєвий цикл типу автоматизованого виробництва «Індустрія 3.0» і «Життєвий цикл типу автоматизованого виробництва «Індустрія 4.0». Ці типи виробництва можна вважати двома версіями («v.1» та «v.2») одного типу автоматизованого виробництва, тобто розглядати їх як послідовні стадії єдиного життєвого циклу, які позначені на рисунку 1.20 цифрами «1» - «2» - «3» - «4». При цьому перехід від першої версії («v.1» (стадії «1» та «2»)) до другої версії «v.2» (стадія «4»)) виконується у вигляді процесу цифрової трансформації даного типу автоматизованого виробництва (стадія «3»), що саме і має досліджувати здобувач за допомогою нового навчального засобу.

1.5 Висновки до розділу

В результаті виконання даного розділу роботи було проведене дослідження референтної архітектурної моделі «розумного підприємства» RAMI4.0 та існуючого інструменту відображення й обробки цифрового життєвого

циклу автоматизованого виробництва. Для подальшого обґрунтування загальної архітектури нового навчального засобу для дослідження цифрової трансформації типу автоматизованого виробництва був виконаний вибір та аналіз типу такого автоматизованого виробництва, яке реалізоване у вигляді «віртуального» лабораторного виробництва хімічної продукції. Розроблена загальна архітектура нового навчального засобу, яка відображає як його складові частини, так і основні стадії виконання здобувачами наскрізного проєктного практикуму з цифрової трансформації типу автоматизованого виробництва.

На основі запропонованого архітектурного бачення нового навчального засобу було розроблене технічне завдання на виконання магістерської кваліфікаційної роботи, яке наведене у додатку Б.

2 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «РОЗРОБКА ТИПУ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА ІЗ.0»

2.1 Аналіз програмних інструментів моделювання виробничих об'єктів

Як було зазначено у попередньому розділі, в якості об'єкту дослідження на новому навчальному засобі вибраний тип автоматизованого виробництва, яке реалізоване на факультеті ІТА (ФІТА) Вінницького національного технічного університету (ВНТУ) у формі «віртуального» виробництва хімічної продукції. Це «віртуальне» виробництво утворене шляхом логічного об'єднання усіх наявних в навчальній лабораторії програмно-технічних моделей технологічних/технічних процесів (ТП) у єдину імітаційну модель промислового виробництва [21]. По-суті, це «віртуальне» виробництво можна вважати екземпляром типу автоматизованого виробництва, яке складається з таких автоматизованих процесів:

- основний технологічний процес, що має три фази (фаза 1 – ТП хімічного реактора, фаза 2 – ТП накопичувача/дозатора, фаза 3 – ТП роботизованої пакувальної лінії);
- допоміжний технологічний процес (два ТП автоматизованих виробничих ліній з виготовлення комплектів пустої тари, тобто, металевих банок та кришок до них);
- обслуговуючі технічні процеси (ТП промислового автоматизованого складу для збереження усіх рідких та твердих матеріальних ресурсів, напівфабрикатів та продукції виробництва; ТП конвеєрного транспортування твердих матеріальних ресурсів, напівфабрикатів, готової розфасованої продукції; ТП трубопровідного транспортування рідких матеріальних ресурсів та готової продукції).

Тому, згідно з розробленою вище загальною архітектурою, при виконанні першої стадії дослідження цифрової трансформації новий навчальний засіб повинен надавати викладачу/здобувачу можливість розробки проєкту цього типу

автоматизованого виробництва в інструментальному середовищі хмарної платформи «Siemens Tecnomatix Plant Simulation» у вигляді реалістичної тривимірної цифрової моделі.

Вище вже були розглянуті деякі загальні функціональні можливості даного інструментального середовища, але без прив'язки до конкретних виробничих процесів та об'єктів. Дослідимо тепер більш детально ці функціональні можливості щодо моделювання перерахованих вище технологічних/технічних процесів «віртуального» виробництва хімічної продукції.

«Siemens Tecnomatix Plant Simulation» — є комп'ютерним додатком, який розроблений компанією Siemens PLM Software для моделювання, аналізу, візуалізації і оптимізації виробничих систем та процесів, обігу матеріалів і логістичних операцій [7]. «Siemens Tecnomatix Plant Simulation» являє собою візуальне об'єктно-орієнтоване середовище для побудови імітаційних моделей широкого класу систем. Моделі будуються з наявної бібліотеки стандартних об'єктів, в якій є кілька основних розділів:

- «Material Flow» — виробничі об'єкти, призначені для обробки рухомих твердих матеріальних ресурсів, наприклад, «Source» (джерело деталей), «SingleProc» (одинична технологічна операція), «Buffer» (накопичувач), «Line» (конвеєр);

- «Movable Units» — рухомі виробничі об'єкти, наприклад, «Entity» (деталь), «Container» (контейнер), «Transporter» (самохідний транспорт);

- «Fluids» — виробничі об'єкти, пов'язані з рідкими матеріальними ресурсами, наприклад, трубопроводи і потоки рідин;

- «Information Flow» — об'єкти для інформаційного забезпечення моделі (змінні, таблиці, генератори подій, інтерфейси обміну даними, методи для обробки подій);

- «User Interface» — об'єкти для представлення даних користувачу (графіки, діаграми).

Наприклад, для моделювання процесів обробки деталей на автоматизованих лініях можна застосувати бібліотечні об'єкти з розділу «Material

Flow». Приклад такої моделі показаний на рис. 2.1 [32].

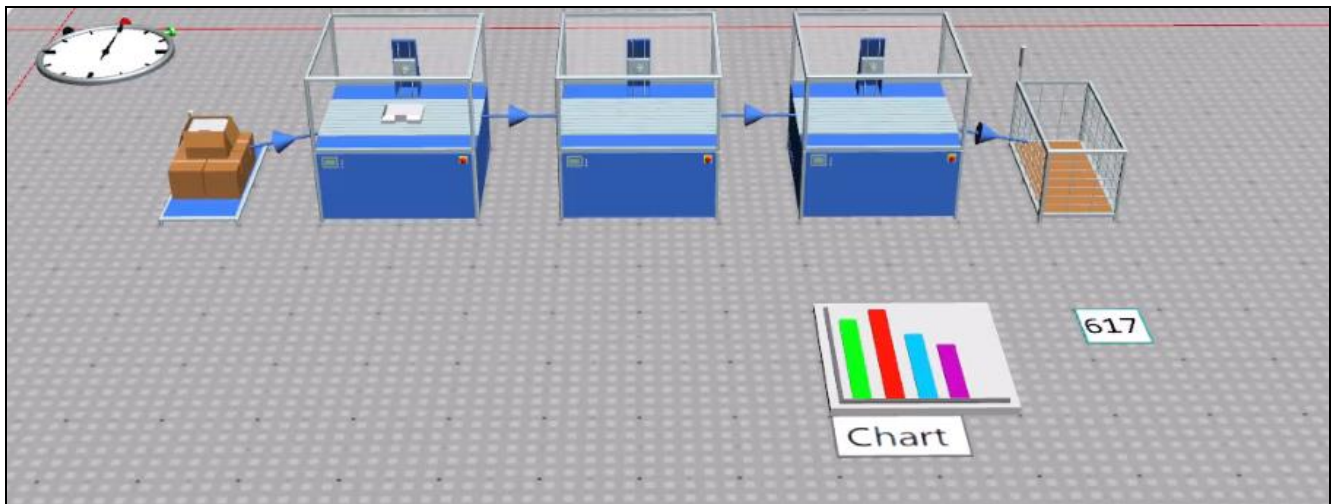


Рис. 2.1 – Моделювання автоматизованої лінії

Для розробки цієї моделі були використані такі бібліотечні виробничі об'єкти: один «Source» (джерело деталей), три «SingleProc» (технологічна станція) та один «Buffer» (накопичувач). В моделі задається напрямок руху деталей в процес їх оброблення.

Властивості кожного виробничого об'єкту визначаються через спеціальні панелі налаштувань. Реалістичність симуляції можна налагоджувати, наприклад, встановлювати відсоток працездатності окремих технологічних станцій, тобто, визначати їх надійність і передбачати можливість виходу з ладу, а значить і обов'язковий ремонт. Наприклад, на рисунку 2.2 [32] показано, що доступність однієї з технологічних станцій складає 90%, а середня тривалість її ремонту – 5 с.

З цими налаштуваннями симуляція виробничої лінії стає більш реалістичною, зокрема, статистика показує, що моделювання станцій включає їх робочий режим, вихід з ладу, блокування та очікування (рисунок 2.3, [32]). Блокування станції відбувається тоді, коли наступна станція вийшла з ладу, а тому не можна передавати туди вже готову деталь. Очікування спостерігається тоді, коли попередня станція вийшла з ладу і тому з неї не поступає готова деталь для подальшого оброблення. Із-за простою обладнання загальна кількість готових

деталей за час симуляції також зменшується.

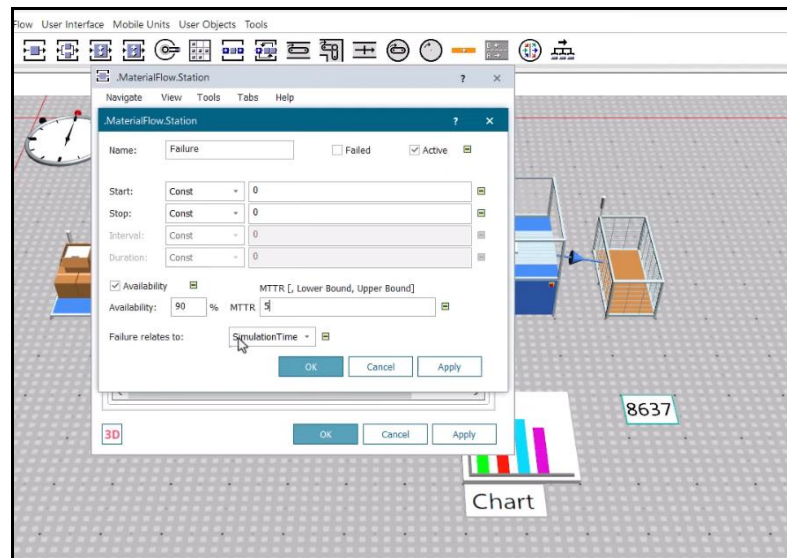


Рисунок 2.2 – Налаштування часових параметрів роботи технологічної станції



Рисунок 2.3 – Діаграма статистики роботи виробничої лінії

Щоб вирішити такі проблеми на реальному виробництві зазвичай застосовують буферні зони між технологічними станціями. Для їх моделювання

можна використати ще два додаткові бібліотечні виробничі об'єкти «Buffer» (рисунок 2.4, [32]).

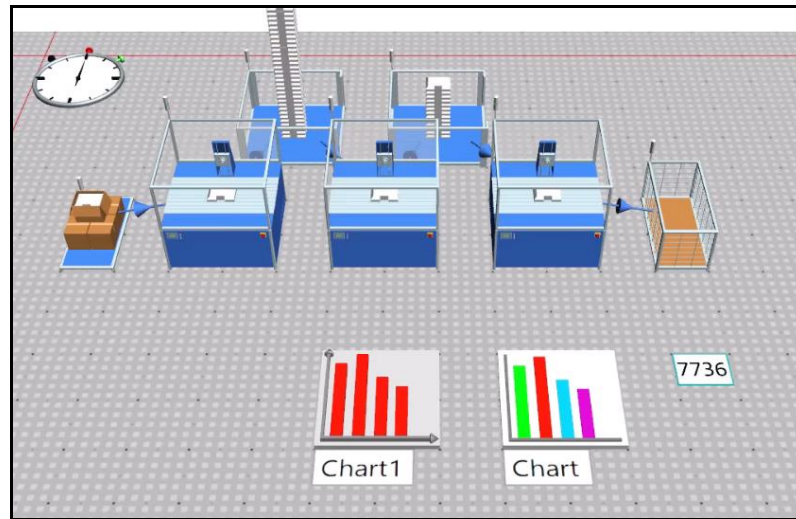


Рисунок 2.4 – Моделювання виробничої лінії з буферними зонами

В результаті програмної симуляції такої вдосконаленої виробничої лінії загальна продуктивність зростає. При цьому продуктивність лінії залежить від допустимого об'єму буферних зон, яку можна налаштувати через спеціальну панель (рисунок 2.5, [32]).

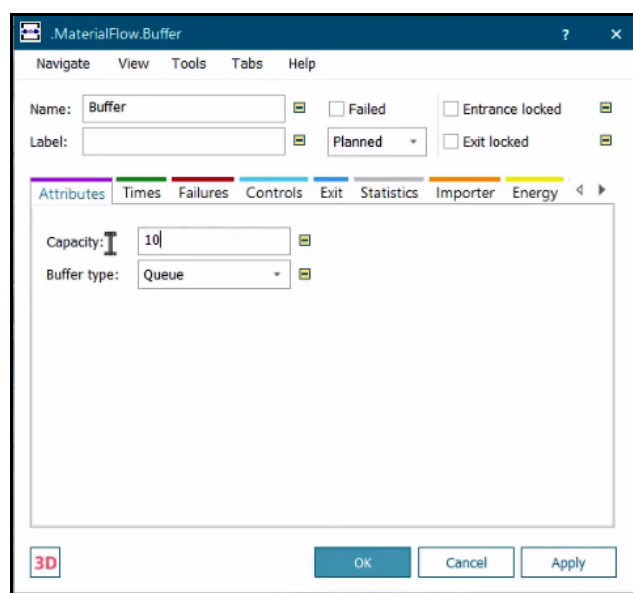


Рисунок 2.5 – Панель налаштування параметрів буферної зони

При правильному налаштуванні заповнення буферних зон в процесі роботи виробничої лінії не виходить за встановлені границі (рисунок 2.6, [32]).

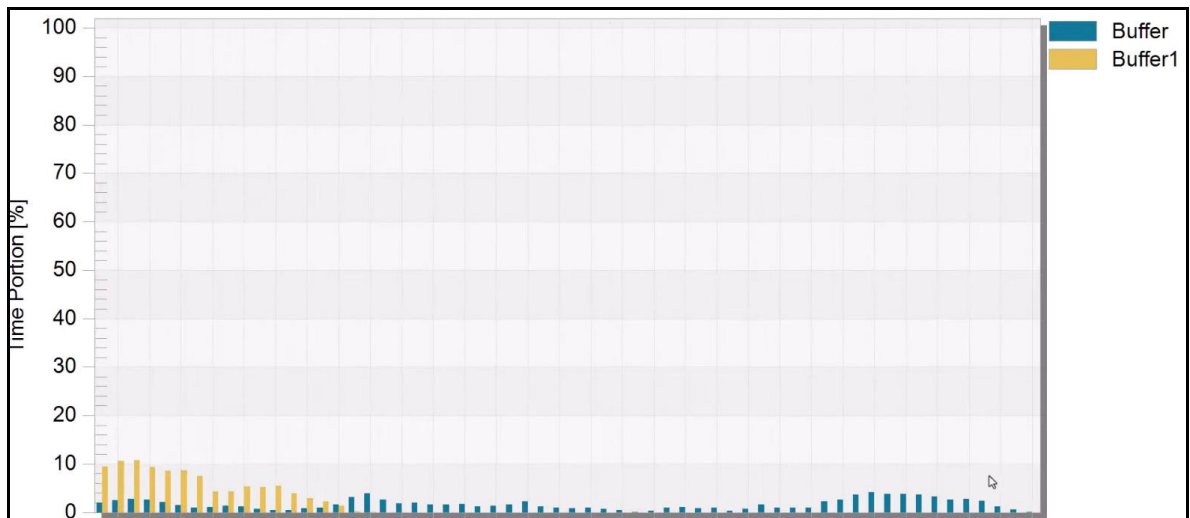


Рисунок 2.6 – Часова діаграма ступеню заповнення буферних зон

А час блокування та очікування окремих технологічних станцій суттєво зменшується (рисунок 2.7, [32]).



Рисунок 2.7 – Діаграма роботи вдосконаленої виробничої лінії

«Siemens Tecnomatix Plant Simulation» дає можливість якісно моделювати автоматизовані виробничі лінії, що містять промислові роботи (рисунок 2.8, [33]).

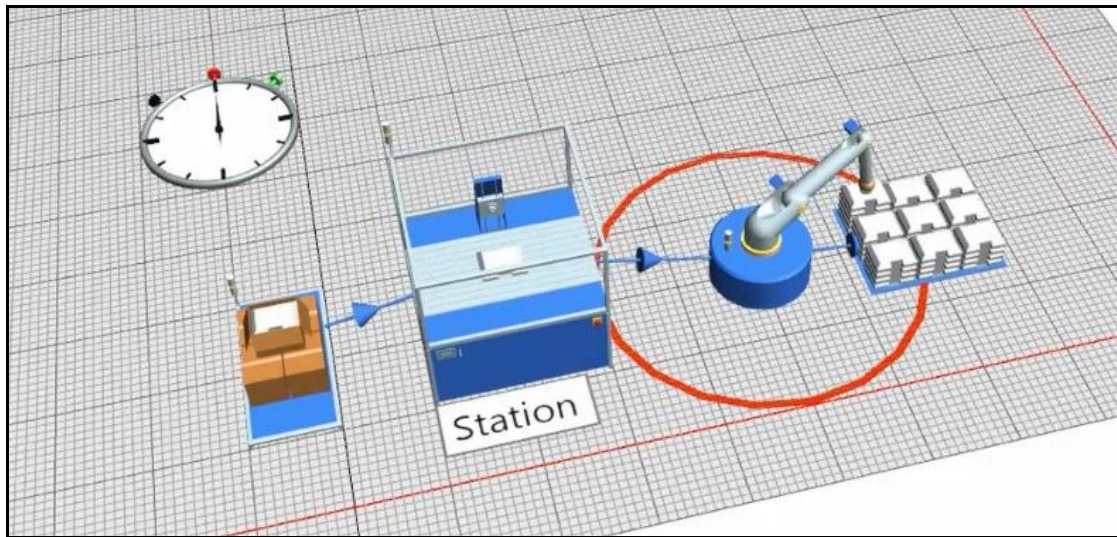
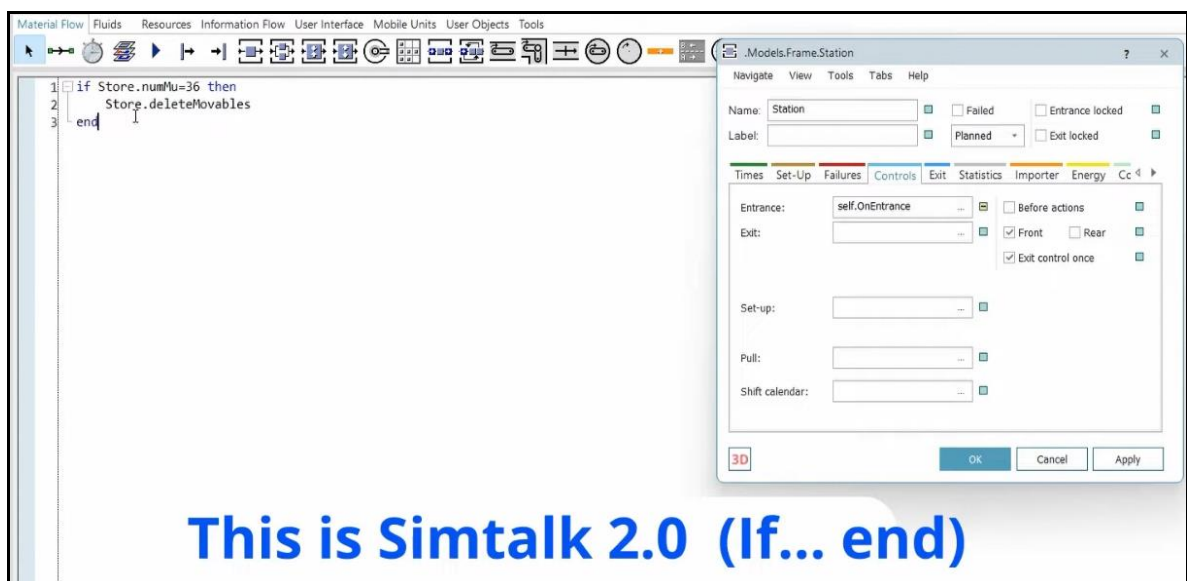


Рисунок 2.8 – Моделювання виробничої лінії з промисловим роботом

На цьому рисунку показаний приклад моделювання автоматизованої виробничої лінії, готові деталі з якої знімає промисловий робот, а потім складає їх на піддон. Програмування логіки дій промислового робота виконується на вбудованій мові «Simtalk» (рисунок 2.9, [33]).



This is Simtalk 2.0 (If... end)

Рисунок 2.9 – Програмування дій промислового робота

«Siemens Tecnomatix Plant Simulation» дозволяє ефективно моделювати різноманітний виробничий транспорт. Для цього застосовуються об'єкти з бібліотечного розділу «Movable Units», а саме, «Transporter». На рисунку 2.10 показаний приклад моделювання автокара, що переміщує тверді матеріальні ресурси [8].

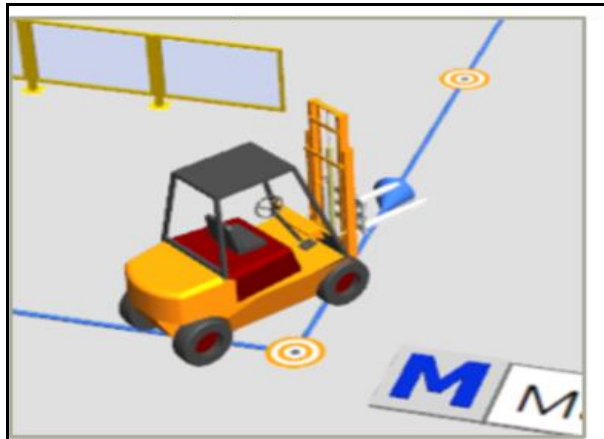


Рисунок 2.10 – Приклад моделювання виробничого транспорту

Використання бібліотечних об'єктів розділу «Fluids» дозволяє моделювати трубопровідні транспортні системи будь-якої складності (рисунок 2.11, [34]).

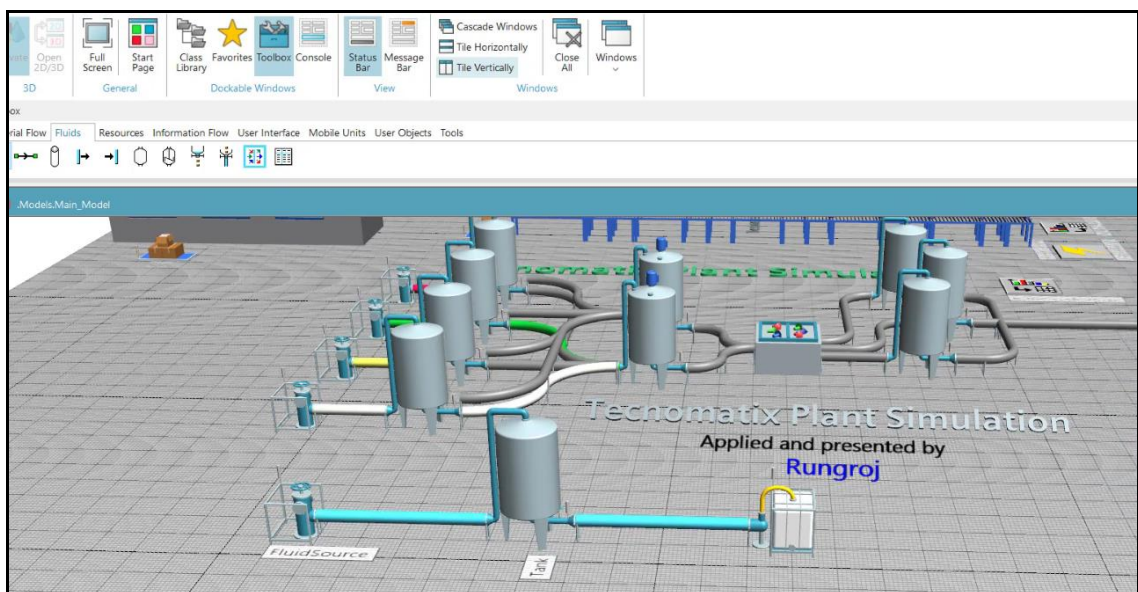


Рисунок 2.11 – Приклад моделювання розгалуженої трубопровідної системи

Крім того, у версії 2302 «Siemens Tecnomatix Plant Simulation» функцію перенесення деталей операторами було розширено на додаткові об'єкти [8]. Тепер можна використовувати цю функціональність разом із джерелами, приймачами деталей та конвеєрними стрічками. Нова стратегія запиту послуги перенесення деталей, «очікування вільного місця», запобігає виклику працівника для перенесення деталі на станцію, яка все ще зайнята (рисунком 2.12, [8]).



Рисунок 2.12 – Моделювання дій працівника (оператора) по перенесенню деталей

При цьому автоматичний розподіл працівників (операторів) на виробничі завдання базується на пріоритетах. Тепер можна визначати окремі пріоритети для кожної послуги, яку надає працівник (оператор). Так само можна визначити різні налаштування ефективності для послуг кожного окремого працівника (оператора). Це вдосконалення відображає особисті рівні навчання та забезпечує майже готову функціональність для кривих навчання, що важливо в сценаріях складного складання виробів (рисунком 2.13, [8]).

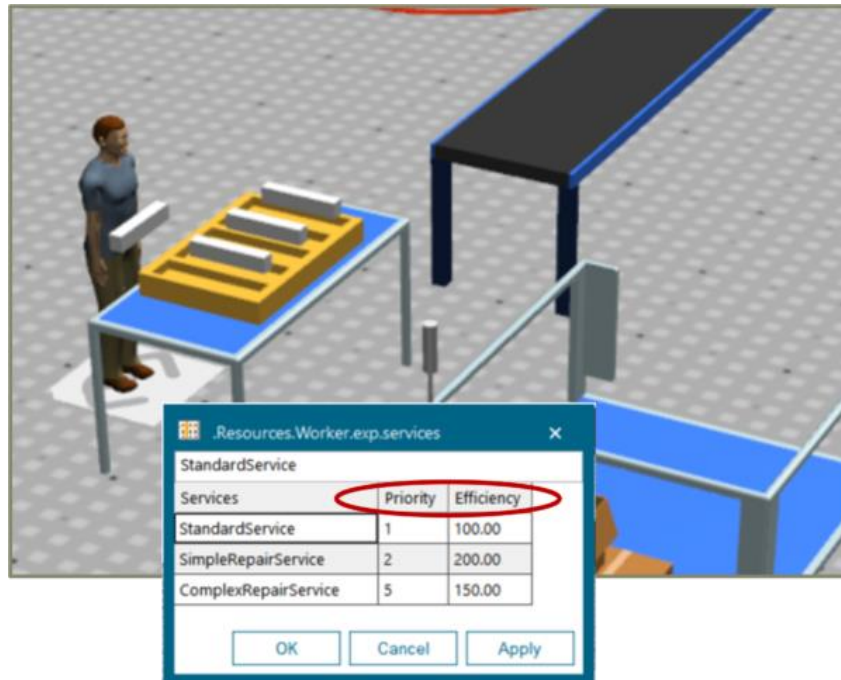


Рисунок 2.13 – Панель налаштування пріоритетів роботи працівника

Також у новій версії 2303 крім стандартних виробничих об'єктів стали доступні додаткові бібліотеки, які реалізують спеціальні виробничі об'єкти – крани, автоматизовані склади (рисунок 2.14, [8]).



Рисунок 2.14 – Приклад моделювання автоматизованого виробничого складу

Також в новій версії «Siemens Tecnomatix Plant Simulation» з'явилися нові інструменти моделювання - нейронні мережі та генератор варіантів.

Всі описані вище виробничі об'єкти мають набір параметрів (наприклад, час операції) і поведінку. Можна будувати більш складні структури, об'єднуючи базові бібліотечні об'єкти і додаючи підпрограми (методи) обробки подій на мові «SimTalk». Таким чином можна створювати призначені для користувача бібліотеки об'єктів та ієрархічні моделі автоматизованого виробництва.

При моделюванні рухомі об'єкти («Movable Units») переміщуються по створеній структурі виробничого приміщення, генеруючи події в моменти часу, що визначаються параметрами об'єктів. Зокрема, при вході на об'єкт і при виході з нього. На рисунку 2.15 показане налаштування способу генерування події у момент, коли деталь, що рухається конвеєром, досягає кінцевого датчика [35].

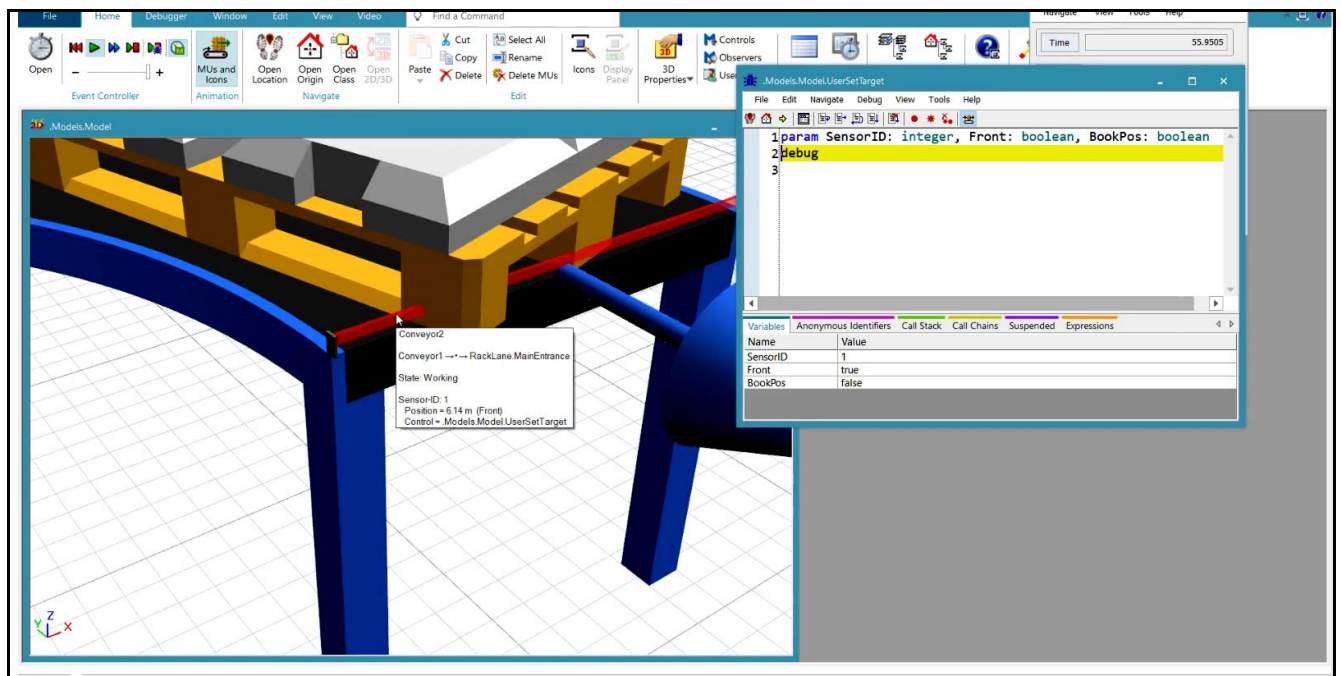


Рисунок 2.15 – Налаштування моменту спрацювання кінцевого датчика

Нещодавно з'явилась найновіша версія «Plant Simulation X». Це рішення типу «програмне забезпечення як послуга» (SaaS) з широкими можливостями цифрового виробництва, яке використовується для моделювання, дослідження, аналізу та оптимізації виробництва «Індустрія 4.0» та його логістики на всіх рівнях планування [18, 19].

2.2 Розробка моделі діяльностей

Згідно з вимогами ТЗ на виконання магістерської кваліфікаційної роботи, що розроблене у попередньому розділі, перша стадія дослідження здобувачем цифрової трансформації типу автоматизованого виробництва (АВ), що на даний час існує тільки у вигляді лабораторної моделі «віртуального» виробництва, тобто у вигляді екземпляру цього типу, має складатися з двох таких етапів:

- формування у студента вихідного уявлення про сам тип АВ, який в цілому організований так само як лабораторний екземпляр, але спроектований вже для реального виробничого підприємства (реальний АВ);
- додаткове комп'ютерне моделювання статичної та динамічної такого типу реального АВ.

В результаті виконання цих етапів у здобувача повинно сформуватися повне уявлення про будову та принцип дії реального АВ, який, як було зазначено вище, являє собою відображення екземпляру лабораторного «віртуального» АВ у його практичну реалізацію на реальному промисловому підприємстві. При цьому перший етап здобувач повинен виконувати шляхом самостійного дослідження предметної області реального АВ, яка представлена у вигляді комплексу його вихідних комп'ютерних моделей, а викладач при цьому має надавати здобувачу усі необхідні пояснення та консультації в ході цього дослідження. Другий етап виконується як здобувачем, так і викладачем, а саме, здобувачем в ході вивчення відповідної професійної дисципліни та проходження наскрізного проектного практикуму, а викладачем – при підготовці навчально-методичних матеріалів професійної дисципліни та проектного практикуму.

Проте, крім згаданих моделей «віртуального» і реального АВ, в основу архітектури нового НЗ покладена також і лабораторна програмно-технічна модель інтегрованої автоматизованої системи управління (ІАСУ) як усім лабораторним «віртуальним» виробництвом, так і окремими лабораторними технологічними/технічними процесами (ТП). Ця лабораторна ІАСУ разом з різноманітними лабораторними моделями ТП і утворює загальну модель лабораторного АВ, яка означає його будову і принцип дії в рамках комп'ютерно-

інтегрованого «віртуального» виробництва, реалізованого на практиці у навчальній лабораторії ФІТА (фізична область лабораторії).

Таким чином, аналізуючи вищесказане, можна зробити такі висновки:

– в процесі виконання першої стадії дослідження цифрової трансформації типу автоматизованого виробництва активною повинна бути не тільки роль «здобувач», але і роль «викладач», що веде професійну дисципліну або проєктний практикум;

– обидві активні ролі, тобто «здобувач» та «викладач», по ходу виконання даної стадії дослідження повинні поступово розробляти дві пов'язані між собою комп'ютерні моделі, а саме, модель існуючого лабораторного екземпляру АВ та модель типу реального АВ, який відповідає цьому екземпляру.

Опишемо тепер у вигляді моделі діяльностей загальне бачення процесу виконання на новому НЗ стадії «Розробка типу автоматизованого виробництва ІЗ.0». Ця модель діяльностей має показувати взаємний зв'язок усіх робіт з моделювання, що виконують ролі «викладач» та «здобувач», а також способи використання ними готових моделей (рисунок 2.16 та додаток В).

Діяльності, показані на рисунку у вигляді діяльності прямокутників, виконуються акторами «викладач» і «здобувач» у двох областях нового НЗ – у фізичній області лабораторної ІАСУ «віртуальним» виробництвом хімічної продукції (навчальна лабораторія «Промислова мікропроцесорна техніка» ФІТА) та у віртуальній області комп'ютерного моделювання (інструментальне програмне забезпечення персональних комп'ютерів «викладача»/«здобувача» та хмарної платформи «Siemens Tecnomatix Plant Simulation»). Результати цих діяльностей показані у вигляді прямокутників з заокругленими кутами. У цій моделі актор «викладач» є ініціатором початку виконання всієї послідовності діяльностей даної стадії дослідження цифрової трансформації типу автоматизованого виробництва.

На самому початку актор «викладач» аналізує комп'ютерно-інтегроване «віртуальне» виробництво, яке існує в лабораторії у вигляді екземпляру програмно-технічної моделі ІАСУ як виробництвом в цілому (лабораторне АВ), так і моделями лабораторних ТП (лабораторні автоматизовані ТП, АТП).

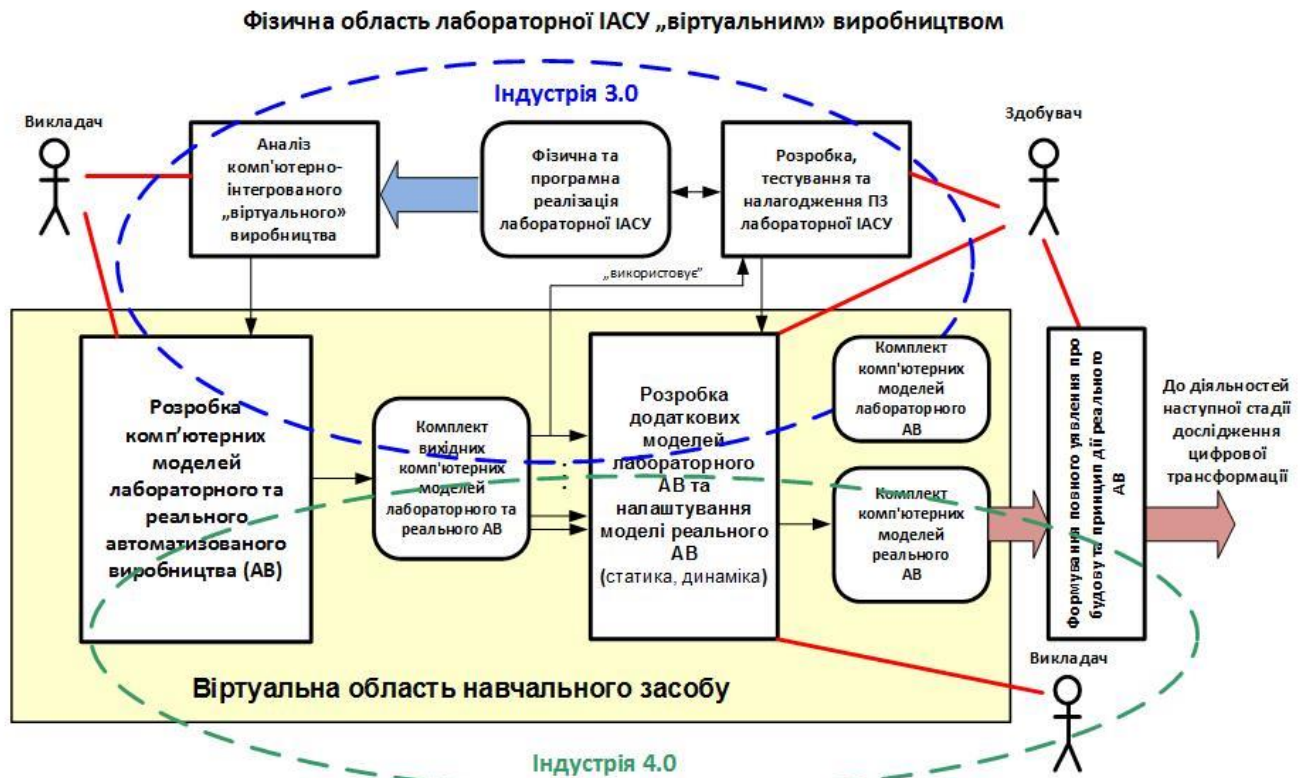


Рисунок 2.16 – Модель діяльностей на стадії «Розробка типу автоматизованого виробництва І3.0»

При цьому модель комп'ютерно-інтегрованого виробництва складається з фізичної та програмної частин. Фізична частина містить як фізично реалізовані моделі ТП, так і зразки промислових засобів автоматизації. Програмна ж частина містить програмні моделі деяких складових ТП (наприклад уявне транспортування рідин трубопроводами) та деякого технічного устаткування ТП (наприклад моделі насосів для перекачування різних рідин), а також прикладні програми автоматизованого управління кожним лабораторним ТП та виробничим процесом в цілому.

На основі проведеного аналізу актор «викладач» за допомогою доступних програмних інструментів розробляє вихідний комплект моделей, що описують як устрій лабораторного АВ, так і принцип дії лабораторних АТП в рамках цього «віртуального» АВ. Після цього цей комплект моделей, оформлених у вигляді електронних навчально-методичних матеріалів, використовує актор «здобувач», який на практичному курсі відповідної професійної дисципліни вивчає

лабораторну ІАСУ «віртуальним» виробництвом, розробляючи та тестуючи її програмне забезпечення (ПЗ). Для магістерського рівня підготовки такою дисципліною може бути обов'язкова дисципліна «Стандарти та проєктування комп'ютерно-інтегрованих систем управління».

Актор «викладач» може аналізувати результати практичної роботи, виконаної актором «здобувач», після чого вносити потрібні корективи у вихідний комплект моделей існуючого лабораторного комп'ютерно-інтегрованого АВ.

Таким чином, усі описані вище діяльності стосуються тільки практичного вивчення здобувачем існуючого екземпляру лабораторної ІАСУ «віртуальним» виробництвом, яка побудована за концепцією «Індустрія 3.0» (на рисунку 2.16 ці діяльності окреслені зверху синім пунктирним еліпсом). Проте новий НЗ призначений для дослідження здобувачем процесу цифрової трансформації, тобто переходу від АВ за концепцією «Індустрія 3.0» (І3.0) до АВ за концепцією «Індустрія 4.0» (І4.0). Чому ж тоді здобувач повинен так детально вивчати на новому НЗ лабораторну ІАСУ І3.0? А тому, що ця ІАСУ І3.0 реалізує той же самий стандартний підхід до управління періодичним «віртуальним» виробництвом [5], який рекомендований моделлю RAMI 4.0 для ІАСУ І4.0 [1]. Таким чином, вивчаючи на практиці лабораторну ІАСУ І3.0, актор «здобувач» освоює і принцип дії ІАСУ І4.0 «розумного» періодичного виробництва, у яке він потім буде трансформувати поточну версію даного типу АВ. Крім того, актор «здобувач» 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 існуючої версії типу АВ.

Для того, щоб актор «здобувач» зміг виконувати діяльності, пов'язані з цифровою трансформацією існуючої версії типу АВ, треба спочатку надати йому вихідну комп'ютерну модель цього типу реального АВ та її текстовий опис.

Розробку такої вихідної моделі виконує актор «викладач», який на основі свого бачення, знань та досвіду може здійснити фахову уявну трансформацію лабораторного екземпляру АВ у тип реального АВ, призначеного для реалізації на промисловому підприємстві (рисунок 2.17).

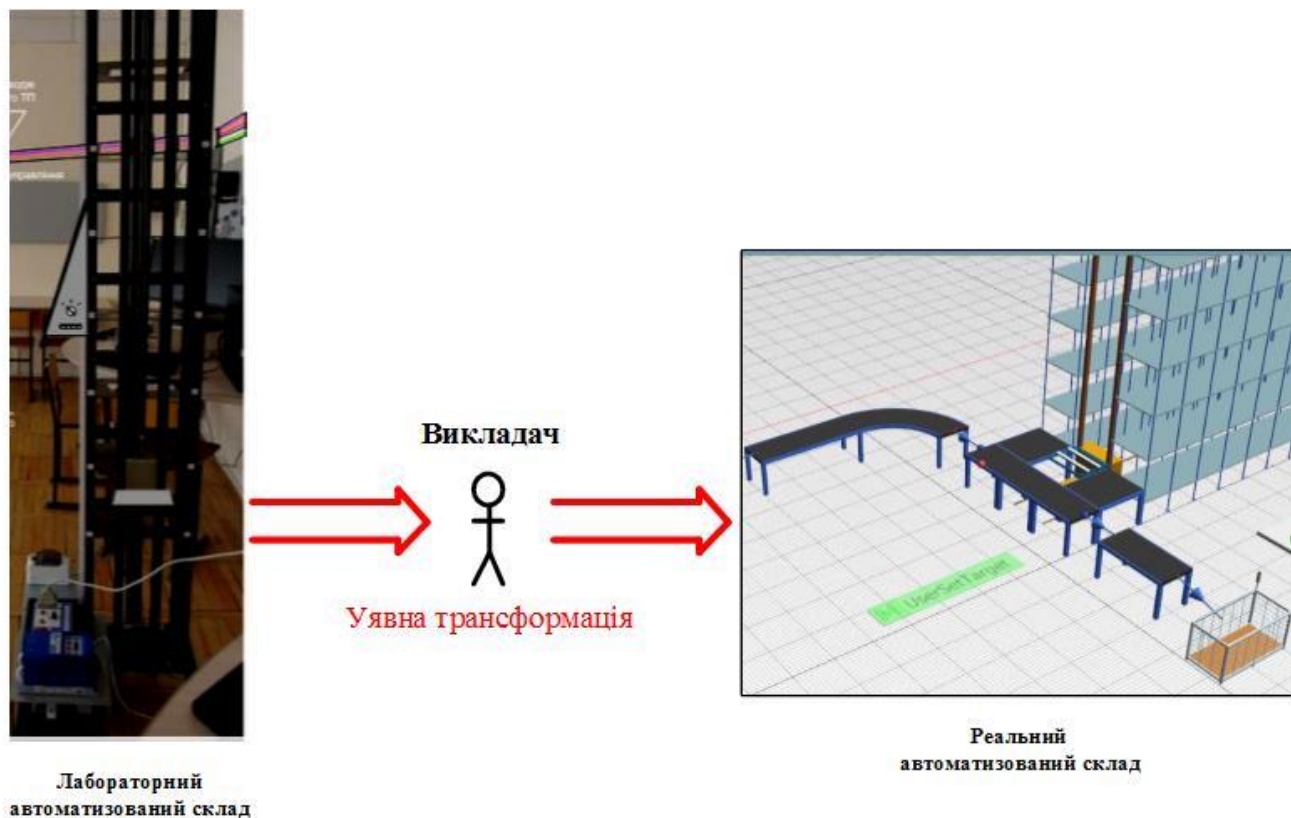


Рисунок 2.17 – Суть уявної трансформації лабораторного АВ

Таку модель актор «викладач» розроблює саме за допомогою програмних інструментів хмарної платформи «Siemens Tecnomatix Plant Simulation», які були розглянуті вище. В результаті даної діяльності актора «викладач» формується вихідний комплект комп'ютерних моделей існуючої версії типу реального АВ, який дає можливість актору «здобувач» почати виконувати діяльність, пов'язану з додатковим моделюванням та налагоджуванням роботи цієї моделі, що дозволить йому поглибити знання устрою та розуміння принципу дії даної версії типу автоматизованого виробництва.

На рисунку 2.18 показані декілька можливих дій актора «здобувач» при виконанні додаткового моделювання та налаштування окремих об'єктів моделі типу АВ І3.0, створеної актором «викладач»:

– «Додавання і налаштування кінцевого датчика» моделі конвеєра, що створює додаткову подію в імітаційній моделі АВ – «Деталь, що переміщається конвеєром, досягла свого крайнього положення»;

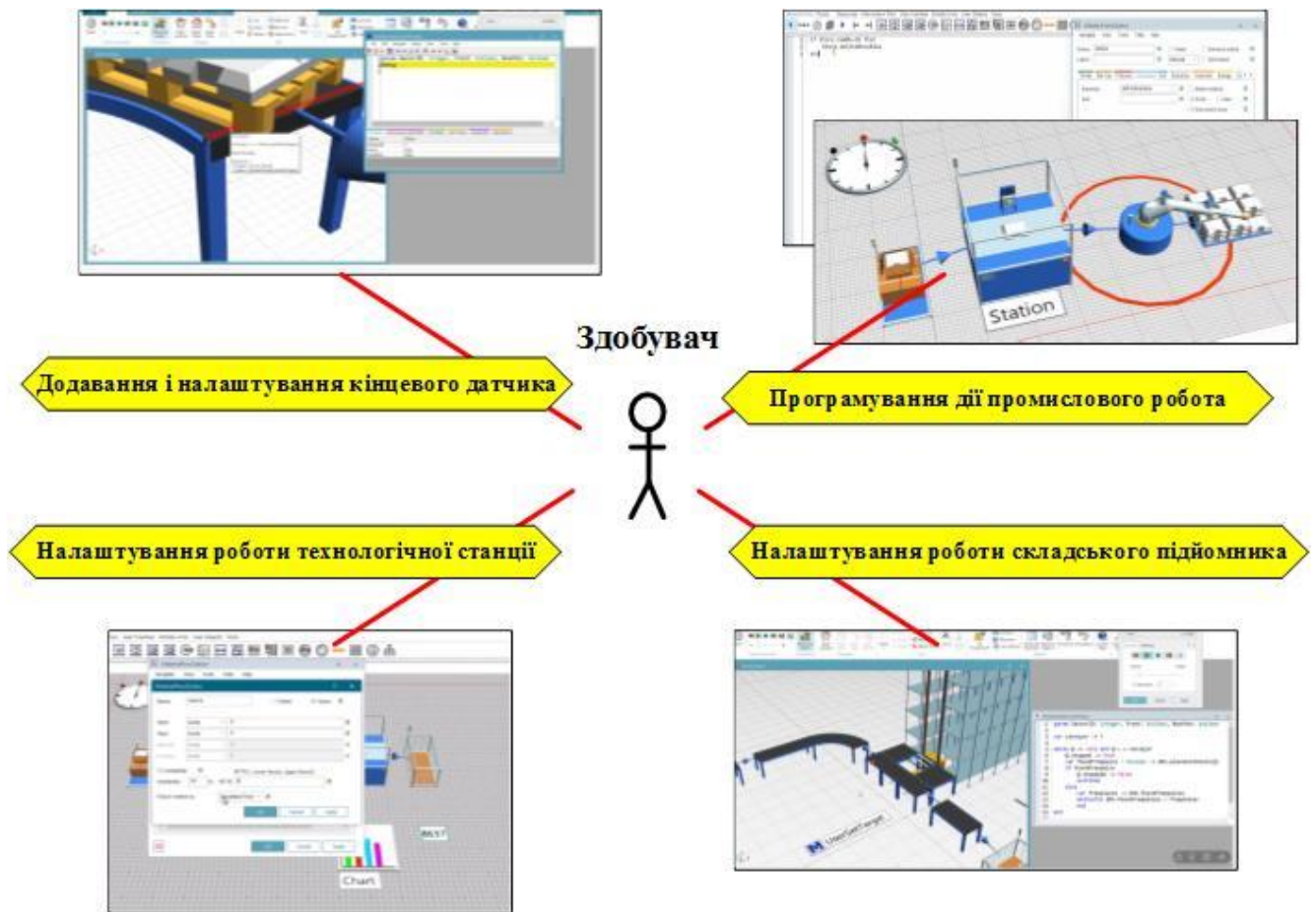


Рисунок 2.18 – Дії здобувача з моделлю реального АВ ІЗ.0

- «Програмування дій промислового робота» моделі виробничої лінії, що задає кількісні параметри формування роботом піддону з готовими деталями;
- «Налаштування роботи технологічної станції» моделі виробничої лінії, що задає умови початку її роботи, тривалість оброблення деталі та параметри надійності обладнання (відсоток працездатного стану та непрацездатного станів, тривалість ремонту);
- «Налаштування роботи складського підйомника» моделі виробничого складу, що задає алгоритм роботи підйомника по розміщенню різних деталей на полицях стелажів та зняття деталей з цих полиць в залежності від різних поточних виробничих умов.

Розробимо тепер концептуальне рішення моделі реального АВ ІЗ.0, яку повинен створити викладач у середовищі «Siemens Tecnomatix Plant Simulation» для методичного забезпечення нового НЗ.

2.3 Концептуальне проєктування цифрової моделі типу АВ ІЗ.0

Як було зазначено вище, за основу такого проєктування викладач має використати існуючий вже екземпляр такого АВ ІЗ.0, який реалізований на факультеті ІТА ВНТУ у вигляді лабораторного «віртуального» АВ хімічної продукції. Тому модель типу АВ ІЗ.0 повинна загалом повторювати структурну будову та організаційну схему лабораторного екземпляру виробництва. На рисунку 2.19 показаний спосіб реалізації екземпляру «віртуального» виробництва у приміщенні навчальної лабораторії.

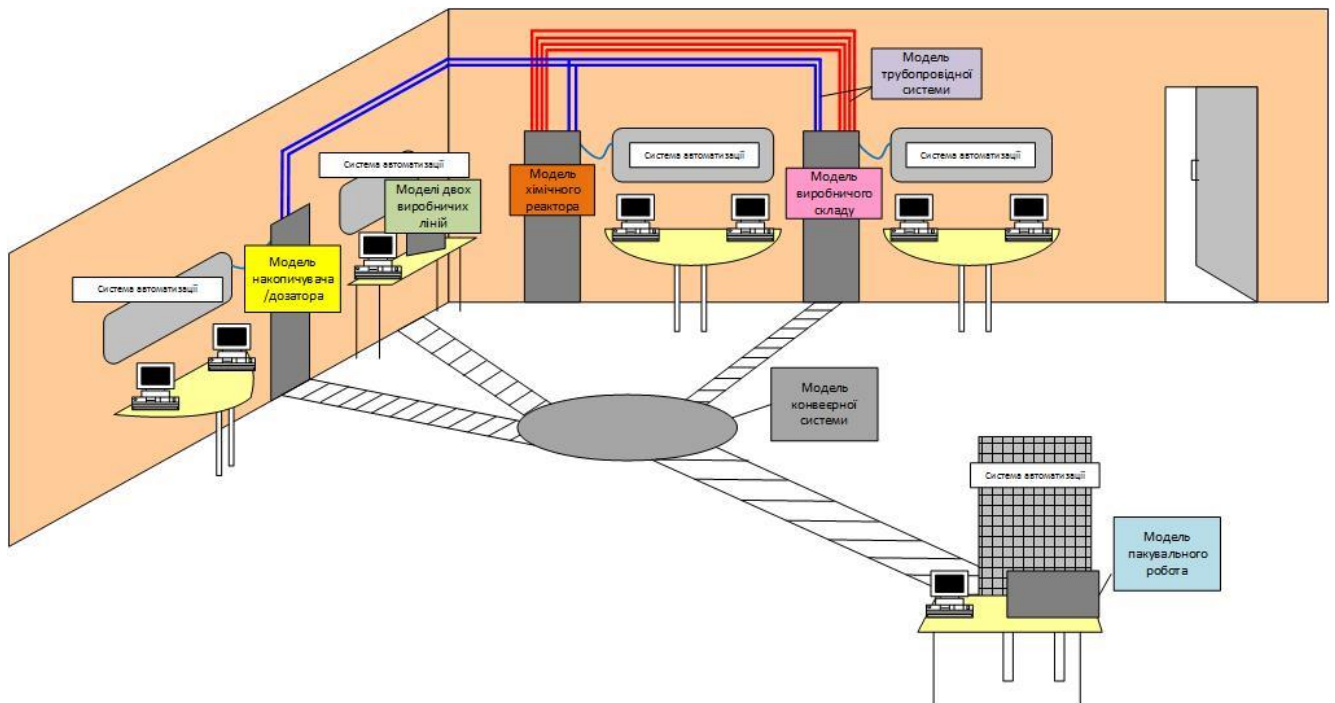


Рисунок 2.19 – Реалізація екземпляру АВ ІЗ.0 в навчальній лабораторії

Як видно з рисунку, лабораторний «віртуальний» АВ ІЗ.0 складається з таких структурних частин:

- автоматизований ТП (АТП) хімічного реактора (модель хімічного реактора та локальна система автоматизації);
- АТП дозатора (модель накопичувача/дозатора та локальна система автоматизації);

- АТП пакування (модель пакувального робота та локальна система автоматизації);
- АТП допоміжного виробництва (моделі двох виробничих ліній та локальна система автоматизації);
- АТП виробничого складу (модель виробничого складу та локальна система автоматизації);
- АТП трубопровідної транспортної системи (модель трубопровідної системи та розподілена система автоматизації);
- АТП конвеєрної транспортної системи (модель конвеєрної системи та розподілена система автоматизації).

Організація взаємодій цих структурних частин в рамках лабораторного «віртуального» виробництва була описана у першому розділі даної магістерської кваліфікаційної роботи.

На рис. 2.20 і в додатку В показане концептуальне рішення відповідної моделі типу АВ ІЗ.0, спроектованого з застосуванням бібліотечних класів виробничих об'єктів інструментального середовища «Siemens Tecnomatix Plant Simulation». Модель типу АВ повністю повторює взаємне розміщення моделей структурних частин виробництва у навчальній лабораторії (див. рис. 2.19), а її моделі трубопровідної та конвеєрної систем забезпечують ту саму взаємодію між АТП, що і в лабораторному «віртуальному» виробництві.

Модель типу АВ ІЗ.0 також складається з тих самих структурних частин:

- АТП хімічного реактора;
- АТП дозатора;
- АТП пакування;
- АТП допоміжного виробництва;
- АТП виробничого складу;
- АТП трубопровідної системи;
- АТП конвеєрної системи.

Розглянемо детальніше ці окремі частини моделі типу АВ ІЗ.0.

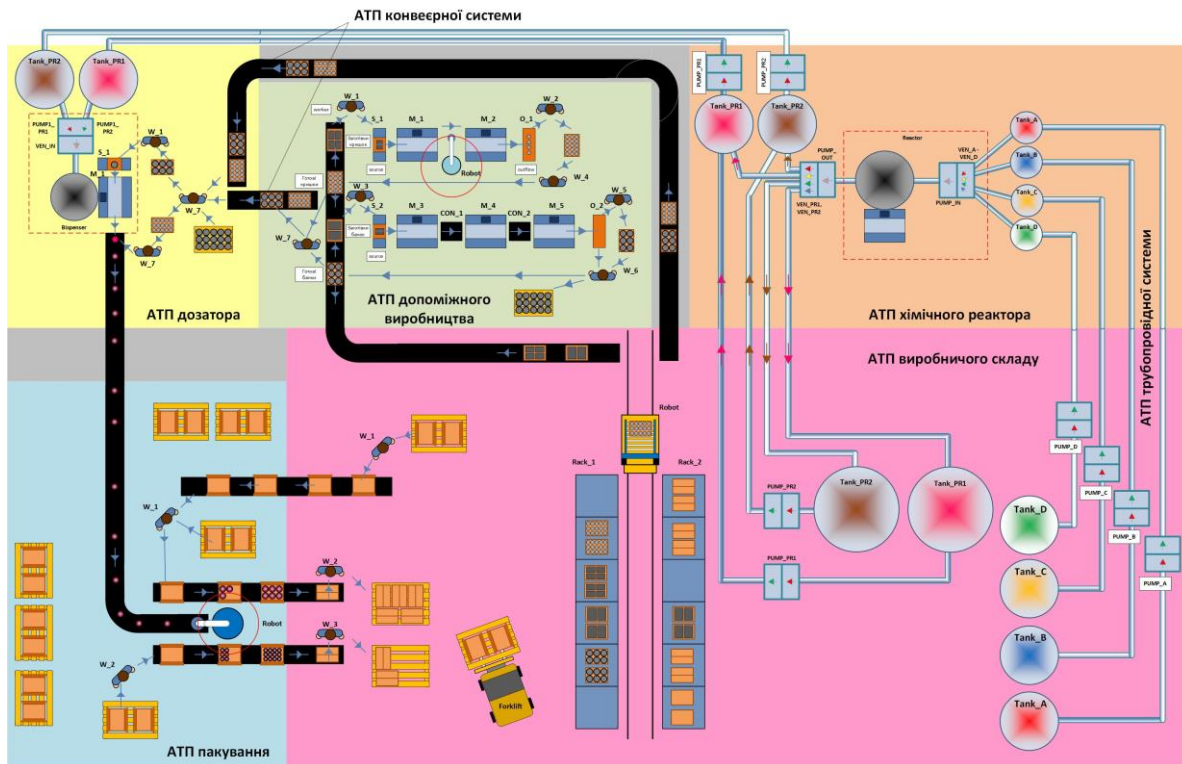


Рис. 2.20 – Концепція моделі типу АВ І3.0

На рис. 2.21 покаже концептуальне рішення моделі АТП хімічного реактора для типу АВ І3.0.

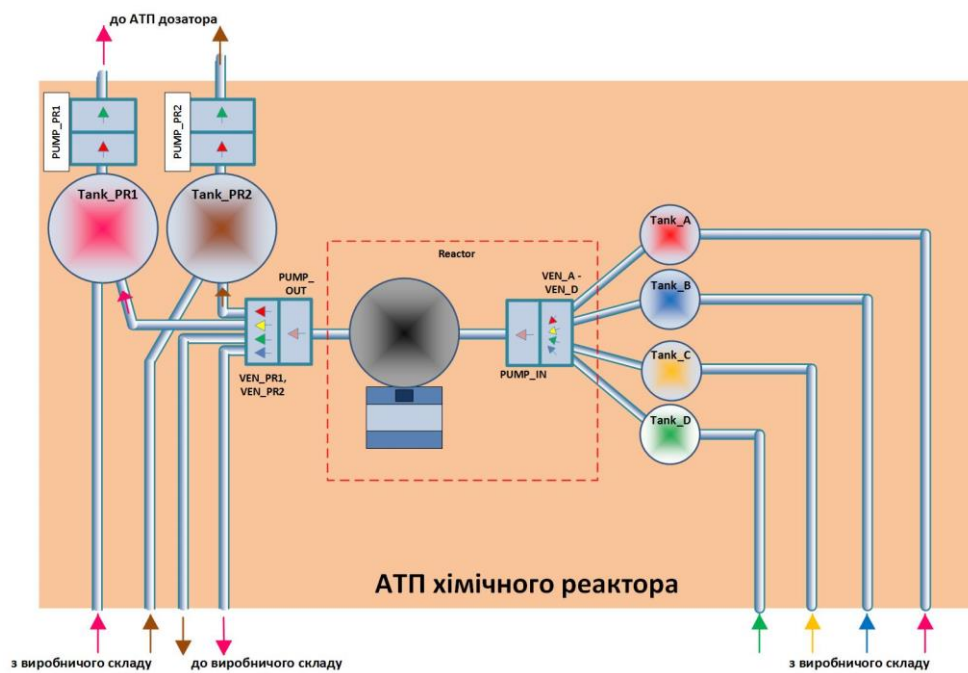


Рис. 2.21 – Концепція побудови моделі АТП хімічного реактора

Даний АТП призначений для періодичного виготовлення двох видів хімічної рідини (PR1, PR2) з будь-якої комбінації вихідних реагентів А, В, С та D. На рисунку показане реальне виробниче приміщення промислового хімічного підприємства, де змонтований промисловий зразок хімічного реактора (модельний об'єкт «Reactor») та усе інше допоміжне устаткування, що забезпечує його роботу (моделі виробничих об'єктів).

У табл. 2.1 наведений повний перелік застосованих моделей виробничих об'єктів та вказані основні їх характеристики. Зокрема, для моделювання реального хімічного реактора, який виробляє вихідний хімічний продукт з кількох вхідних рідких реагентів, застосований спеціальний користувацький клас моделі.

Табл. 2.1 – Моделі виробничих об'єктів АТП хімічного реактора

Позначення	Призначення	Характеристика моделі
Reactor	Одинична технологічна операція - виготовлення одного з двох типів продукту з кількох вхідних реагентів	Модель користувацького класу (включає бібліотечні класи – станція, резервуар, насос, вентилі)
Tank_A	Ємність для локального зберігання реагенту А	Бібліотечний клас
Tank_B	... В	- « -
Tank_C	... С	- « -
Tank_D	... D	- « -
Tank_PR1	Ємність для локального зберігання готового продукту PR1	- « -
Tank_PR2	... PR2	- « -
VEN_A	Вентиль подачі реагенту А до хімічного реактора	- « -
VEN_B	... В ...	- « -
VEN_C	... С ...	- « -
VEN_D	... D ...	- « -
PUMP_IN	Електричний насос подачі реагентів до хімічного реактора	- « -

Продовження табл. 2.1

Позначення	Призначення	Характеристика моделі
PUMP1_OUT	Електричний насос викачування готового продукту з хімічного реактора або до ємностей Tank_PR1/Tank_PR2, або на виробничий склад	- « -
VEN_PR1	Вентиль прокачування готового продукту PR1 з хімічного реактора або до ємності Tank_PR1, або на виробничий склад	- « -
VEN_PR2	... PR2 ...	- « -
PUMP2_PR1	Електричний насос перекачування готового продукту PR1 з ємності локального зберігання Tank_PR1 до АТП дозатора	- « -
PUMP2_PR2	... PR2 ...	- « -

На рис. 2.22 показе концептуальне рішення моделі АТП дозатора для типу АВ ІЗ.0. Даний АТП призначений для періодичного розливу готової хімічної рідини двох видів (PR1, PR2) у металеву тару двох типів. На рисунку показане реальне виробниче приміщення промислового хімічного підприємства, де змонтований промисловий зразок накопичувача/дозатора (модельний об'єкт «Bispenser») та усе інше допоміжне устаткування, що забезпечує його роботу (моделі виробничих об'єктів).

У табл. 2.2 наведений повний перелік застосованих моделей виробничих об'єктів та вказані основні їх характеристики. Зокрема, для моделювання реального накопичувача/дозатора, який розливає один вид готового хімічного продукту з вбудованого накопичувача у один з типів металевої тари (банки заданого об'єму) , застосований спеціальний користувацький клас моделі, який включає бібліотечні класи – станція, резервуар, насоси, вентиль та джерело тари).

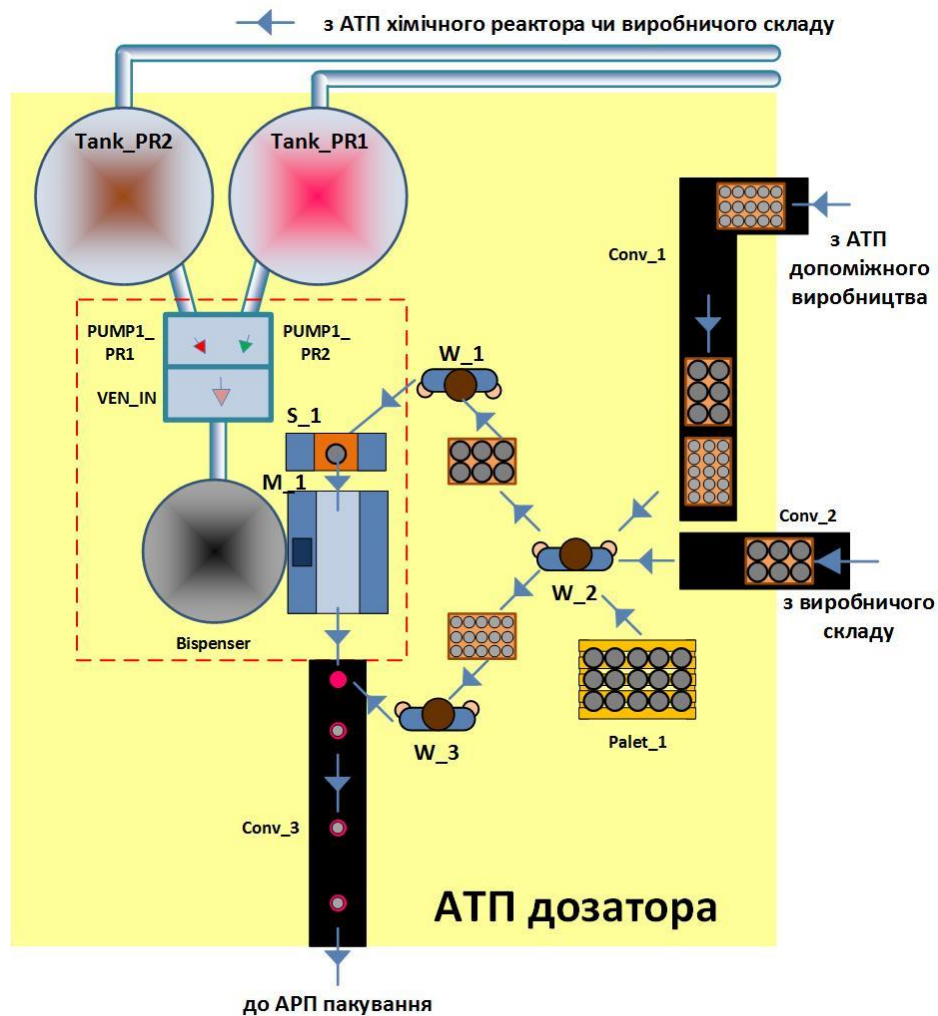


Рис. 2.22 – Концепція побудови моделі АТП дозатора

Табл.2.2 – Моделі виробничих об'єктів АТП дозатора

Позначення	Призначення	Характеристика моделі
Bispenser	Послідовне дозування хімічного продукту заданого виду у тару заданого типу	Модель користувацького класу (включає бібліотечні класи – станція, резервуар, насоси, вентиль, джерело)
Tank_PR1	Ємність для локального зберігання готового продукту PR1	Бібліотечний клас
Tank_PR2	... PR2	- « -
PUMP1_PR1	Електричний насос для перекачування готового продукту з ємності Tank_PR1 до накопичувача дозатора	- « -
PUMP1_PR2	... PR2 ...	- « -

Продовження табл. 2.2

Позначення	Призначення	Характеристика моделі
Conv_1	Промисловий конвеєр для переміщення коробок з пустою тарою з допоміжного виробництва до дозатора	- « -
Conv_2	Промисловий конвеєр для переміщення коробок з пустою тарою з виробничого складу до дозатора	- « -
Conv_3	Промисловий конвеєр для переміщення заповнених банок до наступного АТП пакування	- « -
Palet_1	Палета з пустою тарою, що подається до АТП дозатора автокаром або з допоміжного виробництва, або з виробничого складу	- « -
W_1	Робочий, який вручну завантажує екземпляри пустої тари заданого об'єму до дозатора	- « -
W_2	Робочий, який вручну переміщує коробки з пустою тарою (банки та кришки) з конвеєрів Conv_1 та Conv_2 до спеціальних зон біля дозатора	- « -
W_3	Робочий, який вручну закриває кришками екземпляри банок заданого об'єму, що наповнені у дозаторі	- « -

На рис. 2.23 покаже концептуальне рішення моделі АТП пакування для типу АВ ІЗ.0. Даний АТП призначений для періодичного автоматичного пакування двох видів готової хімічної продукції (PR1 чи PR2, що розфасована у металеву тару двох типів – 1 чи 2, яка щільно закрита кришкою) у картонні коробки двох типів (1 чи 2). На рисунку показане реальне виробниче приміщення промислового хімічного підприємства, де змонтований промисловий пакувальний

робот (модельний об'єкт «Robot») та усе інше допоміжне устаткування, що забезпечує його роботу (моделі виробничих об'єктів).

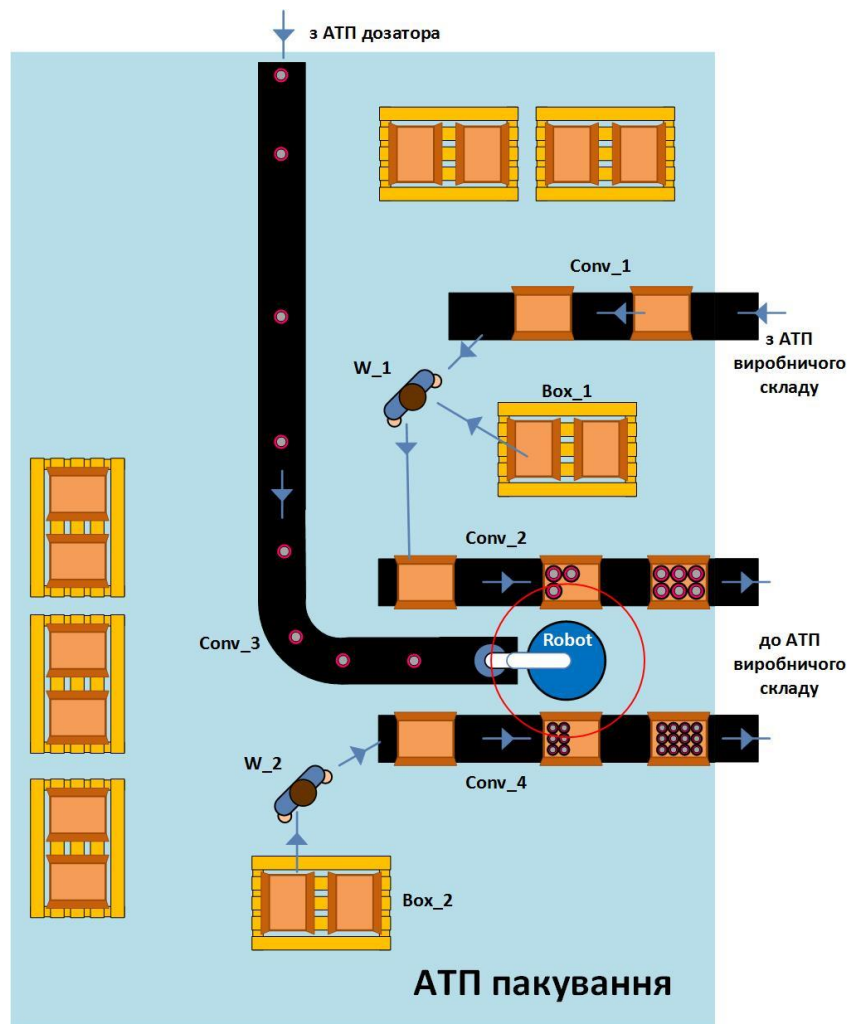


Рис. 2.23 – Концепція побудови моделі АТП пакування

У табл. 2.3 наведений повний перелік застосованих моделей виробничих об'єктів та вказані основні їх характеристики.

Табл. 2.3 – Моделі виробничих об'єктів АТП пакування

Позначення	Призначення	Характеристика моделі
Robot	Виконує послідовне пакування готової продукції двох видів (закриті банки заданого типу з заданим видом рідкої продукції) у картонні коробки заданого типу	Бібліотечний клас

Продовження табл. 2.3

Позначення	Призначення	Характеристика моделі
Conv_1	Промисловий конвеєр подачі пустих коробок типів 1 та 2 зі складу	- « -
Conv_2	Промисловий конвеєр подачі пустих коробок типу 1 до пакувального робота і далі на виробничий склад	- « -
Conv_3	Промисловий конвеєр подачі з АТП дозатора банок заданих типів, заповнених готовою продукцією та закритих кришками, до пакувального робота	- « -
Conv_4	Промисловий конвеєр подачі пустих коробок типу 2 до пакувального робота і далі на виробничий склад	- « -
Box_1	Локальний запас пустих коробок типу 1	- « -
Box_2	Локальний запас пустих коробок типу 2	- « -
W_1	Робочий, який вручну переміщає пусті коробки типу 1 або з конвеєра Conv_1, або з локального запасу Box_1 на конвеєр Conv_2	- « -
W_2	Робочий, який вручну переміщає пусті коробки типу 2 з локального запасу Box_2 на конвеєр Conv_4	- « -

На рис. 2.24 покаже концептуальне рішення моделі АТП допоміжного виробництва для типу АВ ІЗ.0. Даний АТП призначений для періодичного автоматизованого виготовлення заданої партії тари одного з двох типів (тип 1 і тип 2), яка складається з металевої банки заданого об'єму та металевої кришки відповідного розміру. На рисунку показане реальне приміщення ділянки допоміжного виробництва деякого промислового підприємства, де змонтовані дві автоматизовані виробничі лінії (модель лінії з двома станціями М1 та М2, модель лінії з трьома станціями М№, М4, М5) та усе інше обладнання, що забезпечують їх роботу (моделі виробничих об'єктів).

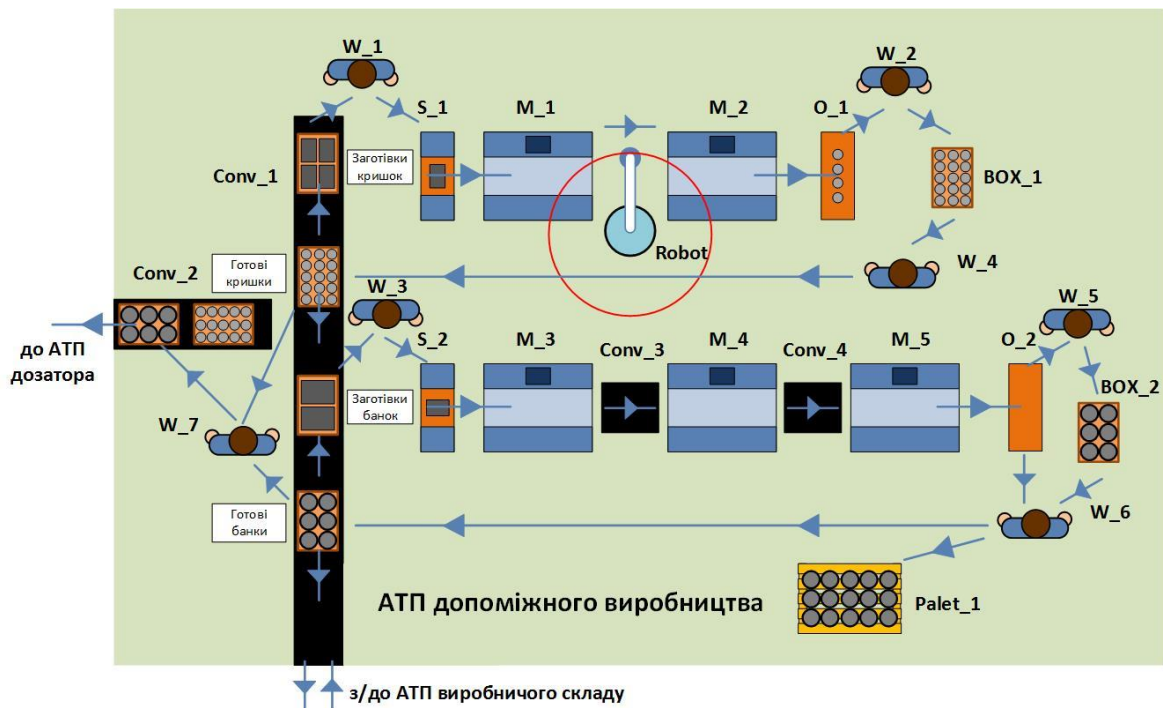


Рис. 2.24 – Концепція побудови моделі АТП допоміжного виробництва

У табл. 2.4 наведений повний перелік застосованих моделей виробничих об'єктів та вказані основні їх характеристики.

Табл. 2.4 – Моделі виробничих об'єктів АТП допоміжного виробництва

Позначення	Призначення	Характеристики
S_1	Джерело заготівок для автоматизованої лінії з виготовлення кришок	Бібліотечний клас
M_1	Перша робоча станція (верстат) автоматизованої лінії з виготовлення кришок	- « -
M_2	Друга робоча станція (верстат) автоматизованої лінії з виготовлення кришок	- « -
O_1	Контейнер для збирання готових кришок	- « -
Robot	Транспортний робот автоматизованої лінії з виготовлення кришок	- « -

Продовження табл. 2.4

Позначення	Призначення	Характеристика моделі
Conv_1	Промисловий конвеєр як для переміщення заготовок для кришок та банок з виробничого складу до автоматизованих ліній, так і готових комплектів тари від автоматизованих ліній до виробничого складу	- « -
Conv_2	Промисловий конвеєр для переміщення готових комплектів тари від автоматизованих ліній до АТП дозатора	- « -
BOX_1	Коробка з готовими кришками	- « -
W_1	Робочий, який вручну переміщає заготовки для виготовлення кришок з конвеєра Conv_1 на вхід S_1 автоматизованої лінії	- « -
W_2	Робочий, який вручну переміщає готові кришки з виходу автоматизованої лінії до пакувальної коробки BOX_1	- « -
W_4	Робочий, який вручну переміщає заповнені коробки BOX_1 на конвеєр Conv_1	- « -
W_7	Робочий, який вручну переміщає коробки з готовими кришками та банками з конвеєра Conv_1 на конвеєр Conv_2	- « -
S_2	Джерело заготовок для автоматизованої лінії з виготовлення банок	- « -
M_3	Перша робоча станція (верстат) автоматизованої лінії з виготовлення банок	- « -
M_4	Друга робоча станція (верстат) автоматизованої лінії з виготовлення банок	- « -
M_5	Третя робоча станція (верстат) автоматизованої лінії з виготовлення банок	- « -

Продовження табл. 2.4

Позначення	Призначення	Характеристика моделі
Conv_3	Промисловий конвеєр переміщення напівфабрикату банки від робочої станції (верстату) «М_3» до робочої станції (верстату) «М_4»	- « -
Conv_4	Промисловий конвеєр переміщення напівфабрикату банки від робочої станції (верстату) «М_4» до робочої станції (верстату) «М_5»	- « -
O_2	Контейнер для збирання готових банок	- « -
BOX_2	Коробка з готовими банками меншого об'єму	- « -
Palet_1	Палета з готовими банками більшого об'єму, що призначена для переміщення автокаром	- « -
W_3	Робочий, який вручну переміщає заготовки для виготовлення банок з конвеєра Conv_1 на вхід S_2 автоматизованої лінії	- « -
W_5	Робочий, який вручну переміщає готові банки меншого об'єму з виходу автоматизованої лінії до пакувальної коробки BOX_2	- « -
W_6	Робочий, який вручну переміщає або заповнені коробки BOX_2 на конвеєр Conv_1, або готові банки більшого об'єму з виходу автоматизованої лінії на палету Palet_1	- « -

На рис. 2.25 покаже концептуальне рішення моделі АТП виробничого складу для типу АВ ІЗ.0. На цій моделі відображено реальне приміщення складу реального промислового підприємства, де змонтовані резервуарний парк (модельні об'єкти «Tank_A» - «Tank_D», «Tank_PR1», «Tank_PR2») та

автоматизований складський стелаж (модельні об'єкти «Rack_1, «Rack_2»), оснащений спеціальним роботом (модельний об'єкт «Robot», та усе інше обладнання, що забезпечує роботу такого складу – моделі системи конвеєрів та трубопроводів.

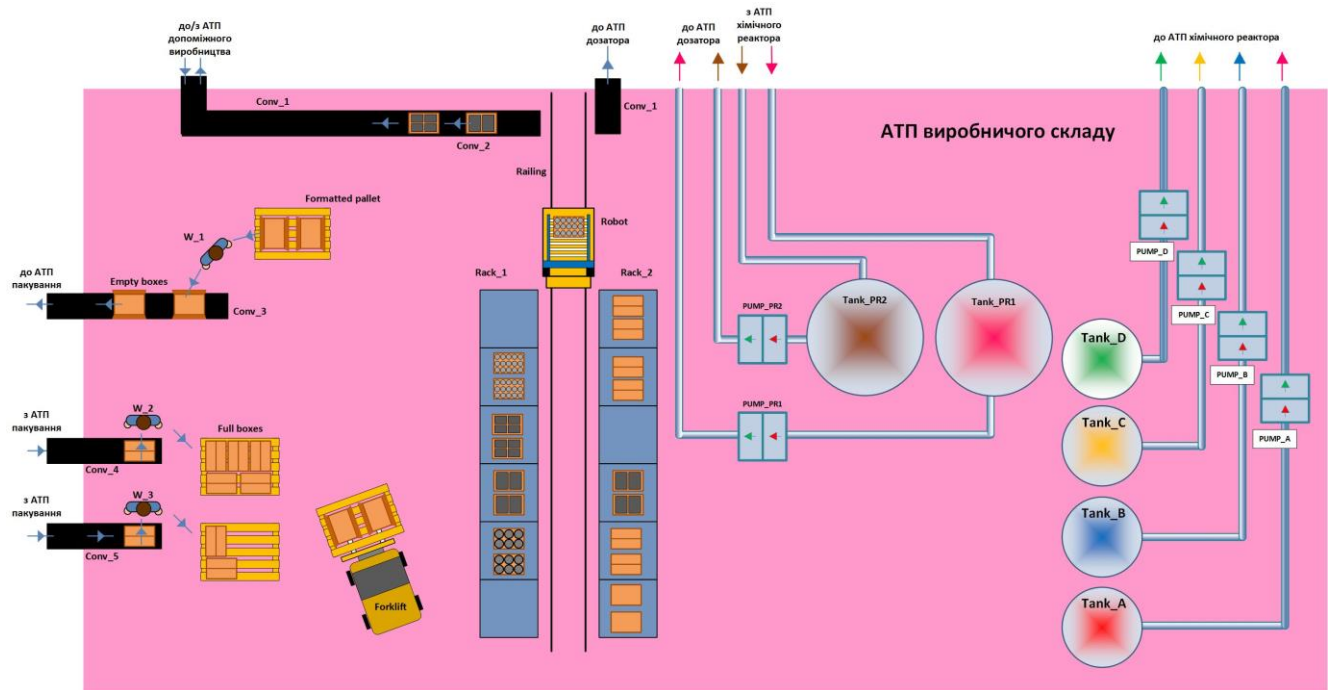


Рис. 2.25 – Концепція побудови моделі АТП виробничого складу

У табл. 2.5 наведений повний перелік застосованих моделей виробничих об'єктів та вказані основні їх характеристики.

Табл. 2.5 – Моделі виробничих об'єктів АТП виробничого складу

Позначення	Призначення	Характеристика моделі
Robot	Складський робот автоматизованого стелажу	Бібліотечний клас
Railing	Електричний механізм пересування робота по заданій траєкторії	- « -
Rack_1, Rack_2	Складські стелажі	- « -

Продовження табл. 2.5

Позначення	Призначення	Характеристика моделі
Formatted pallet	Готова палета з матеріальними ресурсами	- « -
Full boxes	Картонні коробки з упакованою в них готовою продукцією	- « -
Empty boxes	Пусті картонні коробки для пакування готової продукції	- « -
Conv_1	Промисловий конвеєр для переміщення коробок з комплектами пустої тари (банки меншого розміру та кришки до них) зі складу до дозатора	- « -
Conv_2	Промисловий конвеєр для переміщення коробок з заготівками кришок та комплектів заготівок банок зі складу на допоміжне виробництво	- « -
Conv_3	Промисловий конвеєр для переміщення пустих коробок зі складу до ТП пакування готової продукції	- « -
Conv_4	Промисловий конвеєр для переміщення коробок з запакованою готовою продукцією типу 1 з АТП пакування на склад	- « -
Conv_5	Промисловий конвеєр для переміщення коробок з запакованою готовою продукцією типу 2 з АТП пакування на склад	- « -
Tank_PR1	Резервуар для зберігання готової продукції типу 1	- « -
Tank_PR2	Резервуар для зберігання готової продукції типу 2	- « -
PUMP_PR1	Електричний насос для перекачування готової продукції типу 1 зі складського резервуару до АТП хімічного реактора	- « -

Продовження табл. 2.5

Позначення	Призначення	Характеристика моделі
PUMP_PR2	Електричний насос для перекачування готової продукції типу 2 зі складського резервуару до АТП хімічного реактора	- « -
Tank A	Ємність для складського зберігання реагенту А	- « -
Tank B	Ємність для складського зберігання реагенту В	- « -
Tank C	Ємність для складського зберігання реагенту С	- « -
Tank D	Ємність для складського зберігання реагенту D	- « -
PUMP_A	Електричний насос для перекачування реагенту А зі складської ємності до АТП хімічного реактора	- « -
PUMP_B	Електричний насос для перекачування реагенту В зі складської ємності до АТП хімічного реактора	- « -
PUMP_C	Електричний насос для перекачування реагенту С зі складської ємності до АТП хімічного реактора	- « -
PUMP_D	Електричний насос для перекачування реагенту D зі складської ємності до АТП хімічного реактора	- « -
Forklift	Автокар для переміщення палет з матеріальними ресурсами як в межах виробничого складу, так і поза нього	- « -

Продовження табл. 2.5

Позначення	Призначення	Характеристика моделі
W_1	Робочий, який вручну переміщає пусті коробки з палети (Formatted pallet) на конвеєр Conv_3	- « -
W_2	Робочий, який вручну переміщає повні коробки з продукцією типу 1 (Full boxes) з конвеєр Conv_4 на палету	- « -
W_3	Робочий, який вручну переміщає повні коробки з продукцією типу 2 (Full boxes) з конвеєр Conv_5 на палету	- « -

Моделі АТП конвеєрної та трубопровідної транспортних систем були описані вище разом з моделями окремих АТП, тому немає сенсу їх описувати ще раз.

2.4 Висновки до розділу

В результаті виконання даного розділу роботи був проведений ретельний аналіз програмних інструментів моделювання виробничих об'єктів у інструментальному середовищі «Siemens Tecnomatix Plant Simulation» з урахуванням особливостей вибраного типу автоматизованого виробництва ІЗ.0. На основі цього аналізу була розроблена модель діяльності викладача та здобувача в ході виконання стадії «Розробка типу автоматизованого виробництва ІЗ.0» на новому навчальному засобі. З урахуванням складності моделювання типу реального АВ ІЗ.0 вибраний оптимальний розподіл цих діяльностей між викладачем та здобувачем – викладач майже повністю розробляє цю модель, а здобувач виконує вже її остаточне налаштування для запуску імітаційного

модельовання. Розроблена концепція побудови усієї цифрової моделі типу АВ ІЗ.0 з застосуванням бібліотечних класів моделей виробничих об'єктів, які підтримує поточна версія інструментального середовища «Siemens Tecnomatix Plant Simulation».

3 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «АНАЛІЗ ТИПУ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА І3.0»

3.1 Загальне бачення

Як зазначено в розділі 1, цифрова трансформація існуючого типу АВ, що вивчається на новому НЗ, являє собою процес поступового перетворення студентами існуючого типу реального АВ хімічного підприємства, що побудований за концепцією «Індустрія 3.0» (І3.0), у досконаліший його варіант, що в тій чи іншій мірі буде відповідати вимогам концепції «Індустрія 4.0» (І4.0).

Також у розділі 1 була запропонована загальна архітектура нового НЗ, яка відображає основні стадії 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 загальною архітектурою, на стадії «Аналіз існуючого типу АВ» студент повинен порівнювати будову та принцип дії типу реального хімічного АВ (детальне уявлення про це студент формує в ході попередньої стадії цифрової трансформації) з властивостями більш досконалого типу реального хімічного АВ цифрового «розумного» підприємства (І4.0), в результаті чого будуть виявлені недоліки існуючого типу реального АВ І3.0, які потім можна буде усунути шляхом його цифрової трансформації.

Таким чином, загальне бачення процесу виконання даної стадії цифрової трансформації типу АВ І3.0 виглядає так, як показано на рис. 3.1 і в додатку В. На попередній стадії процесу цифрової трансформації «Розробка типу АВ І3.0» розробляється повний комплект комп'ютерних моделей даного типу АВ (реальні ТП та реальна ІСА), в результаті чого у здобувача формується достатнє уявлення про будову типу АВ І3.0 та принцип його дії. На стадії «Аналіз типу АВ І3.0» здобувач поступово порівнює властивості існуючого типу АВ І3.0 (будова та принцип дії) з властивостями цифрового «розумного» АВ І4.0, аналізує результат порівняння та складає перелік тих недоліків типу АВ І3.0, які далі і можна буде усунути шляхом його цифрової трансформації.

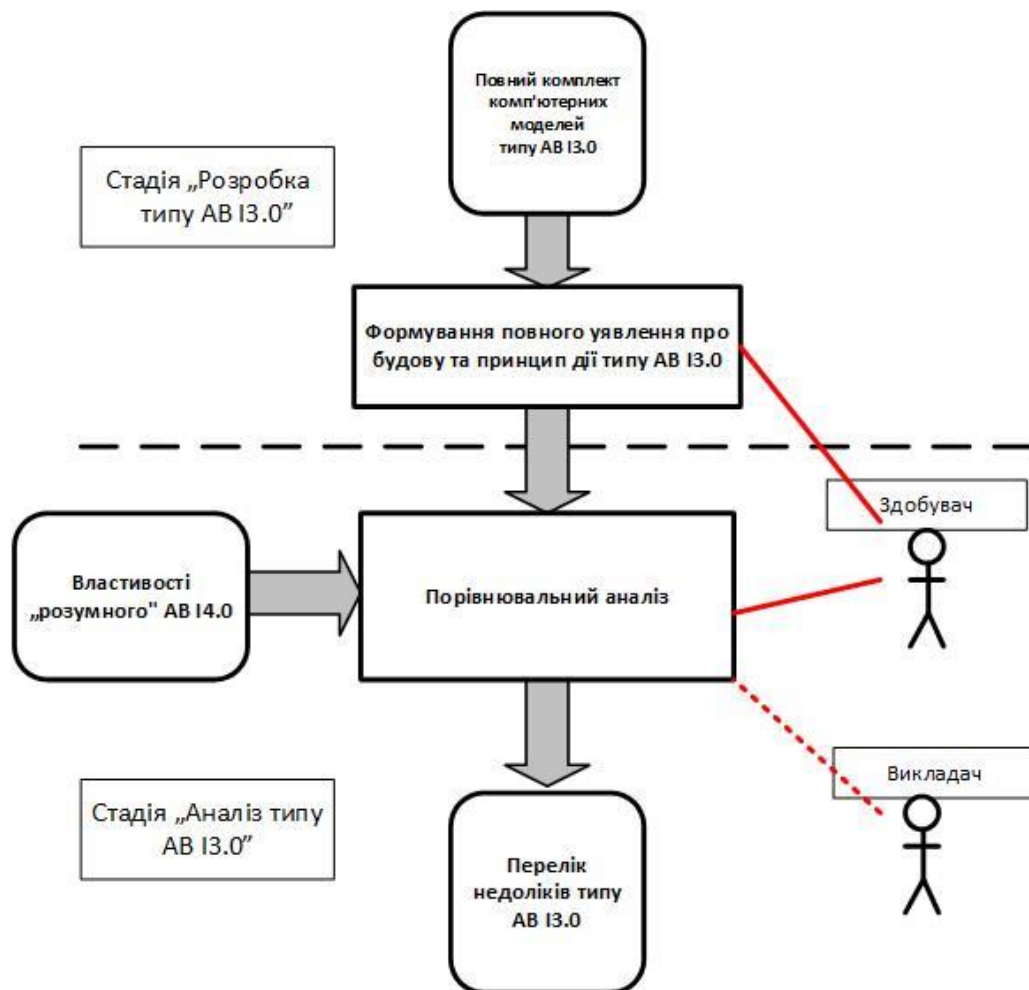


Рис. 3.1 – Загальне бачення процесу виконання стадії

Порівнювальний аналіз може виконуватися за участі викладача, наприклад, при наданні здобувачу відповідних консультацій або у підготовці інформації про властивості цифрового «розумного» АВ (у вигляді навчально-методичних матеріалів). При цьому треба відмітити, що на сьогодні ще не сформоване остаточне визначення поняттю цифрове «розумне» АВ, де б перелічувались зазначені вище його основні властивості. Тому цю інформацію треба буде ще формувати шляхом додаткових досліджень предметної області цифрового «розумного» АВ. Бажано, щоб таке дослідження самостійно виконував саме здобувач, що лише сприятиме кращому розумінню ним суті процесу цифрової трансформації. З іншого боку, готувати заздалегідь таку вихідну інформацію може і викладач, наприклад, у разі недостатньої кількості годин СРС, виділених для навчального практикуму з відповідної професійної дисципліни. У

будь-якому випадку, після проведених досліджень виявлені властивості «розумного» АВ можна буде представити у вигляді деякого переліку відповідних основних його ознак. В якості прикладу описаної діяльності складемо варіант такого переліку.

В основі організації виробничих підприємств «Індустрії 4.0» типу цифрова «розумна фабрика» лежать технології промислового Інтернету речей, хмарні технології, технології збору й обробки великих масивів виробничих даних і ін., що забезпечують роботу роботизованого автоматичного технологічного обладнання - кіберфізичних систем [36-38].

Схема взаємодії персоналу й кіберфізичних систем автоматизації на виробничому підприємстві наведена на рис. 3.2.

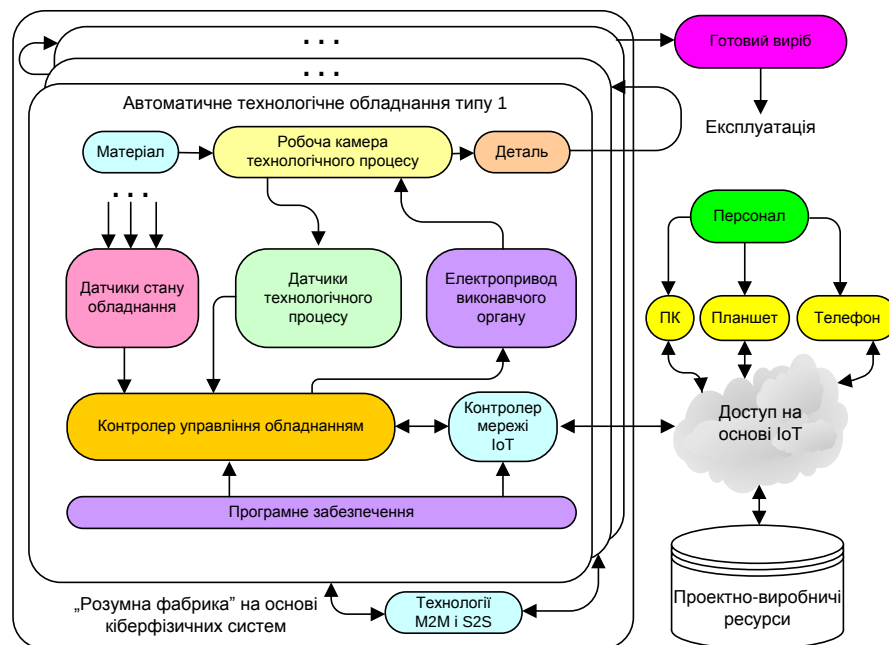


Рис. 3.2 – Схема взаємодії персоналу й кіберфізичних систем на підприємствах І4.0 типу цифрова «розумна фабрика»

Управління обладнанням персонал здійснює віддаленим способом за допомогою засобів обчислювальної техніки (персональний комп'ютер - ПК, планшет, телефон та ін.), підключених до бездротової мережі промислового Інтернету речей (IoT - Internet of Things).

Інтерфейс IoT підтримується різними специфікаціями бездротових мереж. Найбільше поширення на практиці отримали специфікації Bluetooth, Wi-Fi і ін. Основний недолік цих і ряду інших протоколів передачі виробничих даних у бездротових мережах полягає в обмеженій дальності поширення радіосигналів між абонентами мережі, внаслідок чого на практиці для організації безперебійної роботи технологічного обладнання протяжних виробничих ліній задіюються роутери.

З боку персоналу технології бездротових мереж підтримуються на апаратно-програмному рівні користувальницьким обладнанням (ПК, планшет, телефон), що створює передумови для організації «безлюдного» виробництва, управління яким забезпечується дистанційно. Як приклад практичної реалізації дистанційного способу управління компонентом кіберфізичної системи можна привести спосіб управління 3D-принтерами, установленими на виробництві одного підприємства (ділянки), виробничим персоналом, територіально розміщеним у корпусах іншого виробничого підприємства, що входять до складу однієї корпорації. Очевидно, що технологічне обладнання (3D-принтери) доцільно розміщати в безпосередній близькості від підприємства, що формує сировину (металеву пудру, що спекається в робочій камері 3D-принтера) для роботи цифрових підприємств, що підтримують адитивні технології. При цьому управлінський персонал підприємства може територіально розташовуватися в іншому регіоні країни, контролюючи стан процесів на підприємстві по інтерфейсах IoT із застосуванням «хмарних» технологій.

З боку технологічного обладнання кіберфізичних систем на фізичному рівні протоколи бездротового зв'язку підтримуються убудованими у виробничі автомати контролерами мережі IoT. Кожний виробничий автомат оснащений персональним контролером мережі IoT. Виробничі дані, передані від кіберфізичної системи персоналу «розумної фабрики», включають:

- стан виконання технологічного процесу в робочій камері виробничого автомата (наприклад, установлення на друковані плати елементної бази, промивання друкованих плат, нанесення гальванічного покриття на деталі,

отримані методом тривимірного друку й ін.), що реєструється спеціальною системою убудованих датчиків;

- стан технологічного обладнання, що виконує виробничу операцію (наприклад, стан справності; залишок сировини чи компонентів, необхідних для виконання технологічної операції й ін.);

- необхідність заміни інструмента, проведення регламентних і попереджувальних робіт з технічного обслуговування обладнання й т.д.), що реєструється спеціальною системою убудованих датчиків.

Попередню обробку даних від датчиків стану технологічного обладнання й датчиків виконання технологічних операцій забезпечує убудований контролер управління, що здійснює інформаційний обмін з контролером IoT.

Для забезпечення роботи виробничого автомата по заданій програмі контролер управління встановлюванням забезпечує формування необхідних команд управління на електропривод виконавчого елемента, що виконує необхідну виробничу операцію. Таким чином, «робоча камера - датчик - контролер управління - електропривод» утворюють замкнутий контур цифрової автоматичної системи управління, що забезпечує виконання заданих технологічних операцій в автоматичному режимі.

Інформаційні процеси, що циркулюють у цьому замкнутому контурі, стають доступні персоналу виробничого підприємства за рахунок обміну, підтримуваного контролером IoT. Ці процеси становлять інтерес для персоналу тільки у випадку виникнення позаштатних ситуацій у роботі обладнання, щоб з'ясувати час і причину її виникнення (наприклад, поломка, порушення технологічного процесу та ін.). У той же час дані від датчика стану технологічного обладнання представляють для персоналу постійний інтерес, тому що від справності обладнання, підтримки запасу інструмента й сировини усередині виробничого автомата на заданому рівні та ін. залежить успіх виконання всієї програми випуску підприємства.

Очевидно, що в персоналу виробничого підприємства у випадку виникнення позаштатних ситуацій у роботі автоматичного обладнання, що виявляються в процесі моніторингу, повинні бути в розпорядженні

стандартизовані й затверджені відповідними інструкціями алгоритми реагування, показані на рис. 3.2 бібліотекою «проектно-виробничі ресурси», доступні по інтерфейсах IoT фахівцям «розумної фабрики».

Взаємодія окремих компонентів кіберфізичних систем у складі єдиної виробничої лінії здійснюється на основі схеми (технологій) M2M и S2S, тобто Machine-to-Machine і Systems-to-Systems відповідно. Приклад схеми руху складальних одиниць на підприємствах Індустрії 4.0 типу «розумна фабрика» наведений на рис. 3.3.

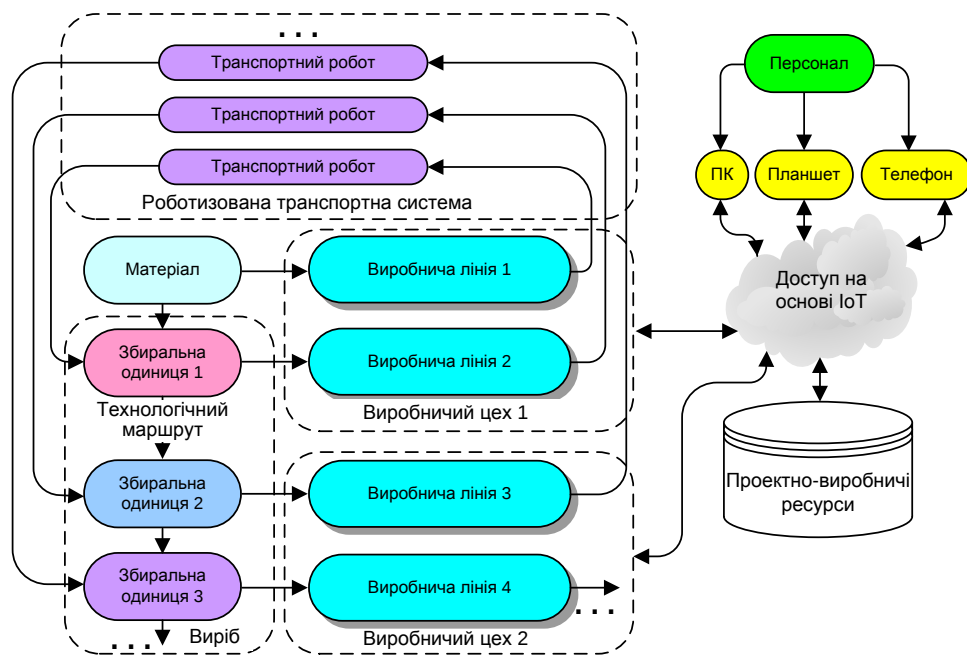


Рис. 3.3 – Схема руху складальних одиниць на підприємствах І4.0

Кожна виробнича лінія складається з набору автоматичного технологічного обладнання, що виконує набір операцій зі складальними одиницями. Сукупність виробничих ліній утворює виробничий цех, що спеціалізується на виконанні певних технологічних операцій. Послідовність технологічних операцій, виконуваних у процесі виготовлення виробу, утворює технологічний маршрут виготовлення виробу. Якщо технологічний маршрут виготовлення виробу припускає виконання з деталями (складальними одиницями) технологічних операцій на обладнанні різних виробничих ліній, то переміщення

деталей у межах цеху повинне забезпечуватися спеціалізованою роботизованою транспортною системою.

Роботизована транспортна система включає набір транспортних роботів, що підтримують обмін виробничими даними по бездротовій мережі IoT і призначених для доставки деталей (складальних одиниць, готового виробу) зі складу готової продукції або на склад тимчасового зберігання, а також для подачі (знімання) деталей у приймальні (вихідні) контейнери виробничих автоматів, що виконують технологічні операції.

Таким чином, транспортні роботи можуть бути цеховими (переміщують деталі в межах виробничих ліній і системи шаф зберігання виробів) і міжцеховими, призначеними для переміщення виробів відповідно до технологічного маршруту в межах виробничого комплексу підприємства I4.0.

Моніторинг діяльності виробничих автоматів на підприємствах I4.0 забезпечується обслуговуючим персоналом, що здійснює контроль за станом обладнання й технологічних процесів виготовлення, за допомогою комунікаційних пристроїв (ПК, планшет, телефон), підключених до бездротової мережі по протоколах IoT.

Аналіз рис. 3.3 показує, що базове виробниче обладнання, розміщене на підприємстві I4.0, є максимально універсальним, тобто дозволяє за досить короткий термін переорієнтувати (перепрограмувати) виробничі потужності підприємства для початку випуску нового виду виробів без істотних змін існуючої структури виробництва.

Властивість апаратної інваріантності виробничих комплексів, оснащених кіберфізичними системами, визначає принцип і можливості самоорганізації виробничих цехів як у частині зміни номенклатури виробів, що виготовляються, так і в частині запобігання відмов і несправностей, що виникають в обладнанні виробничих ліній.

Такі алгоритми самоорганізації виробничого обладнання умовно показані на рис. 3.3 у вигляді бібліотеки «проектно-виробничі ресурси», підключеної із «хмари» до інтерфейсу IoT виробничого комплексу.

Аналізуючи цю систему автоматизації цифрового «розумного» АВ I4.0,

можна виділити основні його ознаки (табл. 3.1).

Табл. 3.1 – Основні ознаки цифрового «розумного» АВ І4.0

Ознака	Коротка характеристика
1	2
Економічні ознаки (бізнес-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, удосконалювання процесів і прогнозування показників продуктивності за допомогою об'єднання потужних можливостей віртуального середовища й реального світу, де люди використовують машини для трансформації виробництва. Тобто для безперервного вдосконалювання виробництва потрібна постійна його оптимізація. При цьому недостатньо самого прагнення до безперервного вдосконалювання, а необхідні ресурси й технології для досягнення цієї мети.
Нові бізнес-моделі управління виробництвом	Засновані на тім, що цінність визначається не тільки самим виробом, але й знаннями й ноу-хау, які пов'язані із цим виробом. Успішними стають ті компанії, які оперативно впроваджують знання й ноу-хау серед своїх співробітників і в ланцюжках створення цінності. При цьому ці ланцюжки мають розгортатися у мережі, які об'єднуюватимуть можливості реального й віртуального світів для розробки, впровадження й спільного використання стійких інновацій, а також для безперервного вдосконалювання цих можливостей за допомогою аналітики користувальницького досвіду (горизонтальна інтеграція структурної моделі бізнесу – value networks).
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 табл. 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 табл. 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 екскурсоводи, цифровий метавсесвіт), або вимагають використання при виготовленні нових технологій (3D-принтери металом або цифрове моделювання процесів).

Розроблений перелік основних властивостей (ознак) цифрового «розумного» АВ І4.0 дає достатнє уявлення про його переваги перед АВ І3.0 в цілому. Тобто на основі цих ознак вже можна виконувати загальний порівняльний аналіз обох типів виробництв (з точки зору автоматизації їх процесів). Але для навчального порівнювального аналізу треба розробити більш складний його алгоритм, який би враховував ще і структурну будову автоматизованого виробництв, що включає компоненти різної природи – процеси, обладнання, функції, дані тощо.

3.2 Розробка алгоритму виконання аналізу

Яку ж структурну будову слід вибрати в якості основи для виконання порівнювального аналізу – структуру існуючого типу АВ І3.0, чи структуру типу «розумного» АВ, створеного за концепцією І4.0?

На наш погляд, буде більш доцільним взяти за взірць структурної будови саме кінцевий варіант типу АВ І4.0, тобто той, що має бути отриманий в результаті цифрової трансформації існуючого типу реального АВ 3.0. По-перше, властивості (ознаки) цифрового «розумного» АВ І4.0 ідеально суміщаються саме з цією структурою. По-друге, відсутність будь-якого компоненту структури АВ І4.0 у складі структури існуючого типу АВ І3.0 можна буде зразу вважати його недоліком, тобто процес аналізу значно спрощується.

Як було відмічено у першому розділі, структурну будову цифрового «розумного» підприємства та цифрового «розумного» АВ зараз регламентують декілька стандартних архітектурних моделей, які називаються референтними [1-3]. Розглянемо одну з них, що орієнтована саме на цифрове промислове виробництво.

Референтна модель Reference Architecture Model for Industry 4.0 (RAMI 4.0) описує нейтральну щодо подальшої реалізації найкращу (рекомендовану) архітектурну модель для тих додатків, що використовують Інтернет Речей (IoT), аналітику великих даних та інші технологічні новації у виробничих процесах і які відомі зараз під назвою «розумне виробництво», «інтелектуальне виробництво» та просто «Індустрія 4.0» (І4.0) [1]. 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 (див. рис. 1.1), базується на тривимірній 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.

Шари архітектурної моделі RAMІ4.0 (див. рис. 1.1), організовані уздовж вертикальної осі і відображають різні керуючі шари інформаційних технологій (ІТ) проєкту конкретного рішення АВ І4.0.

Тому в процесі цифрової трансформації типу реального АВ І3.0 в якості структурних компонентів для його порівнювального аналізу доцільно використовувати саме ті архітектурні компоненти, що відображені на референтній моделі RAMІ4.0, 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 типі АВ І3.0, їх порівнювальний аналіз з властивостями «розумного» АВ І4.0 та означення виявлених недоліків має проводитись здобувачем у певному порядку.

На рис. 3.4 та в додатку В наведений алгоритм виконання здобувачем за участі викладача даної стадії цифрової трансформації, який пропонується для використання у новому НЗ. Як було вже відмічено вище, здобувач, починаючи виконувати цю стадію цифрової трансформації, повинен вже детально вивчити відповідний комплект різних комп'ютерних моделей типу АВ І3.0 та сформулювати своє особисте уявлення про його будову та принцип дії.

На першому етапі виконання стадії аналізу типу АВ І3.0 здобувач повинен вибрати певну точку зору, з якої він буде далі його розглядати. Точка зору здобувача визначає наступним чином. Спочатку на вісі «Life Cycle» архітектурної

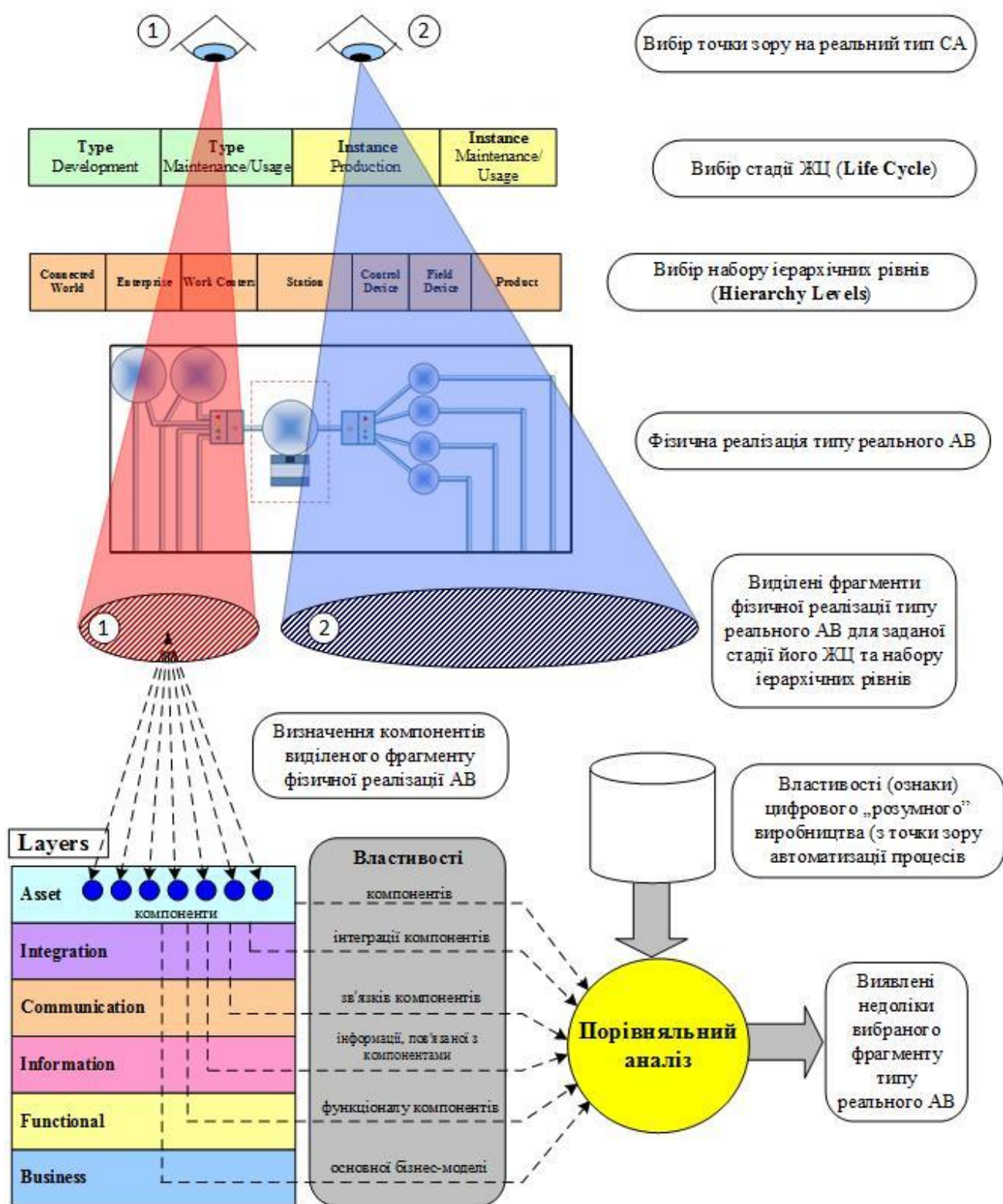


Рис. 3.4 – Алгоритм виконання стадії «Аналіз типу АВ І3.0»

моделі RAMI 4.0 здобувач вибирає одну з чотирьох стадій життєвого циклу АВ – або стадію «Development» для типу СА, або стадію «Maintenance/Usage» для типу АВ, або стадію «Production» для екземпляру АВ, або стадію «Maintenance/Usage» для екземпляру АВ. Вибравши стадію, здобувач фіксує у часі відповідний стан реального АВ, який і буде далі аналізувати.

Далі здобувач вибирає один або кілька ієрархічних рівнів на вісі «Hierarchy Levels» архітектурної моделі RAMI4.0, що дозволить виділити у фізичній реалізації типу АВ І3.0 окремий її фрагмент, наприклад, або наявні керуючі пристрої (Control Device) разом з наявними польовими пристроями (Field Device), або тільки робочі станції (Station), або всі названі вище рівні разом. При збільшенні вибраного набору рівнів вміст вибраного фрагменту типу АВ І3.0 буде розширюватися та ускладнюватися, що логічно впливатиме на складність його подальшого аналізу.

Для прикладу на рис. 3.4 показаний вибір двох точок зору на тип АВ І3.0 для виконання подальшого аналізу:

1). На стадії «Maintenance/Usage» життєвого циклу (ЖЦ) типу (Type) даного АВ розглядається його фізична реалізація, що включає компоненти рівня «Підприємство» (Enterprise) та компоненти рівня «Робочі центри» (Work Centers).

2). На стадії «Production» життєвого циклу екземпляра (Instance) даного АВ розглядається його фізична реалізація, що включає компоненти рівня «Станція» (Station), компоненти рівня «Керуючий пристрій» (Control Device), компоненти рівня «Польовий пристрій» (Field Device) та компоненти рівня «Продукт» (Product),.

На наступному етапі здобувач аналізує будову вибраного фрагменту фізичної реалізації типу АВ І3.0 і визначає в ній основні складові компоненти, які стосуються або фізичної реалізації АВ І3.0, або фізичної реалізації ТЗА, або обох цих частин типу АВ І3.0.

Визначені компоненти здобувач умовно переносить у шар «Актив» (Asset) осі «Шари» (Layers) архітектурної моделі RAMI 4.0, щоб далі у інших шарах архітектурної моделі описати різні властивості окремих компонентів чи їх груп:

- у шарі «Актив» (Asset) треба описати загальні властивості окремих

компонентів (назва, призначення і т.п.) вибраного фрагменту АВ ІЗ.0;

- у шарі «Інтеграція» (Integration) треба описати властивості інтеграції окремих вибраних компонентів у єдине ціле (якщо ця інтеграція є) з метою виконання типом АВ ІЗ.0 своєї основної задачі;

- у шарі «Зв'язок» (Communication) треба описати властивості різного роду зв'язку або між компонентами вибраного фрагменту типу АВ ІЗ.0, або між ними і зовнішніми компонентами, які не увійшли у вибраний фрагмент АВ ІЗ.0, що дозволяє типу АВ ІЗ.0 виконувати свою основну задачу;

- у шарі «Інформація» (Information) треба описати властивості тієї інформації (форма представлення, зміст, обсяг, часові параметри і т.п.), яка пов'язана з окремим вибраним компонентом або з групою вибраних компонентів і використовується в типі АВ ІЗ.0 для виконання його основної задачі;

- у шарі «Функціонал» (Functional) треба описати властивості вибраних окремих компонентів чи їх груп з точки зору виконуваних ними функцій при виконанні типом АВ ІЗ.0 його основної задачі;

- у шарі «Бізнес» (Business) треба описати властивості тієї бізнес-моделі, яку забезпечує тип АВ ІЗ.0 в ході виконання своєї основної задачі.

Коли всі основні властивості вибраних компонентів або їх груп будуть визначені у кожному шарі архітектурної моделі RAMІ 4.0, здобувач може переходити до виконання їх аналізу у порівнянні з відповідними властивостями (ознаками) цифрового «розумного» АВ 4.0.

Цей перелік наведений вище (див. табл. 3.1), він складається заздалегідь здобувачем або викладачем шляхом дослідження (з точки зору автоматизації виробничих процесів) предметної області «Цифрове «розумне» АВ».

В результаті такого порівняння поступово формується перелік виявлених недоліків типу АВ ІЗ.0 в цілому чи його окремих компонентів у порівнянні з «розумним» АВ 4.0 чи з окремими його компонентами з референтної архітектурної моделі RAMІ4.0.

Розглянемо приклад практичного застосування запропонованої методики проведення аналізу існуючого типу АВ ІЗ.0.

3.3 Приклади виконання аналізу типу АВ 3.0

Розглянемо приклади використання запропонованого алгоритму. Візьмемо спочатку фрагмент реалізації типу АВ ІЗ.0, що включає частину трубопровідної транспортної системи, яка обслуговує фазу 1 основного ТП промислового виробництва рідкої хімічної продукції (рис. 3.5). Ця трубопровідна транспортна система призначена для перекачування реагенту D з ємності локального зберігання «Tank D» через вентиль «VEN_D» та насос «PUMP_IN» до хімічного реактора «Reactor».

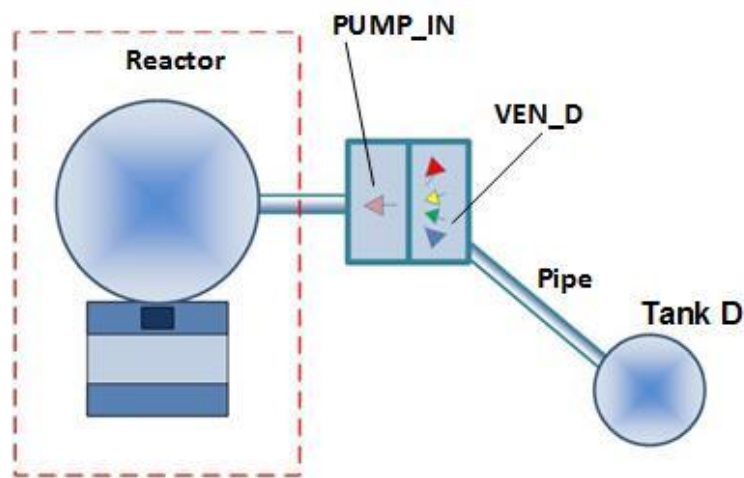


Рис. 3.5 – Вибраний для аналізу фрагмент типу реального АВ

Спочатку, згідно з описаним вище алгоритмом, виділимо усі складові компоненти даного фрагменту фізичної реалізації типу реального АВ. Для цього прикладу їх буде п'ять – ємність локального зберігання реагенту D («Tank D»), вентиль подачі даного реагенту до хімічного реактора («VEN_D»), трубопровід («Pipe»), електричний насос подачі реагенту до хімічного реактора («PUMP_IN») та хімічний реактор («Reactor»).

Тепер розподілимо ці компоненти по групах так, щоб ці групи відповідали конкретному ієрархічному рівню (Hierarchy Levels) моделі RAMI4.0 (рис. 3.6 та додаток В). Отримаємо дві групи – група «Product», до якої входять компоненти «Reactor», «Tank D» і «Pipe», та група «Field Device», до якої входять «VEN_D»

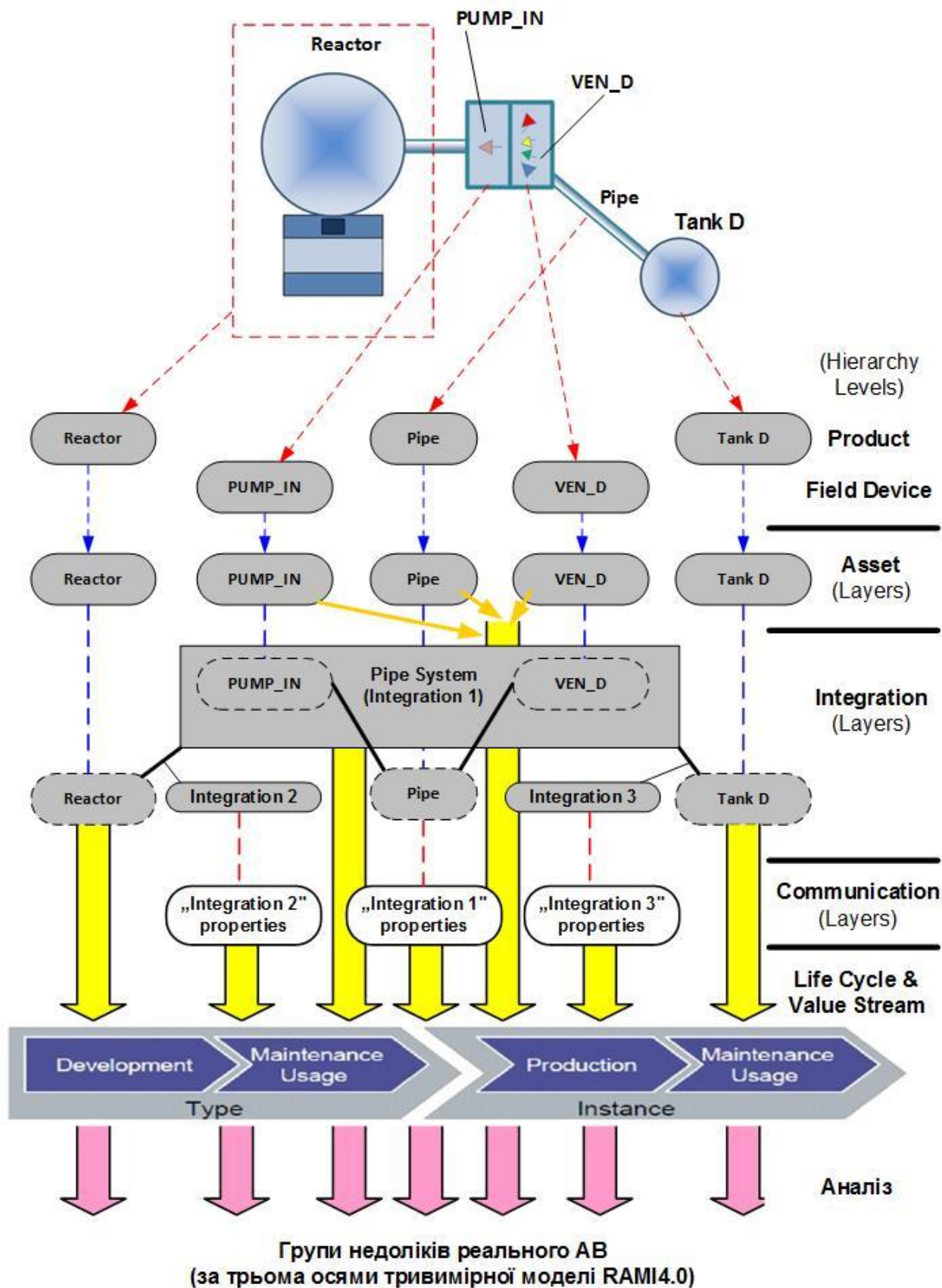


Рис. 3.6 – Приклад виконання порівнювального аналізу
для фрагмента типу АВ І3.0

та «PUMP_IN».

Далі переходимо до осі «Layers» моделі RAMI4.0, означуючи на ній відповідні активи/ресурси даного фрагменту фізичної реалізації типу реального АВ трубопровідної транспортної системи, які важливі для побудови ІТ-інфраструктури системи автоматизації. Для нашого прикладу, беручи до уваги мету цих дій, ми переносимо усі п'ять компонентів з двох ієрархічних рівнів у шар «Asset» вісі «Layers». Якщо б був присутній компонент з рівня «Control Device», який керує насосом та вентилем, то в шарі «Asset» треба було б означити і цифрові дані, які важливі для їх сумісної роботи. В нашому ж прикладі у виділеному фрагменті фізичної реалізації АВ такого керуючого пристрою немає.

Переходимо далі по вісі «Layers» у шар «Integration». Тут можна означити ті об'єднання компонентів, тобто наявну їх інтеграцію, що має значення для виконання основної задачі типом реального АВ. В нашому випадку важливі три об'єднання компонентів (інтеграції компонентів):

- «Pipe», «VEN_D» та «PUMP_IN» у трубопровідну систему (Pipe System);
- «Reactor» з «Pipe System»;
- «Tank D» з «Pipe System».

Треба відмітити, що у шарі «Integration» для цифрового «розумного» АВ І4.0 має відображатися його інтеграція або через мережу Інтернет з іншими цифровими «розумними» виробництвами, або через відповідні засоби НМІ з працівниками даного виробництва. У нашому ж випадку ми дещо змінюємо призначення цього шару архітектурної моделі RAMI4.0 з метою уможливлення подальшого всебічного порівняльного аналізу типу АВ І3.0, який побудований зовсім за іншою архітектурною моделлю.

Далі переходимо у шар «Communication», де описуємо тим чи іншим способом властивості відповідного роду зв'язку між компонентами, який забезпечує утворення виділених вище інтеграцій компонентів (виконуємо специфікацію цього зв'язку).

Таким чином, у нас сформований такі групи компонентів фрагменту фізичної реалізації типу реального АВ для проведення їх аналізу у порівнянні з

властивостями «розумного» АВ:

- «Pipe», «VEN_D», «PUMP_IN», «Reactor» та «Tank D» (компоненти ієрархічних рівнів АВ);
- «Pipe», «VEN_D», «PUMP_IN», «Reactor» та «Tank D» (компоненти шару «Asset» вісі «Layers» ІТ – інфраструктури АВ);
- «Integration 1», «Integration 2», «Integration 3», «Pipe System» (компоненти шару «Integration» осі «Layers» ІТ – інфраструктури АВ);
- «Integration 1 properties», «Integration 2 properties» та «Integration 3 properties» (компоненти шару «Communication» осі «Layers» ІТ – представлення АВ).

Будемо далі проводити порівняльний аналіз компонентів кожної групи для вибраної стадії життєвого циклу типу АВ І3.0, формуючи поступово перелік його недоліків. Нижче для прикладу наведемо тільки окремі з цих недоліків.

Компонент «Integration 1», як частина ІТ - інфраструктури АВ І 3.0 (шар «Integration»), для стадії використання (Usage) АВ у порівнянні з властивістю/ознакою «Висока якість продукції» аналогічного цифрового «розумного» АВ (див. таблицю 3.1) має такий недолік: закачування до хімічного реактора потрібних реагентів для виготовлення різних видів готової продукції відбувається через єдиний електричний насос та загальну частину трубопроводу, із-за чого можливе попадання реагентів від попередньої продукції одного виду до наступної порції продукції іншого виду, що призведе до появи браку.

Також при розгляді компоненту «Integration 3 properties» як частини ІТ – інфраструктури АВ І3.0 (шар «Communication») у порівнянні з властивістю/ознакою «Абсолютна гнучкість виробничих процесів» аналогічного типу цифрового «розумного» АВ (див. таблицю 3.1) можна виявити такий недолік: система трубопроводу жорстко кріпиться до обмеженої кількості ємностей локального зберігання реагентів (для прикладу це «Tank D»), що унеможливорює або суттєво ускладнює можливий перехід виробництва на нові види продукції – треба збільшувати кількість ємностей локального зберігання реагентів, розвивати систему трубопроводу і т.п., а це треба буде робити щоразу,

як на виробництві вирішать змінити асортимент готової продукції або перейти на нову бізнес-модель ведення господарської діяльності..

Усі перелічені недоліки вибраного фрагменту фізичної реалізації типу реального АВ ІЗ.0 насправді складають невелику частку тих недоліків, які можна виявити шляхом ретельного порівнювального аналізу усіх компонентів даного типу АВ.

3.4 Висновки до розділу

В результаті виконання проєктних робіт у даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи було сформоване загальне бачення процесу виконання стадії «Аналіз типу АВ ІЗ.0» при дослідженні цифрової трансформації типу реального хімічного АВ. На основі цього бачення був розроблений детальний алгоритм виконання робіт здобувачем та викладачем в рамках даної стадії навчального дослідження. Для пояснення практичного застосування такого алгоритму наведений приклад виконання порівняльного аналізу деякого фрагменту фізичної реалізації існуючого типу АВ ІЗ.0 та виявлення основних його недоліків.

4 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ТИПУ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА І3.0»

4.1 Означення основних діяльностей

На цій стадії дослідження цифрової трансформації типу АВ І3.0 здобувач та викладач мають виконувати певну послідовність обов'язкових діяльностей для досягнення кінцевої мети – набуття здобувачем потрібного обсягу теоретичних знань та практичного досвіду, достатніх для самостійного виконання цифрової трансформації на реальному промисловому підприємстві (рис. 4.1 та додаток В). Виконання даної стадії практичного вивчення починається з етапу «Пошук способу/способів цифрової трансформації типу АВ І3.0». Цей тип АВ побудований за концепцією І3.0 і тому має суттєві недоліки, що були виявлені на попередній стадії. Тому в результаті його цифрової трансформації потрібно отримати більш досконалий тип АВ, побудований вже за концепцією І4.0. Даний етап здобувач повинен виконувати самостійно, але викладач має обов'язково надавати йому відповідний навчально-методичний матеріал, консультації та додаткові роз'яснення.

Після того, як здобувач намітить шляхи вдосконалення існуючого типу АВ І3.0, вибравши спосіб/способи цифрової трансформації, він має визначити І4.0 цифрову технологію або технології для реалізації вибраного способу/способів. Щоб кваліфіковано здійснити цей вибір здобувач обов'язково повинен ретельно дослідити предметну область цифрового «розумного» АВ І4.0, 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 знайдені, то здобувач переходить до виконання наступного етапу – «Розробка концепції цифрової трансформації типу АВ І3.0». На цьому етапі для представлення свого бачення цієї концепції здобувач може використовувати як

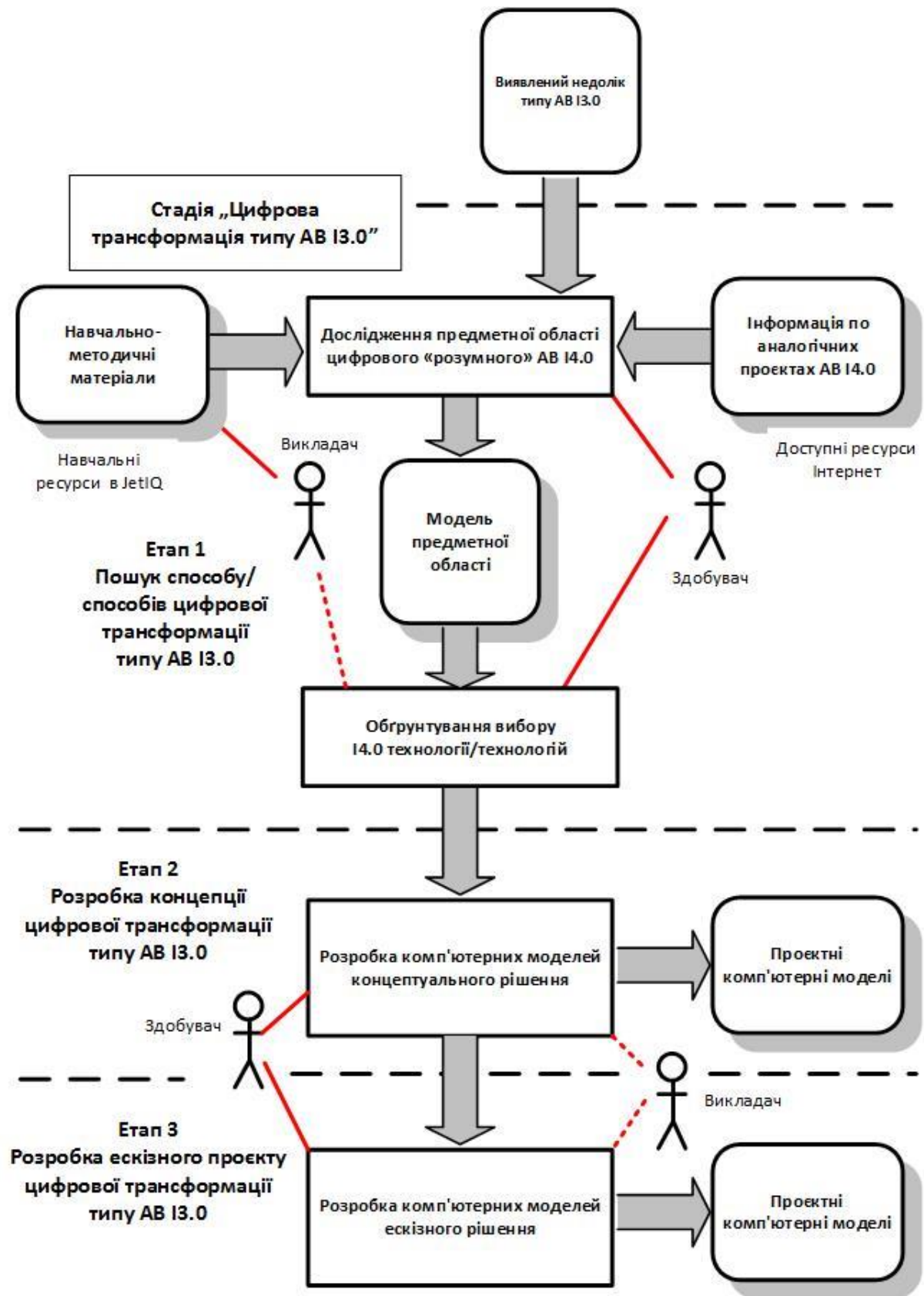


Рис. 4.1 – Модель діяльностей заключної стадії дослідження цифрової трансформації типу АВ І3.0

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 типу АВ І3.0, буде першим результатом практичного вивчення здобувачем процесу цифрової трансформації за допомогою нового НЗ.

Далі здобувач зможе на основі концептуального рішення цифрової трансформації типу АВ І3.0 виконати наступний етап дослідження – «Розробка ескізного проєкту цифрової трансформації типу АВ І3.0». Цей етап характеризується більшою деталізацією проєктних рішень і також передбачає активне використання здобувачем як «хмарної» інструментальної платформи «Siemens Tecnomatix Plant Simulation», так і наявних локальних програмних засобів такого моделювання. Результатом діяльності здобувача на цьому етапі є ескізний проєкт цифрової трансформації типу АВ І3.0, який повинен бути представлений у вигляді відповідних комп'ютерних моделей, що описують його устрій та принцип дії (наприклад архітектура ПЗ, структура технічних засобів, цифрова симуляція роботи АВ). Усі розроблені здобувачем комп'ютерні моделі ескізного проєкту повинні мати формат, який дозволяє викладачу переглядати їх або на комп'ютерах навчальної лабораторії, або на доступній інструментальній платформі «Siemens Tecnomatix Plant Simulation», або за допомогою наявних локальних програмних засобів моделювання.

Таким чином, ескізний проєкт стане заключним результатом дослідження цифрової трансформації типу АВ І3.0 на новому 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 АВ І4.0

Ця діяльність є однією з найбільш складних та тривалих в ході виконання даної стадії дослідження цифрової трансформації типу АВ І3.0. Вона пов'язана не

тільки з трудомістким процесом збирання потрібної інформації та її відповідного оброблення, але і з тривалим процесом поступового її осмислення здобувачем та накопичення ним потрібних теоретичних знань, обсяг яких далі може перерости у нову якість – здатність здобувача самостійно вирішити конкретну задачу цифрової трансформації. Для проведення даного дослідження предметної області цифрового «розумного» АВ І4.0, на наш погляд, найкращим науковим методом є метод онтологічного аналізу, який дозволяє на основі вибраної концепції досить швидко виявляти базові поняття предметної області (базові об'єкти) та базові відношення між ними (базові «зв'язки»). Якщо ж здобувач в ході дослідження будуватиме ще і відповідну графічну концептуальну онтологічну модель, то це сприятиме глибшому осмисленню ним цієї інформації та формуванню більш глибокого розуміння суті типу АВ І4.0. На рис. 4.2 та в додатку В показана схема проведення такого дослідження.

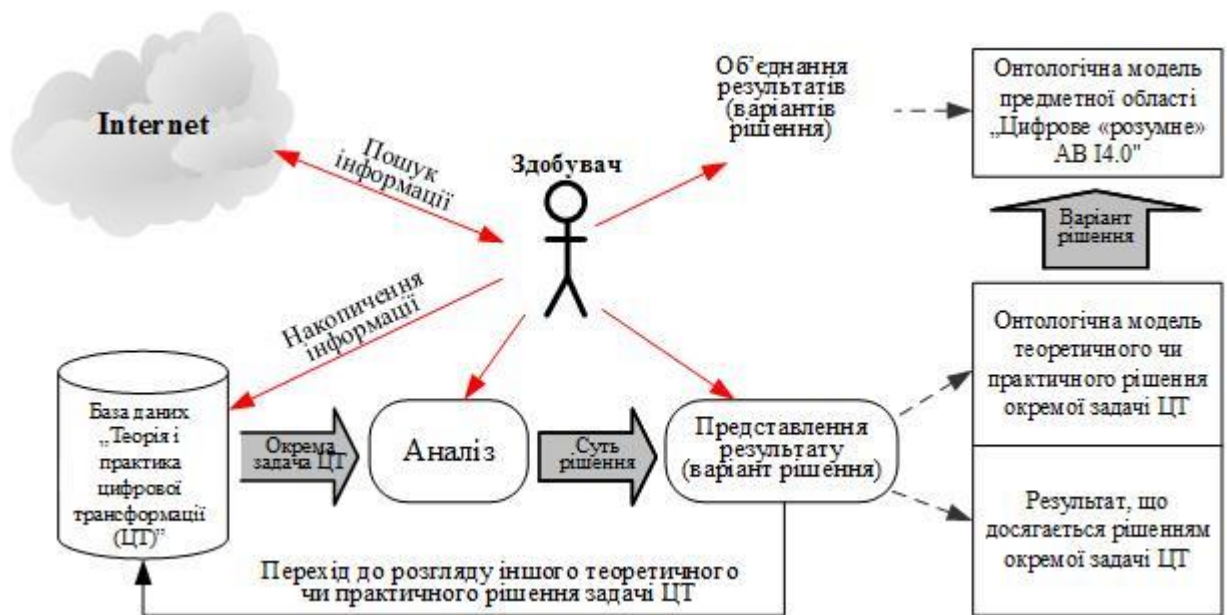


Рис. 4.2 – Схема проведення онтологічного дослідження

В якості джерел інформації для онтологічного дослідження використовуються чисельні Інтернет - ресурси, пошук на яких здобувач може здійснювати за допомогою штатних інструментів ОС Windows. Знайдену інформацію по цифровому «розумному» АВ І4.0 здобувач вносить у базу даних

«Теорія і практика цифрової трансформації (ЦТ)». Паралельно з подальшим пошуком інформації і її накопиченням, здобувач виконує послідовний аналіз всіх знайдених практичних рішень окремих задач ЦТ, будує для кожного такого рішення відповідну онтологічну модель, що відображає концепцію застосованого способу ЦТ, та фіксує той позитивний результат, який досягається цим способом для окремої задачі ЦТ. Такий окремий результат дослідження буде вважатися одним із багатьох можливих варіантів рішення конкретної задачі ЦТ.

Крім описаних дій, здобувач може проводити і узагальнення отриманих результатів дослідження варіантів рішення задач ЦТ. Наприклад, він може будувати загальну графічну онтологічну модель всієї предметної області. В першу чергу це буде сприяти поглибленню його знань в області автоматизованого виробництва І4.0, а в подальшому допоможе самостійно розв'язувати на рівні концепції будь-які складні або оригінальні задачі ЦТ.

На рис. 4.3 та в додатку В наведений варіант побудови такої графічної онтологічної моделі предметної області цифрового «розумного» АВ І4.0. В якості відправної точки її будування вибране класичне означення промислової кіберфізичної системи (КФС), яка є фундаментом автоматизованого виробництва І4.0, а саме, «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» [39]. 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 рис. 4.3 розміщена в середині моделі у площині базових об'єктів та «зв'язків» АВ І4.0.

Нижче та вище площини базових об'єктів та «зв'язків» АВ І4.0 поміщені площини, де відображується подальший розвиток промислової автоматизації цифрового «розумного» АВ І4.0 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

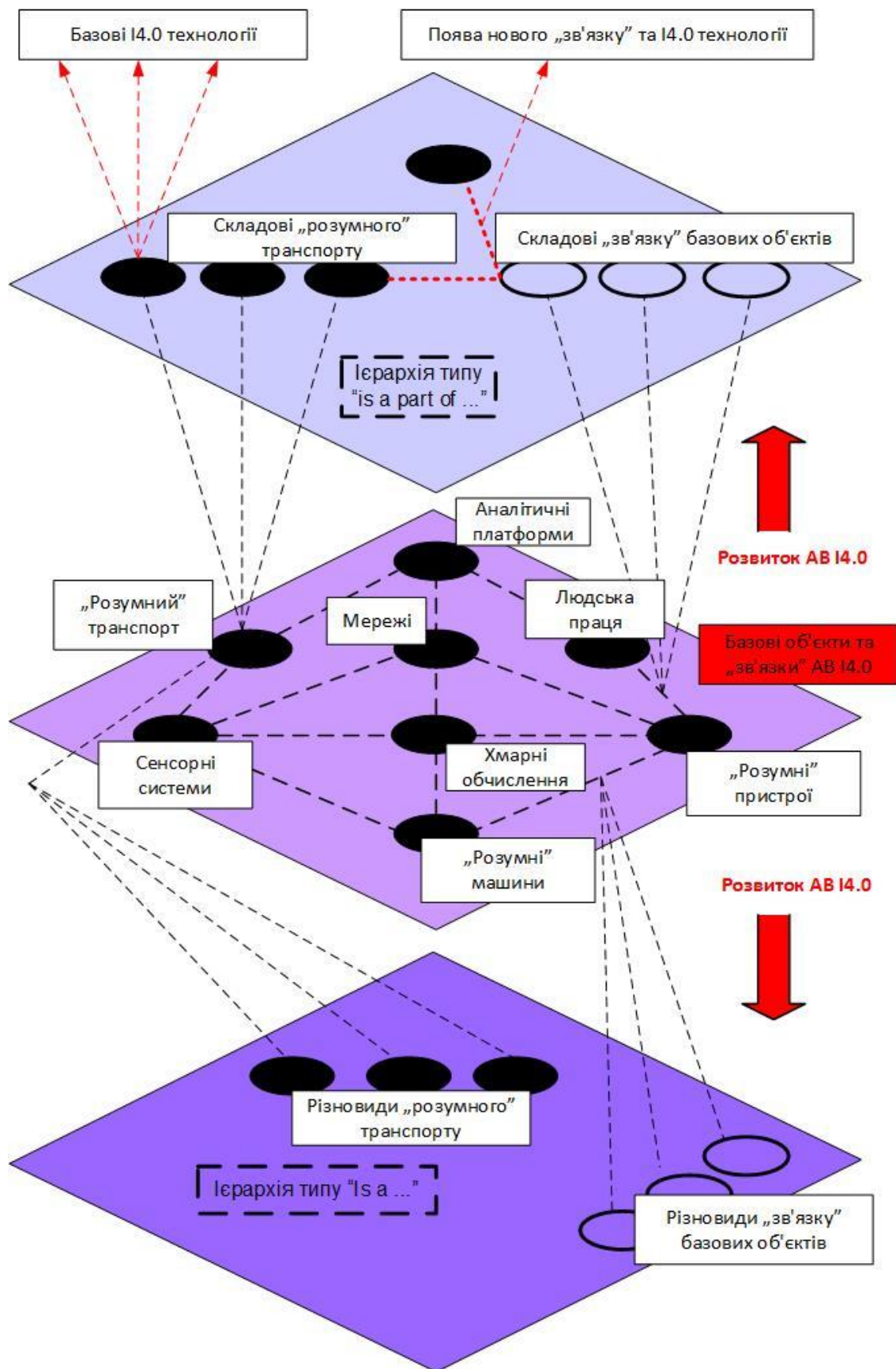


Рис. 4.3 – Варіант графічної онтологічної моделі предметної області цифрового «розумного» АВ І4.0

предметної області. Тобто ці відображення зв'язані з базовими об'єктами та «зв'язками» через ієрархію типу «is a ...» («є ... (чимось)»). По мірі розвитку АВ І4.0 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 уможливлюють реалізацію нових варіантів об'єктів та «зв'язків» АВ І4.0.

Зверху в моделі на рис. 4.3 поміщена площина, у якій відображаються складові базових І4.0 об'єктів та «зв'язків» АВ І4.0. 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 АВ призводять до інших технічних рішень вихідних базових об'єктів та «зв'язків».

Наприклад, нещодавно з'явилося нове поняття, яке означено як «AIoT», тобто додані «розумні» пристрої автоматизації, які підключені до Інтернету речей (одна складова) та виконують свої функції на основі реалізованих в них алгоритмів штучного інтелекту (друга складова). Такого інтегрованого виконання «розумних» пристроїв раніше не було.

Яким же чином здобувач може далі використовувати таку графічну онтологічну модель предметної області? По-перше, в ході оброблення інформації він вже може виявляти практичні задачі, які вирішувались при цифровій трансформації аналогічних типів АВ. При цьому він буде бачити у який спосіб вирішувались проблеми цих АВ (шлях цифрової трансформації). По-друге, здобувач буде бачити, які саме цифрові технології вирішують аналогічні задачі (на рисунку 4.3 показано угорі). По-третє, коли кількість осмисленої інформації перейде у якість, то здобувач зможе генерувати і власні ідеї.

Для прикладу у табл. 4.1 наведені результати аналізу предметної області цифрового «розумного» АВ І4.0, які відображають основні властивості (ознаки) цифрового «розумного» АВ та відповідні ті існуючі натеper способи ЦТ, які забезпечують ці властивості (ознаки).

Табл. 4.1 – Способи ЦТ для властивостей (ознак) цифрового «розумного» АВ

Властивість (ознака)	Коротка характеристика способу ЦТ
1	2
Економічні ознаки (бізнес-ознаки)	
Висока виробнича ефективність (КПЕ)	1. Нові моделі ведення бізнесу. Зниження ризиків, удосконалювання процесів і <u>прогнозування показників продуктивності</u> 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 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. 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). 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). 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).

Продовження табл. 4.1

1	2
Нові бізнес-моделі управління виробництвом	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 знання і ноу-хау, використані при створенні продукції, а також ті можливості, які виріб надає споживачеві. 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>. 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). 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. 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. 6. Використання алгоритмів машинного навчання й аналітики для оптимізації використання виробничих активів. 7. Широке використання цифрових соціальних мереж і методів спільної роботи. 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. 8. Гнучкі й ефективні виробничі активи. Оптимізація витрат для підвищення прибутковості. Прозорість, контроль, узгодження й автоматизація експлуатаційної діяльності. 9. Управління продуктивністю й КПЕ, пов'язаними з ощадливим виробництвом. Вертикальна інтеграція внутрішнього виробничого ланцюжку підприємства – networked manufacturing.

Продовження табл. 4.1

1	2
Висока якість продукції	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	
Цифрова виробнича система	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 табл. 4.1

1	2
Віртуалізація виробничого середовища	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. 2. Цифрові мережі створення цінності. Дозволяють усунути бар'єри між потенційними бізнес-партнерами й створити нові бізнес-моделі для надання інноваційної продукції споживачам. 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). 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»</u> активів. 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 проєктування 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.
Абсолютна гнучкість виробничих процесів	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 проєктування дає можливим швидкої інтеграції розумних активів від різних виробників. 2. Структурований контроль кожної зміни виробничих процесів.
Децентралізація (Decentralization)	1. <u>Перенесення децентралізованого та автономного прийняття рішень до машин та кіберфізичних систем</u>, в тому числі, і <u>до автономних системних елементів</u> – модулів, систем обробки матеріалів та продуктів, що розміщені де завгодно на рівні виробництва. 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. 3. <u>Дозвіл вбудованим комп'ютерам (модулям управління) надавати автономним кіберфізичним системам можливість взаємодіяти з їх виробничим середовищем через сенсори та виконавчі пристрої.</u>

Продовження табл. 4.1

1	2
Здатність до взаємодії (Interoperability)	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). 2. <u>Підключене «Розумне виробництво».</u> Має можливість підключення до глобальної мережі аналогічних виробничих систем та цифрових ланцюгів поставок.
Висока стійкість (надійність)	1. <u>Раннє попередження аварійних/нештатних виробничих подій.</u> 2. <u>Прогнозне обслуговування виробничих активів.</u>
Здатність до безперервної й нескінченної самооптимізації	1. <u>Кіберфізичні системи (Cyber-physical systems, CPS).</u> 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.
Висока функційна безпечність	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. 2. Кібернетична безпека. Цифрові методи для забезпечення кібернетичної безпеки згідно зі стандартами серії IEC 62443.
Соціальні/суспільні ознаки	
Новий характер людської праці	1. Використання автоматизованих агентів. Здійснюють оптимізацію комплексу виробничих рішень, які зазвичай приймалися людьми. 2. <u>Повне усунення ручної рутинної та важкої праці.</u> 3. Розвиток потенціалу співробітників майбутнього (збір, передача й повторне використання знань і ноу-хау для створення нових категорій екологічних рішень).
Екологічна безпечність	1. Скорочення кількості браку й відходів, що сприяє екологічно безпечнішій діяльності підприємства. 2. Застосування більш екологічно безпечних процесів, що оптимально споживають енергоресурси й зменшують забруднення навколишнього середовища
Ергономічна безпечність	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. 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.
Принципово нові продукти (продукція)	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.).

4.3 Приклад розробки концептуального рішення типу АВ І4.0

Для прикладу на рис. 4.4 показані два варіанти концептуального рішення типу АВ 4.0, що означені на графічній онтологічній моделі предметної області автоматизованого виробництва І4.0.

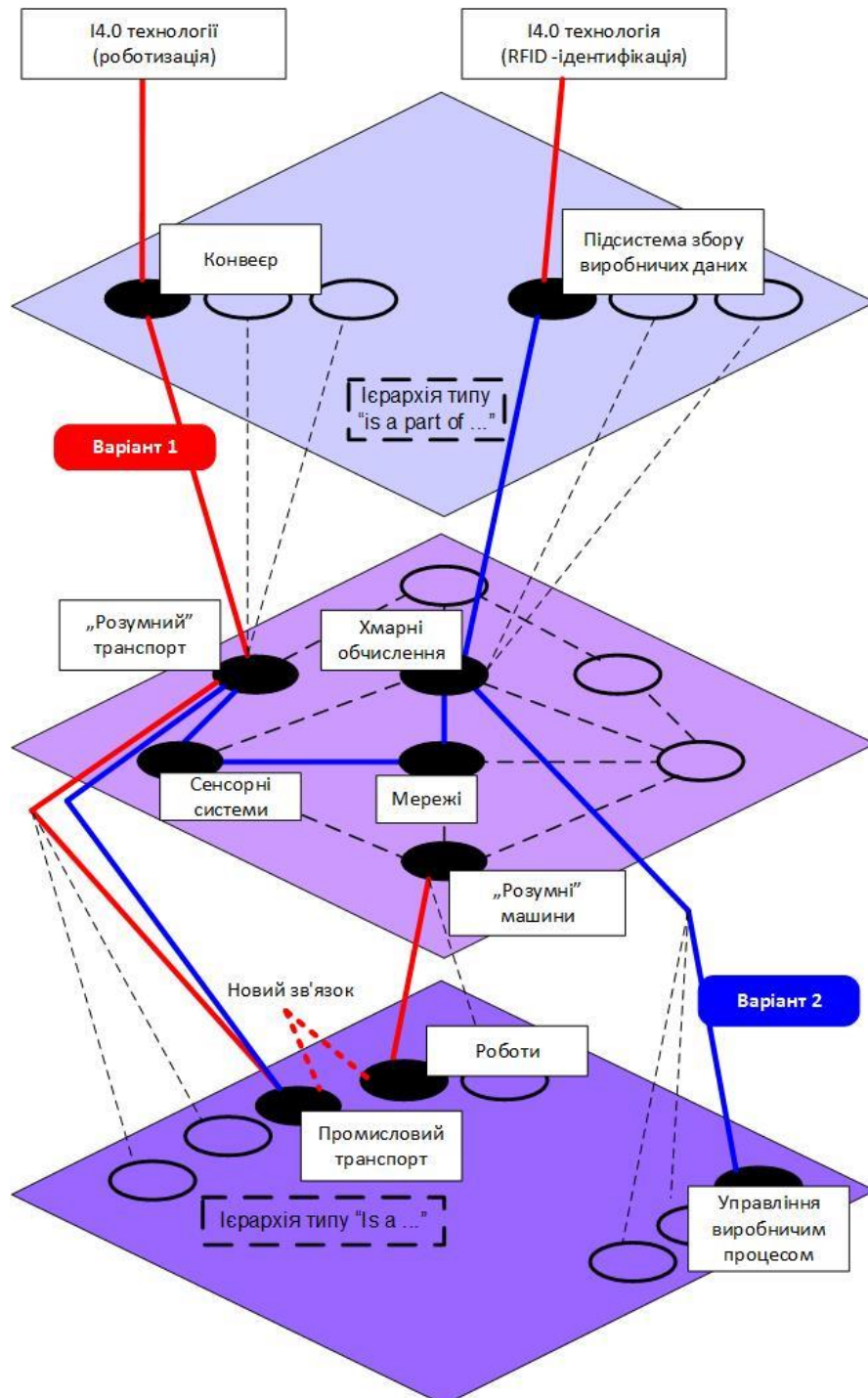


Рис. 4.4 – Спосіб означення концептуальних рішень типу АВ І4.0

Це проєктне рішення показує, що «Трубопровідний транспорт» даного типу АВ І4.0, що є різновидом «розумного» транспорту і представлений такою його частиною як «Силовий насос», може бути концептуально вдосконалений шляхом його інтеграції з сенсорною системою, яка через «Мережі» інформаційно зв'язана з «Хмарними обчисленнями», де використовується такий вид обчислень як «Цифровий аналіз сигналів», а результати цих обчислень передаються до «Аналітичної платформи», де застосовується така цифрова технологія як «Інтелектуальний аналіз та прогнозування технічного стану промислового обладнання». В результаті такого вдосконалення в новому типі АВ І4.0 можна організувати безперервний моніторинг силових насосів трубопровідного транспорту, виявляючи наявні проблеми та прогножуючи можливі виходи їх з ладу. Шляхом оперативних профілактичних та ремонтних робіт можна буде або підвищити ефективність роботи транспортної системи, або запобігти аварійним її зупинкам.

На рис. 4.5 показана вихідна онтологічна модель, яку можна покласти в основу іншого концептуального проєктування типу АВ І4.0.

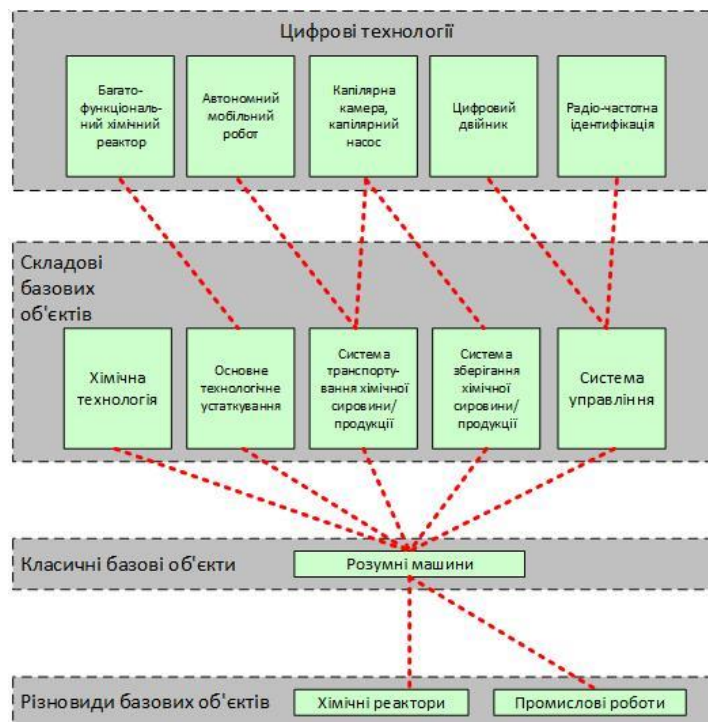


Рис. 4.5 – Вихідна онтологічна модель для розробки концепції типу АВ І4.0

Першим етапом такого проєктування є розробка концептуального рішення (концепції) типу АВ І4.0, яке дозволить означити загальне бачення нового технічного рішення. На рис. 4.6 показана загальна ідея цього рішення.

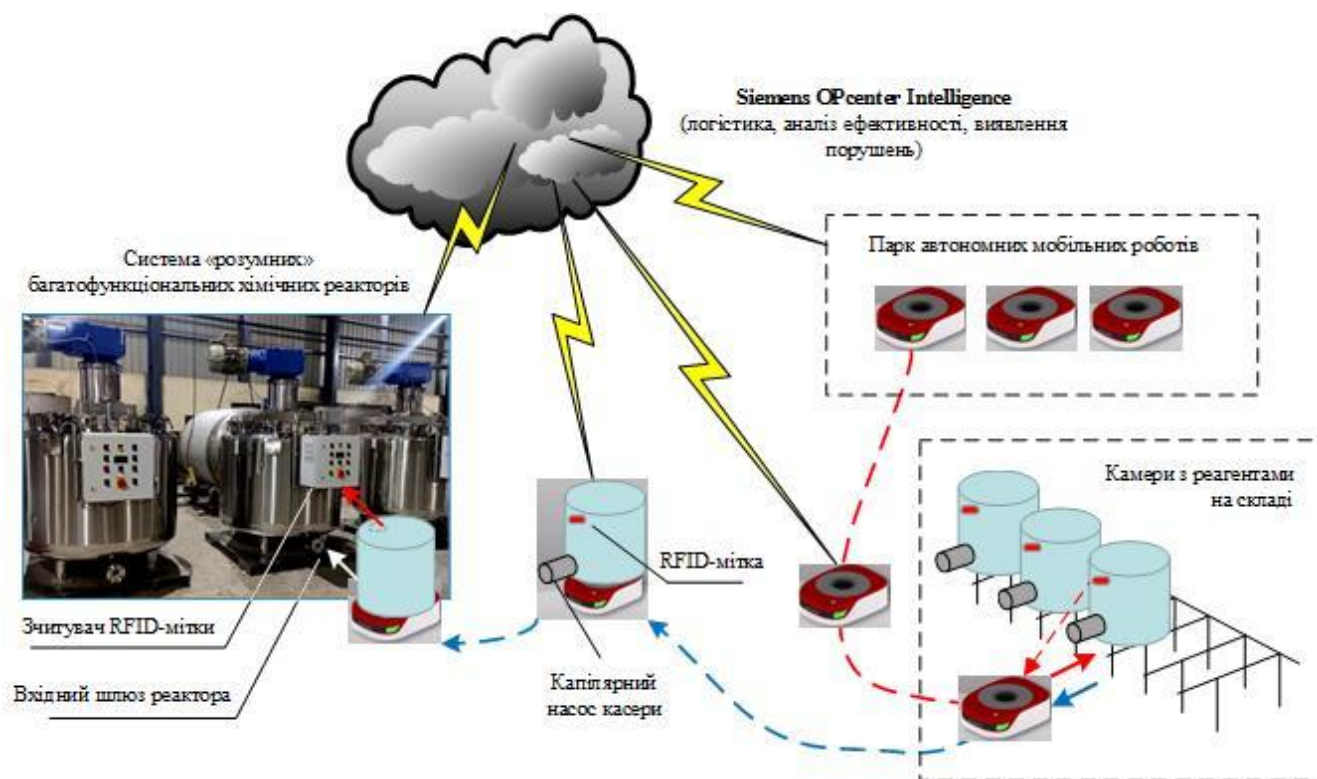


Рис. 4.6 – Ідея цифрової трансформації існуючого типу АВ І3.0

Як видно з рисунку, загальна ідея цифрової трансформації існуючого типу хімічного АВ І3.0 полягає в тім, що замість трубопроводів на цифровому «розумному» АВ І4.0 будуть використовуватися автономні транспортні роботи, які переміщують вихідні хімічні реагенти, що зберігаються на складі у спеціальних транспортних камерах невеликого об'єму, оснащеними вбудованими цифровими капілярними насосами і цифровими RFID-мітками, до того чи іншого «розумного» хімічного реактора АВ І4.0. При цьому зчитувачі RFID-міток встановлюються на кожному автономному транспортному роботі та на кожному хімічному реакторі.

Управління всією транспортною системою здійснюватиметься програмним забезпеченням, що працює на «хмарному» сервері «Siemens OPcenter Intelligence».

Воно буде наказувати кожному транспортному роботу рухатись за заданим маршрутом до конкретної камери, що зберігається на складі, завантажувати цю камеру на себе і переміщувати її за вказаним маршрутом до потрібного хімічного реактора. За допомогою цифрових міток транспортний робот знайде потрібну камеру на складі, а хімічний реактор ідентифікує той вихідний хімічний реагент, який до нього доставив транспортний робот. Тільки після того, як буде підтверджена відповідність цього реагенту поточному рецепту на виготовлення готового хімічного продукту, система дозволить закачування вихідного хімічного реагенту за допомогою цифрового насосу транспортної камери всередину хімічного реактора.

На основі цієї загальної ідеї можна запропонувати відповідне концептуальне рішення кіберфізичної системи автоматизації описаної транспортної системи (рис. 4.7), яке у довільній формі описує побудову цієї системи.

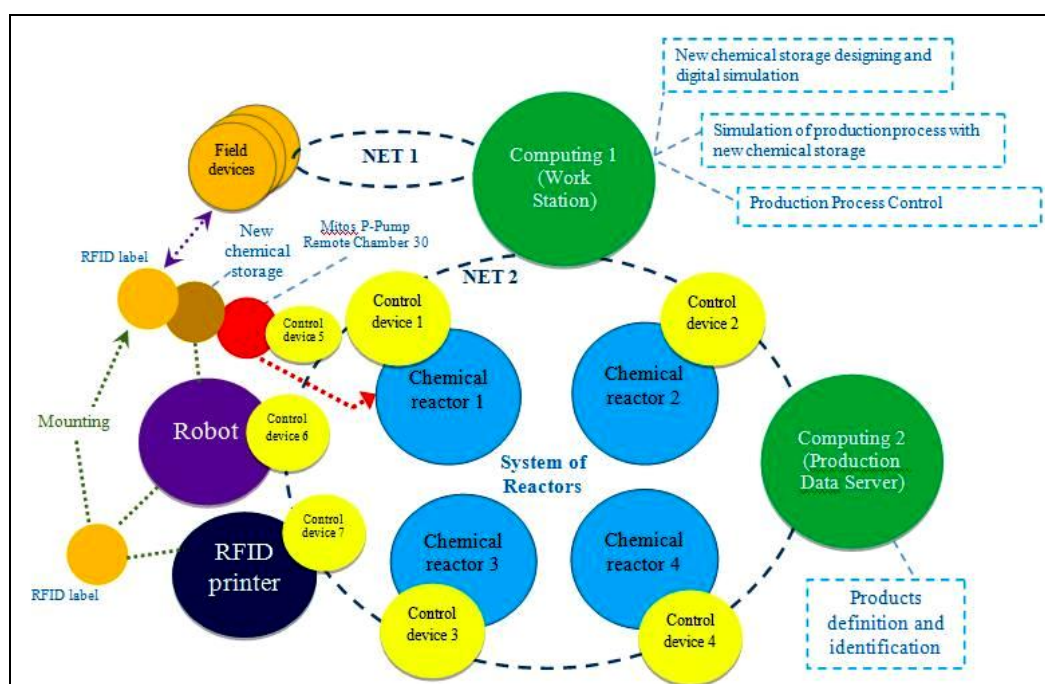


Рис. 4.7 – Концепція цифрового «розумного» транспорту для типу АВ І4.0

КФС цифрового «розумного» транспорту для нового типу АВ І4.0 складається з таких концептуальних компонентів:

- система хімічних реакторів («System of Reactors»), яка складається з чотирьох реакторів – «Chemical reactor 1», «Chemical reactor 2», «Chemical reactor 3», «Chemical reactor 4»;
- промисловий робот («Robot»);
- принтер («RFID printer») для RFID-міток («RFID label»);
- капілярні камери для зберігання/транспортування хімічних реагентів («New chemical storage»);
- капілярні насоси («Mitos P-Pump Remote Chamber 30») для точного дозування хімічних реагентів з капілярних камер;
- система безконтактних зчитувачів («Field devices») для RFID-міток, кожної капілярної камери;
- система контролерів, вбудованих у технологічне обладнання («Control device 1» хімічного реактора «Chemical reactor 1», «Control device 2» хімічного реактора «Chemical reactor 2», «Control device 3» хімічного реактора «Chemical reactor 3», «Control device 4» хімічного реактора «Chemical reactor 4», «Control device 5» одного капілярного насосу «Mitos P-Pump Remote Chamber 30», «Control device 6» промислового робота «Robot», «Control device 7» принтера для RFID-міток «RFID printer»);
- робоча станція, що виконує функції цифрового моделювання та управління ТП («Computing 1 (Work Station)»);
- сервер виробничих даних, що виконує функцію означення продуктів виробництва та їх ідентифікацію («Computing 2 (Production Data Server)»);
- бездротова мережа «NET 1» для передавання цифрових даних з системи зчитувачів RFID-міток кожної капілярної камери («Field devices») до робочої станції «Computing 1 (Work Station)»;
- дротова цифрова мережа виробництва «NET 2» для обміну цифровими даними між вбудованими у технологічне обладнання контролерами, робочою станцією «Computing 1 (Work Station)» та сервером виробничих даних «Computing 2 (Production Data Server)».

Працює такий цифровий «розумний» транспорт наступним чином.

Доставка вихідних хімічних реагентів, потрібних для виготовлення хімічної рідини за рецептом, означеним у «хмарному» сервері виробничих даних, виконується з виробничого складу автономними транспортними роботами, які перевозять на собі капілярні камери з цими реагентами до конкретного хімічного реактора. Рух цих роботів по виробництву задається і відстежується робочою станцією «Computing 1 (Work Station)». Після автоматичного під'єднання вихідного елементу капілярного насосу, який змонтований на камері, з входом відповідного хімічного реактора, (з'єднуються і гідравлічна, і електрична системи) від робочої станції «Computing 1 (Work Station)» здійснюється управління точним перекачуванням потрібної дози хімічного реагенту усередину хімічного реактора. У такий спосіб виконується поступове заповнення хімічного реактора усіма потрібними реагентами згідно з визначеною технологічною процедурою виготовлення хімічного продукту. Управління технологічним процесом конкретного хімічного реактора здійснюється вбудованим контролером за керівним рецептом, який завантажений до нього з робочої станції «Computing 1 (Work Station)».

На етапі підготовки АТП до виготовлення порції хімічного продукту сервер виробничих даних, використовуючи дані майстер рецепту, означає усі потрібні для цього хімічні реагенти та їх кількість, генеруючи цифрові ідентифікаційні коди для кожної порції цих реагентів. Ці коди передаються до принтера RFID-міток «RFID printer», який встановлений на виробничому складі, де спеціальний робот закріплює кожну з надрукованих міток на відповідну капілярну камеру, що містить у собі відповідний хімічний реагент. Після цього автономні мобільні роботи перевозять ці капілярні камери з хімічними реагентами до конкретного хімічного реактора, як це було описано вище.

На робочій станції «Computing 1 (Work Station)» передбачено також виконання на попередній стадії життєвого циклу «розумного» ТП таких функцій як розробка та моделювання окремих продуктів даного виробництва, наприклад капілярних камер («New chemical storage designing and digital simulation»), так і моделювання виробничого процесу з новим видом продукту («Simulation of

production process with new chemical storage»). Таке рішення повністю відповідає баченню «розумного» виробництва у архітектурній моделі RAMI4.0.

Після формування такого концептуального бачення технічного рішення нового типу АВ І4.0 можна перейти до наступного етапу його ескізного проєктування, зокрема, шляхом його моделювання в середовищі «Siemens Tecnomatix Plant Simulation».

4.4 Проектне моделювання типу АВ І4.0

Інструментальне середовище «Siemens Tecnomatix Plant Simulation» дозволяє деталізувати описане вище концептуальне рішення цифрової трансформації шляхом моделювання роботи транспортної системи мобільних роботів (AGV) нового типу АВ І4.0 [40-42]. Для цього у бібліотеці класів (Class Library) з переліку класів виробничих об'єктів (MUs) вибирається клас «Transporter» і у папці користувацьких об'єктів (UserObjects) створюється його екземпляр «AGV1» (рис. 4.8) [40].

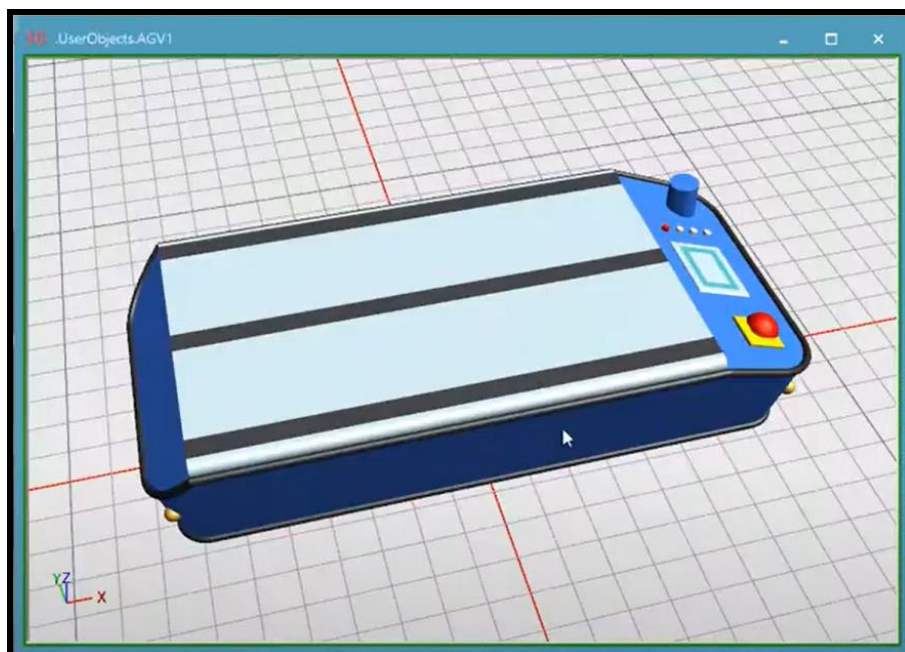


Рис. 4.8 – Тривимірне зображення моделі мобільного робота «AGV1»

Якщо два рази клацнути лівою кнопкою «миші» по цьому модельному об'єкту, то відкривається вікно його параметрів (рис. 4.9) [40]. В закладці «Attributes» задаються його розміри, швидкість руху та інші.

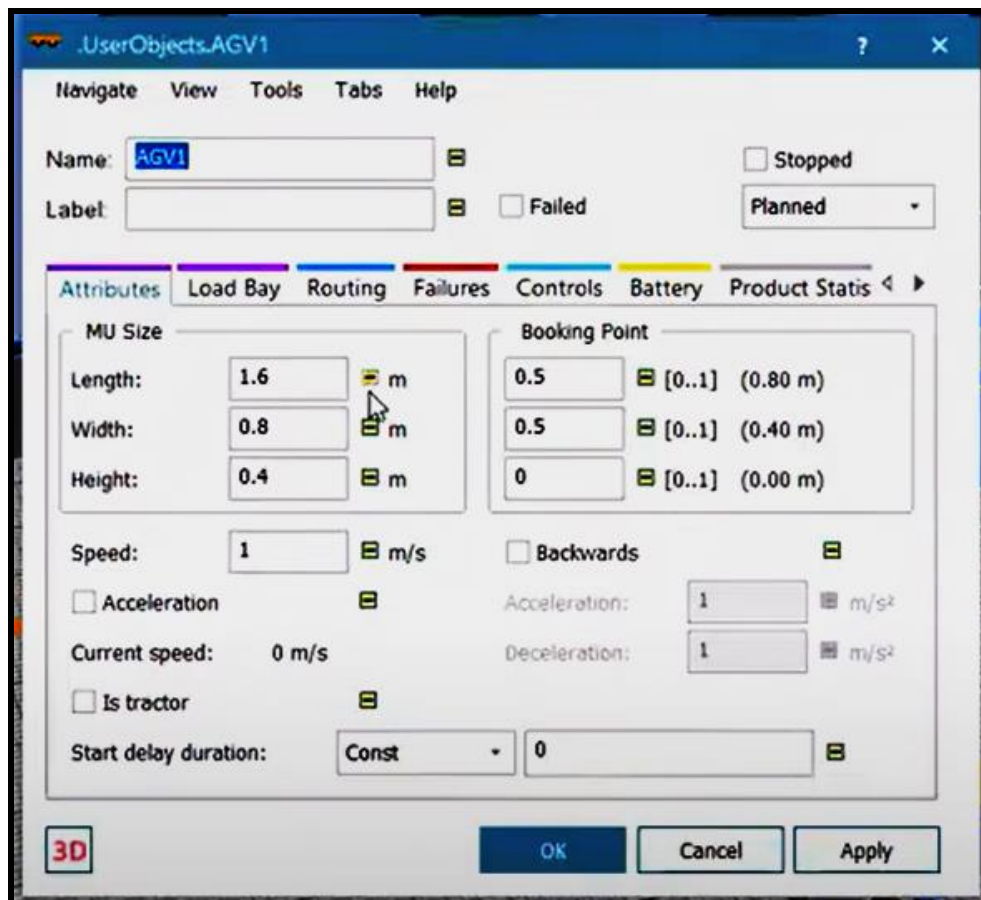


Рис. 4.9 – Закладка «Attributes» панелі налаштування моделі «AGV1»

В закладці «Load Bay» вказуються параметри вантажного відсіку мобільного робота, в закладці «Routing» вказуються параметри його маршрутизації, наприклад «Destination» – призначення маршрутизації, в закладці «Controls» вказуються параметри керування роботом, а в закладці «Battery» вказуються параметри вбудованої батареї живлення (при її наявності). В процесі моделювання роботи транспортної системи в закладці «Product Statistics» формуються статистичні показники виробничої діяльності цього екземпляру мобільного робота, а в закладці «Statistics» – статистичні показники його рухової діяльності (рис. 4.10) [40].

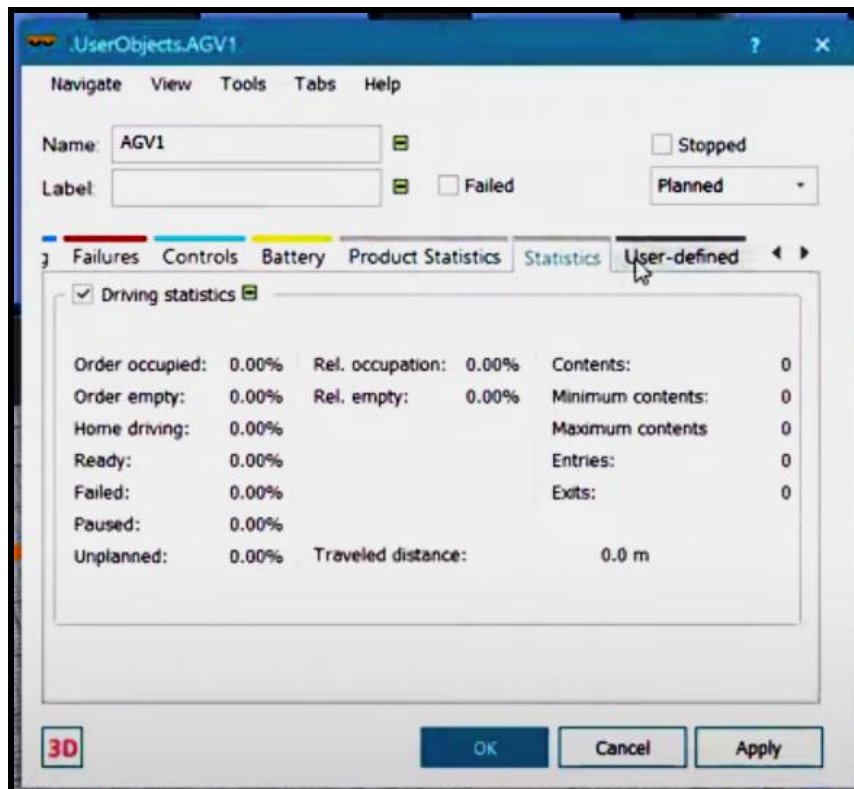


Рис. 4.10 - Статистичні показники рухової діяльності мобільного робота «AGV1»

Після створення екземпляру моделі мобільного робота «AGV1» можна в середовищі «Siemens Tecnomatix Plant Simulation» розробити потрібну імітаційну модель транспортної системи на основі таких AGV. Приклад плану такої транспортної системи показаний на рис. 4.11 [41].

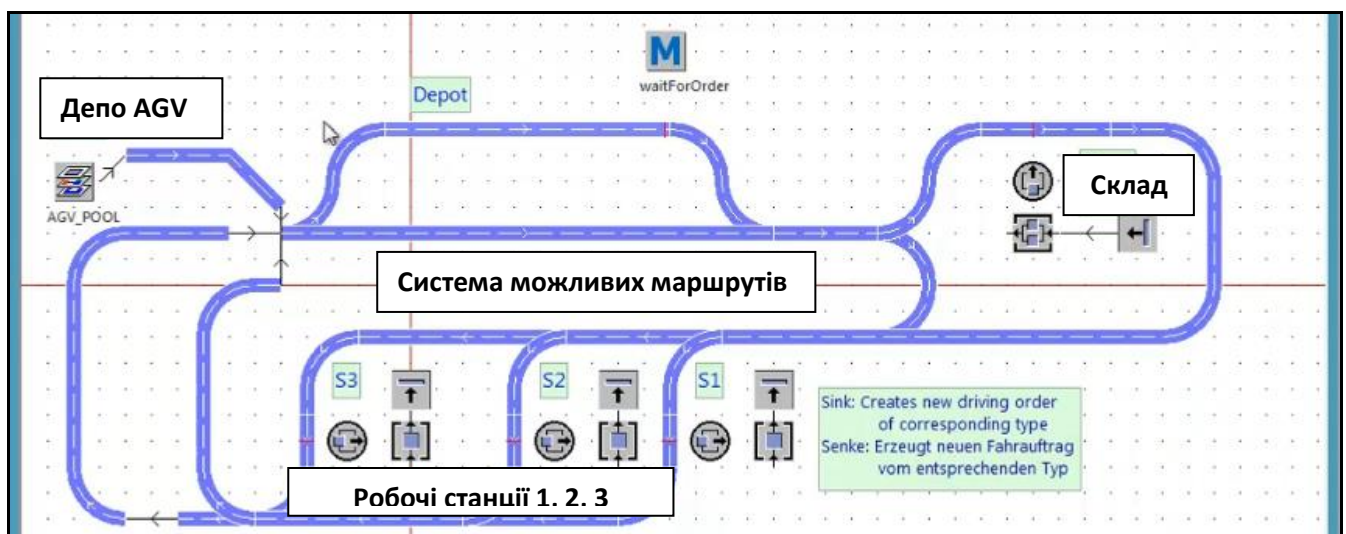


Рис. 4.11 – Загальний план транспортної системи з AGV

Програмування роботи вузлів даної транспортної системи («Депо AGV», «Склад», «Робоча станція 1» і т. д.) виконується на мові візуального програмування у спеціальних вікнах, які з'являються при подвійному клацанні лівою кнопкою «миші» на піктограмі вузла. На рис. 4.12 показане таке вікно програмування функцій вузла «Депо AGV» [41].

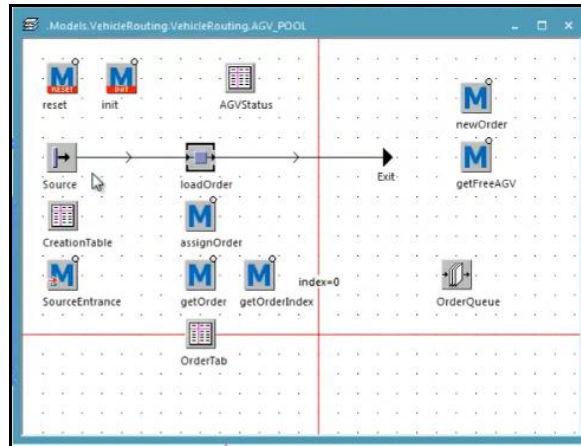


Рис. 4.12 – Вікно програмування руху AGV після виїзду з депо

Точки зупинок кожного екземпляру AGV описуються у окремій закладці панелі програмування маршрутів (рис. 4.13), яка випадає при подвійному клацанні лівою кнопкою «миші» по піктограмі «М» (Менеджер) [41].

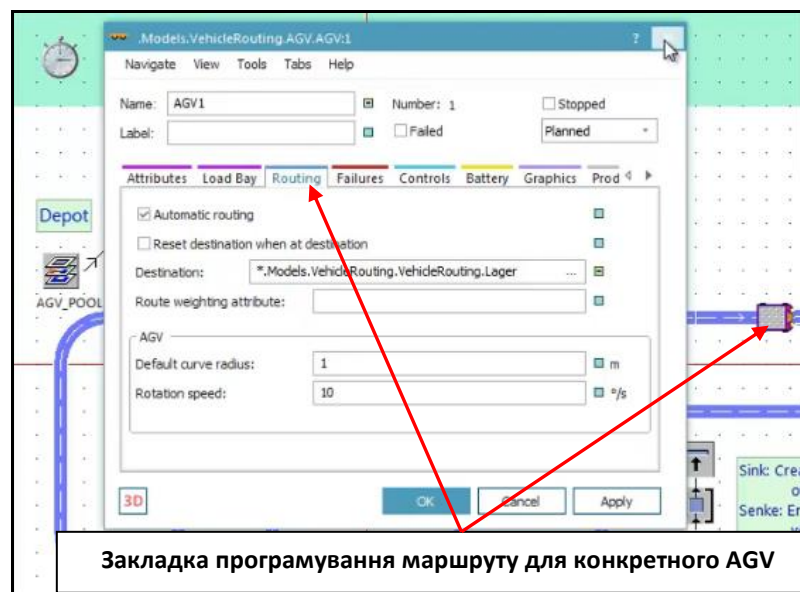


Рис. 4.13 – Програмування маршруту руху екземпляру AGV

Після налаштування роботи транспортної системи на двовимірній моделі виробничого приміщення можна згенерувати по ній і тривимірну її модель (рис. 4.14) [41].

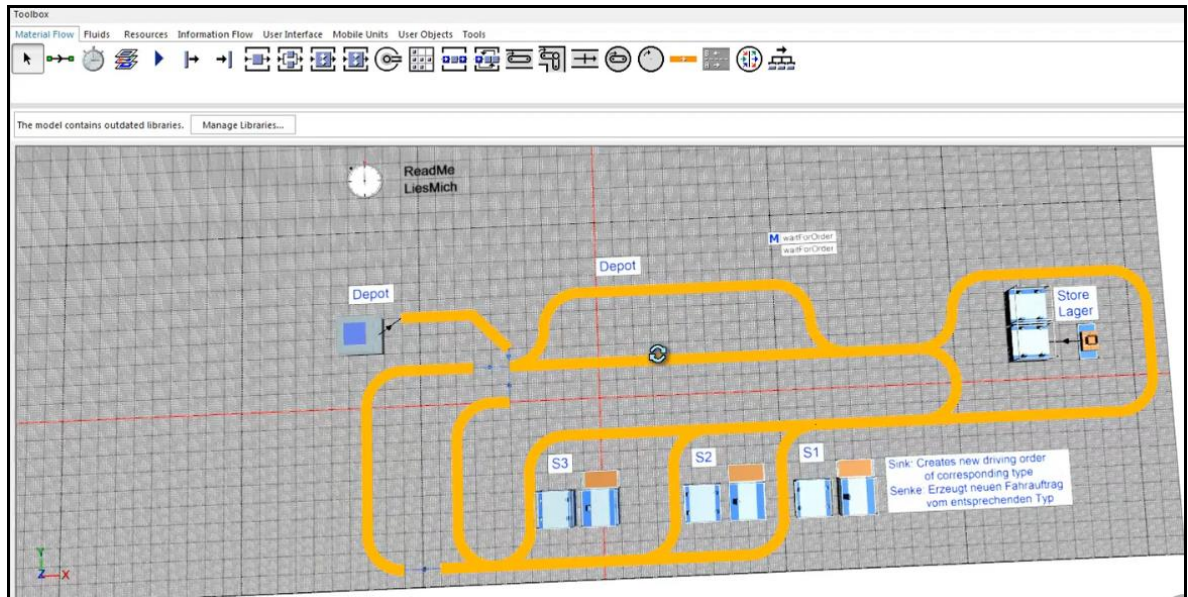


Рис. 4.14 – Тривимірна модель транспортної системи з AGV

Після цього можна запустити цю тривимірну модель у дію за допомогою панелі управління (рис. 4.15) [41].

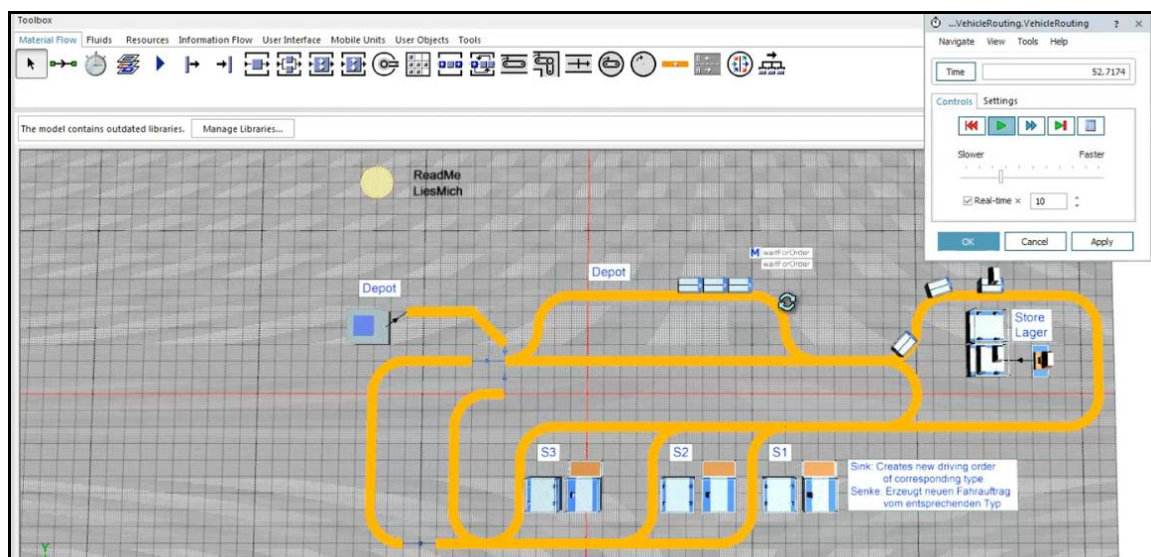


Рис. 4.15 – Режим симуляції роботи транспортної системи з AGV

Далі, якщо робота моделі чомусь нас не вдовольняє, то можна редагувати існуючу тривимірну модель, змінюючи її як нам потрібно.

4.5 Висновки до розділу

В результаті виконання проєктних робіт у даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи була обґрунтована модель діяльностей заключної стадії дослідження цифрової трансформації типу АВ І3.0 хімічного підприємства, які виконують здобувач і викладач.

На основі запропонованого методу онтологічного дослідження предметної області цифрового «розумного» АВ І4.0 була побудована її концептуальна модель та означені способи її використання для цифрової трансформації типу АВ І3.0 хімічного підприємства.

В якості прикладу виконання цієї стадії дослідження цифрової трансформації було розроблене концептуальне рішення нового типу АВ І4.0, а на його основі – ескізний проєкт цифрової трансформації у вигляді моделі транспортної системи нового типу АВ І4.0, створеної у інструментальному середовищі «Siemens Tecnomatix Plant Simulation».

ВИСНОВКИ

В результаті виконання розділу 1 магістерської кваліфікаційної роботи було проведено дослідження референтної архітектурної моделі «розумного підприємства» RAMI4.0 та існуючого інструменту відображення й обробки цифрового життєвого циклу автоматизованого виробництва. Для подальшого обґрунтування загальної архітектури нового навчального засобу для дослідження цифрової трансформації типу автоматизованого виробництва був виконаний вибір та аналіз типу такого автоматизованого виробництва, яке реалізоване у вигляді «віртуального» лабораторного виробництва хімічної продукції. Розроблена загальна архітектура нового навчального засобу, яка відображає як його складові частини, так і основні стадії виконання здобувачами наскрізного проєктного практикуму з цифрової трансформації типу автоматизованого виробництва. На основі запропонованого архітектурного бачення нового навчального засобу було розроблене технічне завдання на виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

В результаті виконання дослідницьких та проєктних робіт у розділі 2 магістерської кваліфікаційної роботи був проведений ретельний аналіз програмних інструментів моделювання виробничих об'єктів у інструментальному середовищі «Siemens Tecnomatix Plant Simulation» з урахуванням особливостей вибраного типу автоматизованого виробництва I3.0. На основі цього аналізу була розроблена модель діяльності викладача та здобувача в ході виконання стадії «Розробка типу автоматизованого виробництва I3.0» на новому навчальному засобі. З урахуванням складності моделювання типу реального АВ I3.0 вибраний оптимальний розподіл цих діяльностей між викладачем та здобувачем – викладач майже повністю розробляє цю модель, а здобувач виконує вже її остаточне налаштування для запуску імітаційного моделювання. Розроблена концепція побудови усієї цифрової моделі типу АВ I3.0 з застосуванням бібліотечних класів моделей

виробничих об'єктів, які підтримує поточна версія інструментального середовища «Siemens Tecnomatix Plant Simulation».

В результаті виконання дослідницьких та проєктних робіт у розділі 3 магістерської кваліфікаційної роботи було сформоване загальне бачення процесу виконання стадії «Аналіз типу АВ І3.0» при дослідженні цифрової трансформації типу реального хімічного АВ. На основі цього бачення був розроблений детальний алгоритм виконання робіт здобувачем та викладачем в рамках даної стадії навчального дослідження. Для пояснення практичного застосування такого алгоритму наведений приклад виконання порівняльного аналізу деякого фрагменту фізичної реалізації існуючого типу АВ І3.0 та виявлення основних його недоліків.

В результаті виконання дослідницьких та проєктних робіт у розділі 4 магістерської кваліфікаційної роботи була обґрунтована модель діяльності заключної стадії дослідження цифрової трансформації типу АВ І3.0 хімічного підприємства, які виконують здобувач і викладач. На основі запропонованого методу онтологічного дослідження предметної області цифрового «розумного» АВ І4.0 була побудована її концептуальна модель та означені способи її використання для цифрової трансформації типу АВ І3.0 хімічного підприємства. В якості прикладу виконання цієї стадії дослідження цифрової трансформації було розроблене концептуальне рішення нового типу АВ І4.0, а на його основі – ескізний проєкт цифрової трансформації у вигляді моделі транспортної системи нового типу АВ І4.0, створеної у інструментальному середовищі «Siemens Tecnomatix Plant Simulation».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Reference Models for Digital Manufacturing Platforms/ Francisco Fraile, Raquel Sanchis, Raul Poler, Angel Ortiz// MDPI: Appl. Sci. 2019, 9, 4433; doi:10.3390/app9204433 [Електронний ресурс] / URL : <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/20/4433>.
2. Peter Adolphs. RAMI 4.0: An architectural Model for Industrie 4.0 [Електронний ресурс] / URL: www.plattform-i40.de.
3. Тривимірна еталонна архітектурна модель RAMI 4.0 [Електронний ресурс] / URL: <https://www.phoenixcontact.com>.
4. Система управління життєвим циклом створює умови інвестиційної безпеки для виробників та користувачів [Електронний ресурс] / URL: <https://www.phoenixcontact.com>.
5. Пупена О. Огляд сучасних стандартів інтегрованого виробництва / О. Пупена, І. Ельперін, Р. Міркевич Є. // Автоматизація технологічних і бізнес - процесів. – 2016. – Т. 8. – №3. – С. 63-74.
6. Siemens digital industries software : Introduction to Tecnomatix Plant Simulation [Електронний ресурс] / URL: <https://www.emixa.com/hubfs/Emixa/Marketing/Content%20Dashboard/Sub%20Solution%20and%20Sub%20Services%20Content%20downloads/Introduction%20to%20Tecnomatix%20Plant%20Simulation%20english%20.pdf>.
7. What's new in Plant Simulation? (January 2022) [Електронний ресурс] / URL: <https://blogs.sw.siemens.com/tecnomatix/whats-new-in-plant-simulation-january-2022/#agv>.
8. Discover what's new in Plant Simulation 2302 [Електронний ресурс] / URL: <https://blogs.sw.siemens.com/tecnomatix/discover-whats-new-in-plant-simulation-2302/>.
9. Tecnomatix free trials _ Siemens Software [Електронний ресурс]. URL: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/tecnomatix/free-trials/>.
10. Implementing Industrie 4.0: This is how it works! [Електронний ресурс]: Festo Corporate. URL : <https://youtube/ZCLHojIj7eA>.

11. Гульман В.А. Навчальний засіб на основі Siemens Tecnomatix Plant Simulation для дослідження цифрової трансформації типу автоматизованого виробництва / В.А. Гульман, В. М. Папінов // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2026)» [Електронне мережне наукове видання] / URL : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2026/schedConf/presentations..>

12. Система управління життєвим циклом створює умови інвестиційної безпеки для виробників та користувачів [Електронний ресурс] / 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-dbcdb-47c8-8f1a-dc915d263cd3/e3a1dea8-20e3-4e25-a3ba-f9836a1c99a8/e3a1dea8-20e3-4e25-a3ba-f9836a1c99a8)

13. ДСТУ ISO IEC IEEE 15288_2016. Інженерія систем і програмного забезпечення. Процеси життєвого циклу систем. - К.: ДП "УкрНДНЦ", 2018. - 84с. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.yumpu.com/xx/document/read/67240647/-iso-iec-ieee-15288-2016-/7>.

14. ДСТУ ISO/IEC/IEEE 15289:2019 (ISO/IEC/IEEE 15289:2017, IDT). Інженерія систем і програмних засобів. Уміст інформаційних об'єктів життєвого циклу (документації) [Електронний ресурс]. URL: <https://csm.kiev.ua/nd/nd.php?b=1&z=%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3%20ISO&l=5440>.

15. Руденська Г. В. Моделі та процеси життєвого циклу інформаційної системи управління оборонними ресурсами [Електронний ресурс]. URL: <http://znp-cvsvd.nuou.org.ua/article/view/201393/201412>.

16. Пупена О.М. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навчальний посібник./ О.М. Пупена, І.В.Ельперін, Н.М.Луцька, А.П.Ладанюк - К.: Вид-во "Ліра-К", 2011. - 552 с.

17. TECNOMATIX Plant Simulation [Електронний ресурс]. URL: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/tecnomatix/plant-simulation-software/>.

18. Plant Simulation X Standard [Електронний ресурс]. URL: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/tecnomatix/products/plant-simulation-x-standard/>.
19. Try Plant Simulation X – scalable discrete-event cloud simulation [Електронний ресурс]. URL: <https://trials.sw.siemens.com/en-US/trials/plant-simulation>.
20. 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.
21. 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.
22. Автоматизація процесів: навчальний курс [Електронний ресурс]. URL: <http://opiobjektid.tptlive.ee/Automatiseerimine/index.html>.
23. Автоматизація виробництва [Електронний ресурс]. URL: http://opiobjektid.tptlive.ee/Automatiseerimine/4__.html.
24. Технологічний процес [Електронний ресурс]. URL: http://opiobjektid.tptlive.ee/Automatiseerimine/3__.html.
25. 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.
26. 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/>.
27. The evolution of digital transformation [Електронний ресурс]. URL: <https://www.analyticsinsight.net/the-evolution-of-digital-transformation/>.
28. 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>. (є текст статті)

29. 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.

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

31. Wiki : BHTY [Електронний ресурс] / URL : <https://wiki.vntu.edu.ua>.

32. Plant Simulation 01 – introduction [Електронний ресурс]. URL: https://youtu.be/DFy8bH5yYeI?list=PL1m1vu8_quoAaezQsacD6jO_AK8Wvnjg-.

33. Tecnomatix Plant Simulation Tutorial | Simtalk | Pick and Place Robot with Pallet [Електронний ресурс] / URL : <https://youtu.be/Lome5EwScpM>.

34. SIEMENS Tecnomatix Plant Simulation Fluids Library Workshop (English Version) [Електронний ресурс] / URL : <https://youtu.be/IvhhKH3mt0s>.

35. SIEMENS Tecnomatix Plant Simulation high bay warehouse [Електронний ресурс] / URL : <https://youtu.be/LYZLj225ouw>.

36. 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.

37. 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.

38. 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.

39. Черняк Л. Кіберфізичні системи на старті [Електронний ресурс]. URL : <https://www.osp.com/os/2014/02/13040038/>.

40. Siemens Tecnomatix Plant Simulation How to Create AGV [Электронный ресурс]. URL: <https://youtu.be/uFkSVL9oMag>.
41. Plant Simulation AGV Automatic Routing for Transporters [Электронный ресурс]. URL: <https://youtu.be/3PaRhsTqHrY>.
42. Tecnomatix Plant Simulation Tutorial: Collision control basics with free-moving AGVs [Электронный ресурс]. URL: <https://youtu.be/hVMYSLVMNuA>.

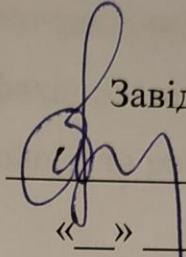
ДОДАТКИ

ДОДАТОК А
(обов'язковий)

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

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри АІТ

 Олег БІСІКАЛО

« » _____ 2025 р.

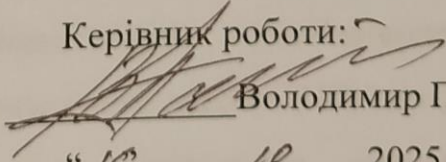
ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

«Навчальний засіб на основі Siemens Tecnomatix Plant Simulation для
дослідження цифрової трансформації типу автоматизованого виробництва»

08-31.МКР.004.00.000 ТЗ

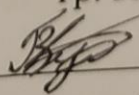
Керівник роботи:

 Володимир ПАПІНОВ

«16» 10 2025 р.

Здобувач:

гр. ЗАКІТР-24м

 Володимир ГУЛЬМАН

«16» 10 2025 р.

1 Назва і галузь застосування

Навчальний засіб (НЗ) на основі Siemens Tecnomatix Plant Simulation для дослідження цифрової трансформації типу автоматизованого виробництва.

НЗ буде використовуватися як програмно-технічні засоби навчання при підготовці у вищому навчальному закладі фахівців зі спеціальності 174 - "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка".

2 Підстава для виконання роботи

Робота виконується на підставі наказу по університету № 313 від 24.09.2025 р. та індивідуального завдання, складеного та затвердженого кафедрою АІТ ВНТУ.

3 Мета та призначення роботи

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є створення для здобувачів вищої освіти спеціальності 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка" нового навчального засобу (НЗ) для дослідження процесу цифрової трансформації типу існуючого автоматизованого виробництва, створеного за концепцією «Індустрія 3.0», у «розумне» цифрове виробництво «Індустрія 4.0» шляхом цифрової реалізації їх життєвих циклів в інструментальній системі промислової автоматизації «Siemens Tecnomatix Plant Simulation».

НЗ призначений 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 здобувача при рішенні реальних проєктних задач, сприяє більш глибокому вивченню здобувачем теоретичного матеріалу навчальних дисциплін, а також дає можливість сформувати у здобувача відповідні професійно-орієнтовані практичні уміння та навички проєктування.

4 Джерела виконання роботи

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

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 здобувачами методів та засобів цифрової трансформації існуючого автоматизованого виробництва у виробництво «розумного» цифрового підприємства за рахунок використання в лабораторному практикумі нового НЗ.

Задачі, що вирішуються в ході виконання роботи:

1. Дослідження референтної архітектурної моделі «розумного підприємства» RAMI 4.0.
2. Дослідження існуючого інструменту відображення й обробки цифрового життєвого циклу автоматизованого виробництва.
3. Науково-технічне обґрунтування загальної архітектури нового навчального засобу на основі інструментальної системи промислової автоматизації «Siemens Tecnomatix Plant Simulation».
4. Розробка технічного завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.
5. Проєктування програмно-технічної частини навчального засобу.
6. Розробка навчально-методичного забезпечення навчального засобу.

Новий НЗ має будуватися за загальною архітектурою, що описана в розділі 1 та показана на рисунку 1.19 Архітектура створюється на базі системи автоматизованого управління даними освітнього процесу та документообігу «JetIQ» ВНТУ. В цій системі використовуються такі її складові частини, як

«Персональний кабінет викладача», «Персональний кабінет здобувача» та «Комунікаційні сервіси JetIQ».

Викладач або здобувач через свій комп'ютер входить до відповідного персонального кабінету і створює в ньому запис – один для доступу до інформаційних хмарних сервісів компанії Google, а другий для доступу до інструментів хмарної платформи «Siemens Tecnomatix Plant Simulation».

За допомогою першого з'єднання викладач зі свого персонального кабінету, використовуючи доступні програмні інструменти пошуку інформації, постійно досліджує різноманітні Інтернет-джерела, пов'язані з предметом вивчення двох дисциплін – «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва» та «Промисловий інтернет речей» – та постійно оновлює викладацьку базу даних по прикладах цифрової трансформації автоматизованого виробництва.

Накопичена таким чином проєктна інформація потім детально вивчається викладачем з метою самоосвіти та підготовки навчальних матеріалів декларативного типу по даним дисциплінам. Ця ж база даних через відповідний комунікаційний сервіс системи «JetIQ» публікується для вільного доступу здобувачів, які при необхідності зможуть використовувати її при виконанні своїх індивідуальних завдань з цифрової трансформації типу автоматизованого виробництва.

За допомогою другого з'єднання викладач зі свого персонального кабінету, використовуючи відповідні програмні інструменти, зможе переглядати та оцінювати ті проєкти цифрової трансформації (функції «Перевірка 3D-моделювання та експериментального дослідження» та «Перевірка готового проєкту ЦТ»), які здобувачі розроблятимуть на хмарній платформі «Siemens Tecnomatix Plant Simulation» в рамках наскрізного проєктного практикуму. Результати такого оцінювання викладач зможе за допомогою програмного модуля «Комунікаційні сервіси JetIQ» або публікувати у відкритому доступі для всіх здобувачів, що виконують проєктний практикум, або надсилати на індивідуальні адреси окремих здобувачів. Також для викладача існує можливість демонструвати роботу тих чи інших моделей,

створених здобувачами на хмарній платформі, в режимі он-лайн за допомогою сервісу «Google Meet» і надавати при цьому свої коментарі.

Здобувач, у свою чергу, за допомогою першого з'єднання зі свого персонального кабінету, використовуючи наявні програмні інструменти хмарної платформи «Google Cloud», зможе досліджувати різноманітні Інтернет-джерела, пов'язані з предметом вивчення тієї чи іншої дисципліни (або «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва», або «Промисловий інтернет речей»), та зберігати результати цього дослідження, наприклад, у вигляді графічної онтологічної моделі предметної області. Крім того, за допомогою програмного модуля «Комунікаційні сервіси JetIQ» здобувач зможе або публікувати ці результати у відкритому доступі, або надсилати на індивідуальну адресу викладача для перевірки та доповнення.

За допомогою другого з'єднання здобувач зі свого персонального кабінету, використовуючи відповідні програмні інструменти, зможе послідовно розробляти на хмарній платформі «Siemens Tecnomatix Plant Simulation» проєкти цифрової трансформації за індивідуальним завданням в рамках наскрізного проєктного практикуму (функція «3D-моделювання та експериментальне дослідження»). Результати цього проєктування здобувач зберігає на хмарній платформі для перегляду та оцінювання їх викладачем (дані «Готовий проєкт ЦТ»). Текстові описи проєктних рішень (дані «Результати аналізу АВ та пошуку способу ЦТ») здобувач може за допомогою програмного модуля «Комунікаційні сервіси JetIQ» або публікувати у відкритому доступі для всіх здобувачів, що виконують проєктний практикум, або надсилати на індивідуальну адресу викладача для перевірки та оцінювання. Також для здобувача існує можливість демонструвати викладачу роботу тих чи інших своїх моделей, розроблених на хмарній платформі «Siemens Tecnomatix Plant Simulation», в режимі он-лайн за допомогою сервісу «Google Meet» і надавати при цьому свої коментарі чи просити у викладача консультацій щодо виконання окремих проєктних завдань.

Усі описані вище діяльності викладача і здобувача виконуються послідовно у часі, формуючі при цьому два життєвих цикли – «Життєвий цикл типу автоматизованого виробництва «Індустрія 3.0» і «Життєвий цикл типу автоматизованого виробництва «Індустрія 4.0». Ці типи виробництва можна вважати двома версіями («v.1» та «v.2») одного типу автоматизованого виробництва, тобто розглядати їх як послідовні стадії єдиного життєвого циклу, які позначені на рисунку 1.20 цифрами «1» - «2» - «3» - «4». При цьому перехід від першої версії («v.1» (стадії «1» та «2»)) до другої версії «v.2» (стадія «4»)) виконується у вигляді процесу цифрової трансформації даного типу автоматизованого виробництва (стадія «3»), що саме і має досліджувати здобувач за допомогою нового навчального засобу.

НЗ повинен забезпечувати нормальний режим роботи без втрати працездатності на протязі навчального року.

Умови експлуатації навчального засобу:

- температурний повітря від плюс 10 °С до плюс 35 °С;
- допустима вологість повітря до 90%.

6 Стадії виконання роботи

6.1. Етап «Науково-технічне та техніко-економічне обґрунтування роботи» та розробка технічного завдання має бути виконаний до 05.10.25 р.

6.2. Етап Проєктування процесу виконання стадії «Розробка типу автоматизованого виробництва І3.0» має бути виконаний до 25.10.25 р.

6.3. Етап Проєктування процесу виконання стадії «Аналіз типу автоматизованого виробництва І3.0» має бути виконаний до 10.11.25 р.

6.4. Етап Проєктування процесу виконання стадії «Цифрова трансформація типу автоматизованого виробництва І3.0» має бути виконаний до 20.12.25 р.

7 Порядок контролю та приймання роботи

7.1 Рубіжний контроль – 02.12.25 р.

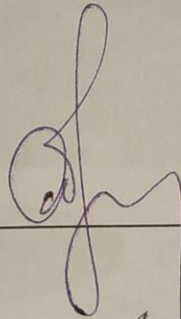
7.2 Попередній захист – 03.12.25 р.

7.3 Захист роботи – в період з 07.12.25 р. по 19.12.25 р. за графіком, встановленим кафедрою АІТ.

Додаток Б
(обов'язковий)
ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

НАВЧАЛЬНИЙ ЗАСІБ НА ОСНОВІ SIEMENS TECNOMATIX PLANT
SIMULATION ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТИПУ
АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА

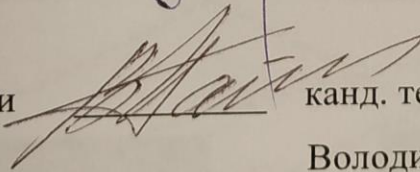
Зав. кафедри АІТ



д-р техн. наук, професор каф. АІТ

Олег БІСІКАЛО

Керівник роботи

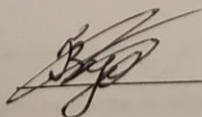


канд. техн. наук, проф. каф. АІТ

Володимир ПАПІНОВ

Здобувач

гр. ЗАКІТР-24м



Володимир ГУЛЬМАН

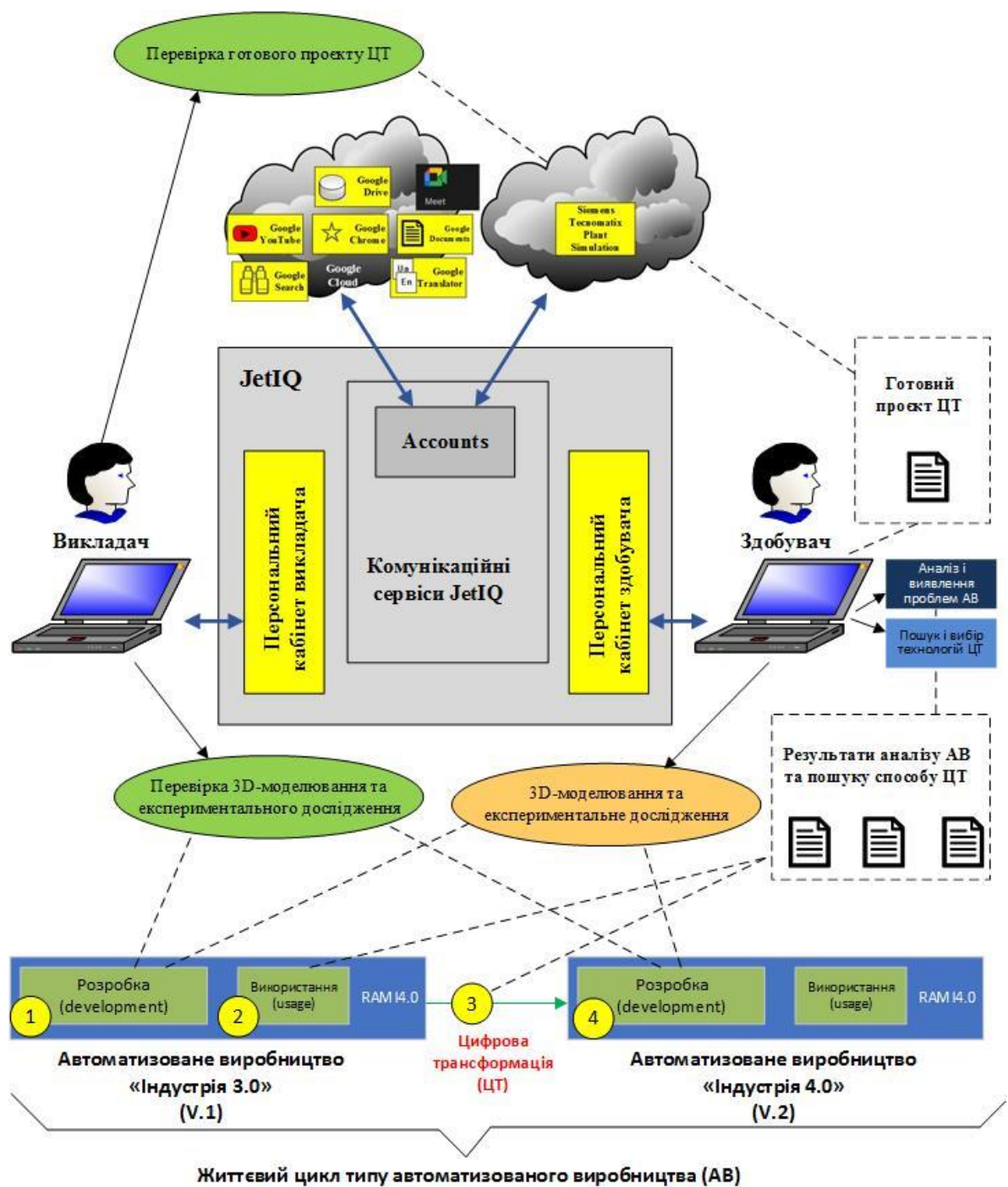


Рисунок Б.1 - Архітектура нового навчального засобу

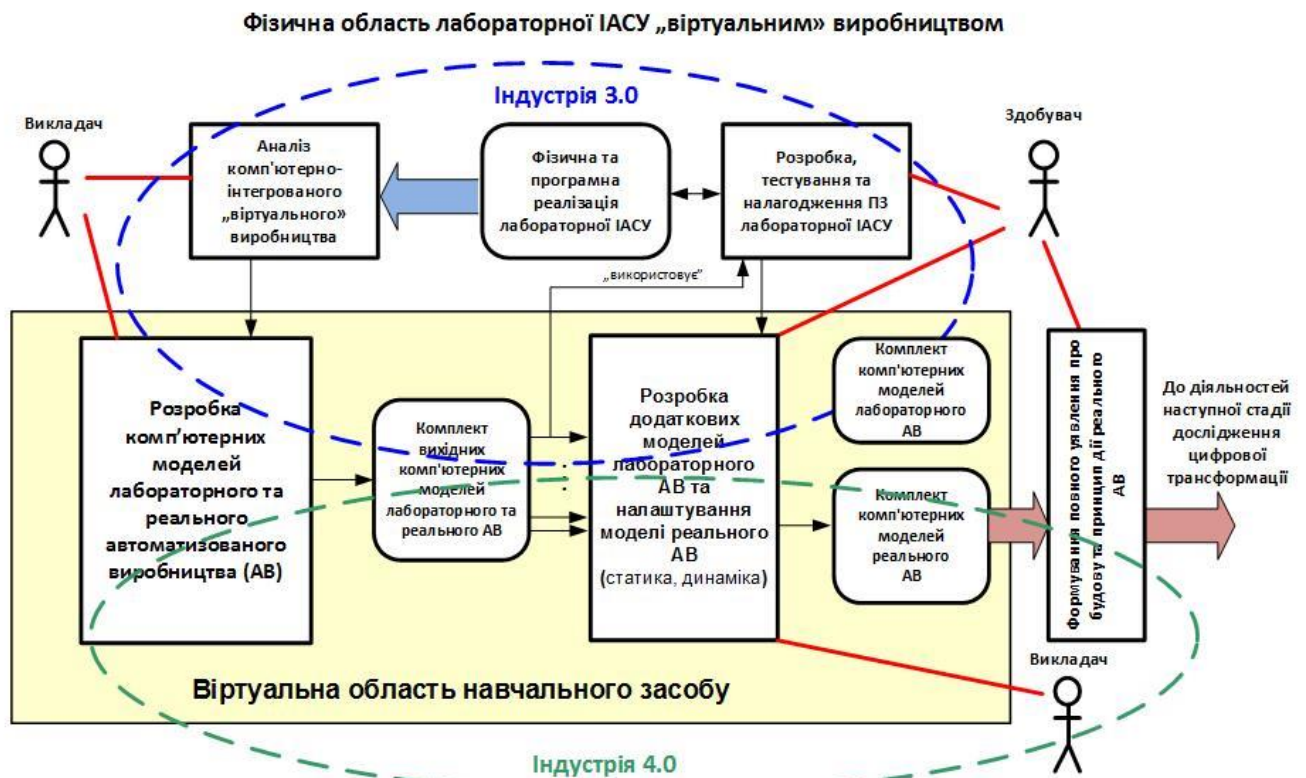


Рисунок Б.2 - Модель діяльності на стадії «Розробка типу автоматизованого виробництва І3.0»

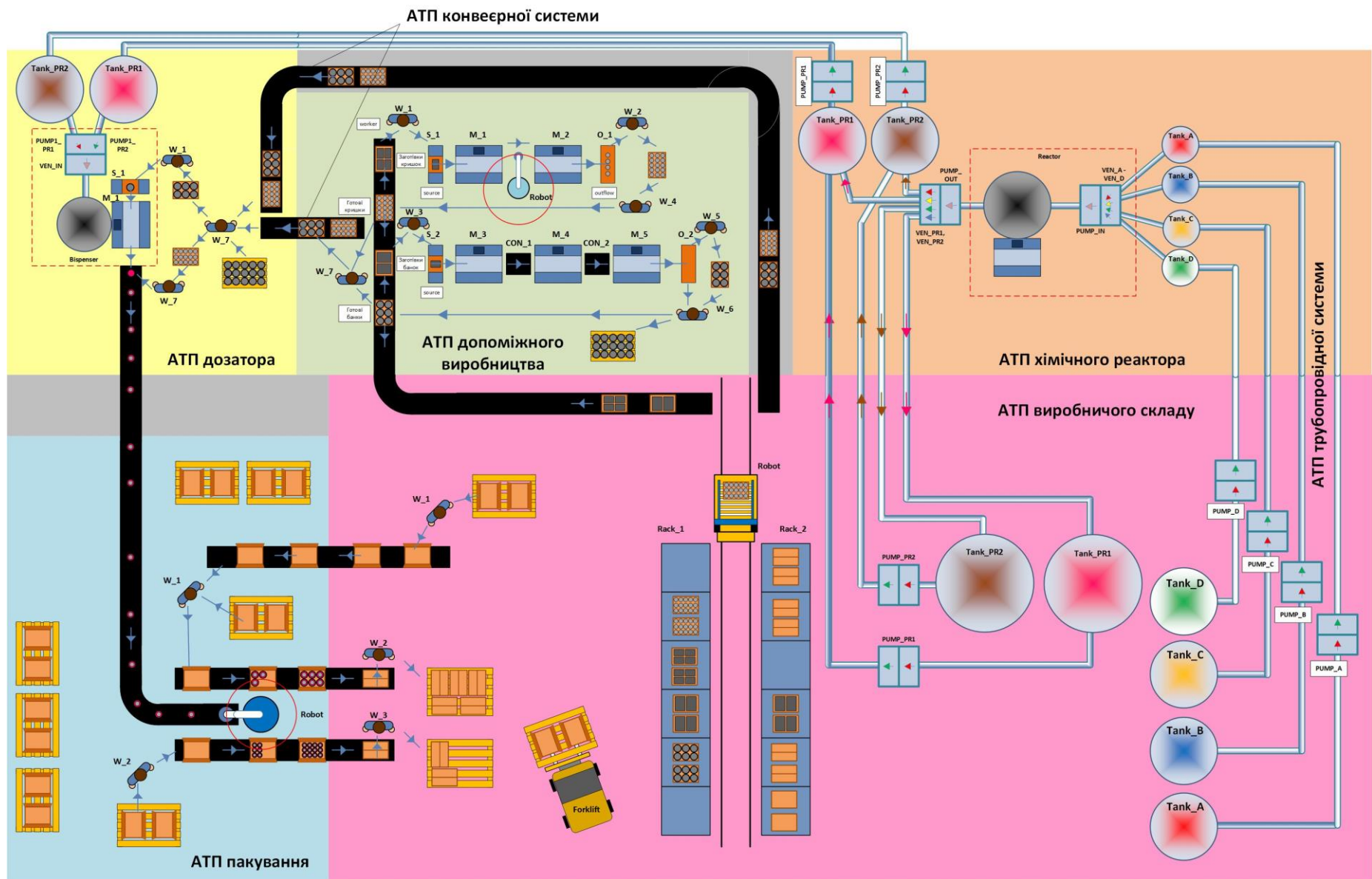


Рисунок Б.3 - Концепція моделі типу АВ І3.0

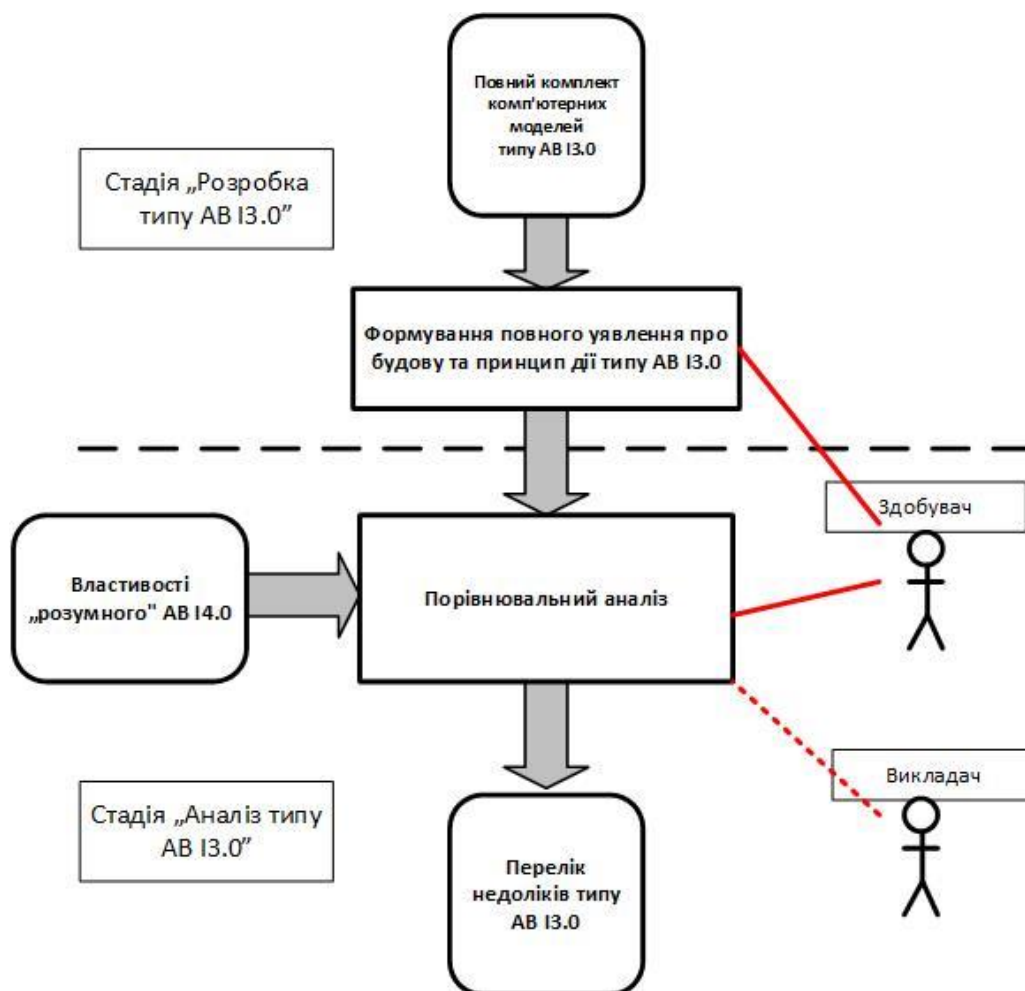


Рисунок Б.4 - Загальне бачення процесу виконання стадії «Аналіз автоматизованого виробництва ІЗ.0»

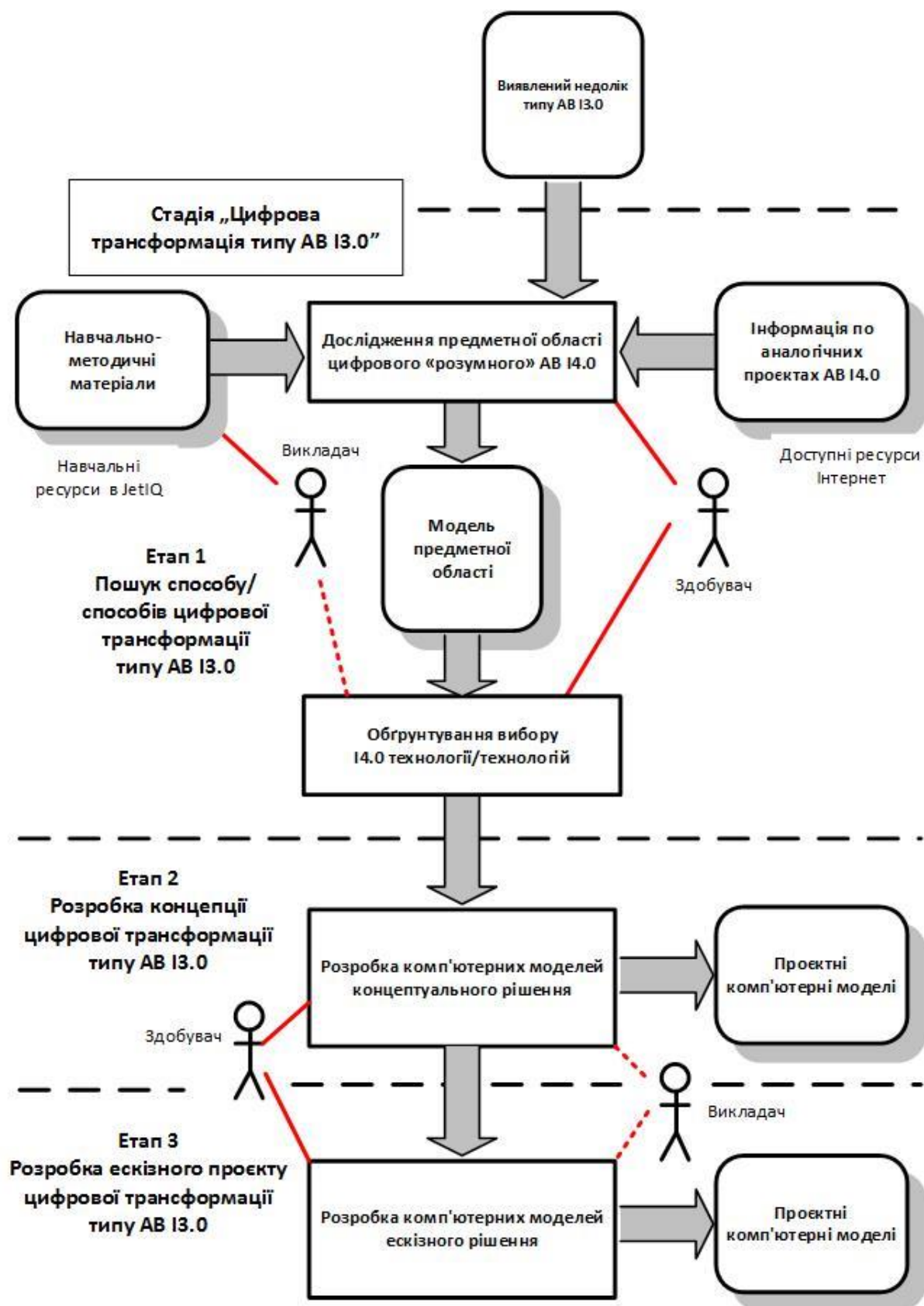


Рисунок Б.5 - Модель діяльності заключної стадії дослідження цифрової трансформації типу АВ І3.0

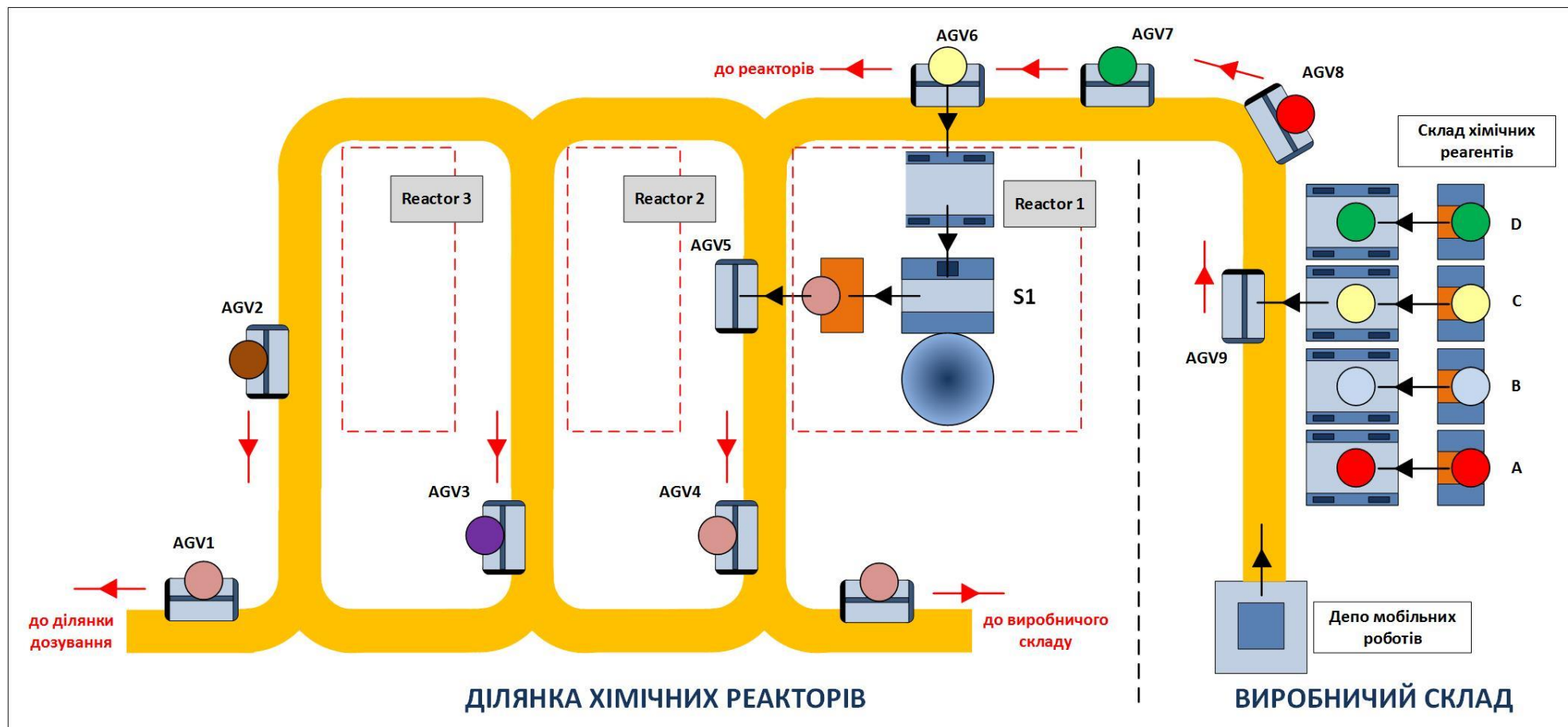


Рисунок Б.6 - Концепція моделі типу АВ І4.0

Додаток В
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: «Навчальний засіб на основі Siemens Tecnomatix Plant Simulation для дослідження цифрової трансформації типу автоматизованого виробництва»

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ кафедра АІТ
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism (КПІ) 8,66 %

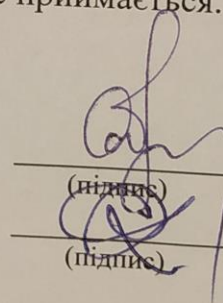
Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

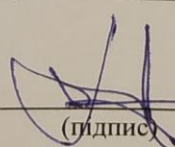
- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту.
- У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- У роботі виявлено ознаки академічного плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Бісікало О.В., зав. каф. АІТ
(прізвище, ініціали, посада)

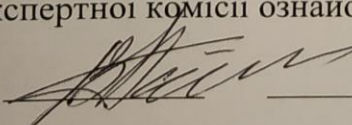
Овчинников К.В., доц. каф. АІТ
(прізвище, ініціали, посада)

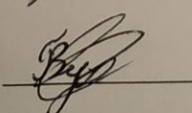

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку 
(підпис)

Маслій Р.В.
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник  Папінов В.М., проф. каф. АІТ

Здобувач  Гульман В.А.