

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

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

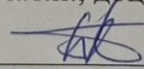
на тему:

**«Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення
цифрової трансформації трубопровідної транспортної системи хімічного
підприємства»**

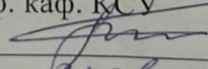
Виконав: студент 2 курсу, групи АКІТ-22мз,
спеціальності 151 – «Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології»

 Богдан КЛОЧАК

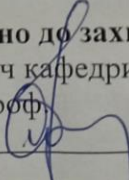
Керівник: к.т.н., доцент кафедри АІТ

 Владислав КАБАЧІЙ
« 10 » 06 2024 р.

Опонент: проф. каф. КСУ

 Микола БИКОВ
« 18 » 06 2024 р.

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

 Олег БІСІКАЛО
« » 2024 р.

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АІТ

д.т.н., професор

Олег БІСІКАЛО

« 12 » 03 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу
Клочак Богдана Сергійовича

1. **Тема роботи** Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення цифрової трансформації трубопровідної транспортної системи хімічного підприємства

керівник роботи Кабачій Владислав Володимирович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом ВНТУ № 81 від 11.03.2024

2. **Строк подання студентом роботи** 10 червня 2024 р.

3. **Вихідні дані до роботи** Комп'ютеризований навчальний засіб (КНЗ) призначений для забезпечення практикумів професійних дисциплін "Кіберфізичні системи автоматизації виробництва" (4 курс бакалаврської підготовки) та "Промисловий Інтернет речей" (1 курс магістерської підготовки); КНЗ повинен створювати умови для індивідуальної когнітивної діяльності студентів при рішенні реальних проєктних задач, сприяти більш глибокому вивченню студентами теоретичного матеріалу вказаних навчальних дисциплін, а також давати можливість сформувати у студентів відповідні професійно-орієнтовані практичні уміння та навички проєктування цифрової трансформації реальних технічних та технологічних процесів; КНЗ повинен будуватися на основі трьох існуючих лабораторних моделей: на програмно-технічній імітаційній моделі промислової трубопровідної транспортної системи, на організаційній імітаційній моделі «віртуальне виробництво» та на програмно-технічній імітаційній моделі інтегрованої автоматизованої системи управління (ІАСУ) процесами «віртуального виробництва» – виробничими, технологічними і технічними (ТП).

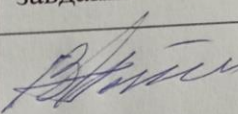
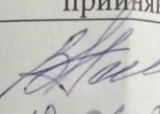
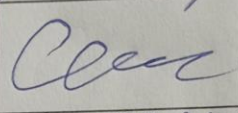
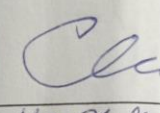
4. **Зміст пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно дослідити)

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

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

1) Архітектура комп'ютеризованого навчального засобу. 2) Проєктування процесу виконання стадії «Моделювання існуючого АТП». 3) Моделювання існуючого реального АТП. 4) Проєктування процесу виконання стадії «Аналіз реального АТП». 5) Проєктування процесу виконання заключної стадії практичного вивчення цифрової трансформації. 6) Приклад виконання заключної стадії практичного дослідження

Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Володимир ПАПІНОВ, к.т.н., професор кафедри АІТ	 01.03.24р	 10.06.24р
Економічний розділ	Володимир КОЗЛОВСЬКИЙ, к.е.н., проф. каф. ЕПВМ	 20.05.24р	 14.06.24р

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

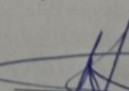
Назва етапів дослідження	Строк виконання етапів	Примітки
1. Науково-технічне та техніко-економічне обґрунтування роботи.	15.03.24 р.	
2. Розробка технічного завдання на магістерську кваліфікаційну роботу	15.03.24 р.	
3. Проектування стадії «Моделювання існуючого автоматизованого ТП»	10.04.24 р.	
4. Проектування стадії «Аналіз реального автоматизованого ТП»	30.04.24 р.	
5. Проектування та реалізація заключної стадії практичного вивчення цифрової трансформації	15.05.24 р.	
6. Економічний розділ	31.05.24 р.	
7. Оформлення пояснювальної записки	10.06.24 р.	
8. захист роботи	з 14.06.24 р. по 30.06.24 р.	

Студент


(підпис)

Богдан КЛОЧАК

Керівник роботи



Володимир КОЗЛОВСЬКИЙ

АНОТАЦІЯ

УДК 378.162+681.51

Клочак Б.С. Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення цифрової трансформації трубопровідної транспортної системи хімічного підприємства. Вінниця: ВНТУ, 2024. 179 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 54 назв; рис.: 39; табл. 10.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблений комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення цифрової трансформації трубопровідної транспортної системи хімічного підприємства. 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 будуватиметься на основі інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне виробництво», що дозволило за рахунок використання додаткових локальних та «хмарних» інструментальних засобів моделювання підвищити ефективність практичної підготовки студентів шляхом виконання ескізного проєкту цифрової трансформації існуючої автоматизованої трубопровідної транспортної системи.

Графічна частина складається з 6 плакатів із результатами проєктування.

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

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

ABSTRACT

Klochak B.S. Computerized educational means for practical studying a digital transformation of chemical enterprise's tube transport system. Vinnitsa: BHTY, 2024. 179 p Master's thesis in specialty 151 - Automation and computer-integrated technologies, educational and professional program - Intelligent computer control systems.

In Ukrainian language. Bibliography: 54 titles; fig.: 39; tabl.: 10.

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

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

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

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

ЗМІСТ

ВСТУП.....	
1 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ТА НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ.....	
1.1 Цифрова трансформація виробничого підприємства	
1.2 Аналіз існуючого технічного процесу транспортування «віртуального виробництва».....	
1.3 Цифрова трансформація аналогічних технічних процесів	
1.4 Розробка архітектури комп'ютеризованого навчального засобу.....	
1.5 Висновки до розділу	
2 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «МОДЕЛЮВАННЯ ІСНУЮЧОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ТП».....	
2.1 Розробка моделі діяльностей	
2.2 Розробка моделей існуючого АТП актором «Викладач»	
2.3 Розробка моделей існуючого АТП актором «Студент»	
2.4 Висновки до розділу	
3 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «АНАЛІЗ РЕАЛЬНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ТП»	
3.1 Загальне бачення	
3.2 Розробка алгоритму виконання аналізу	
3.3 Приклади виконання аналізу реального АТП.....	
3.4 Висновки до розділу	
4 ЗАКЛЮЧНА СТАДІЯ ПРАКТИЧНОГО ВИВЧЕННЯ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ РЕАЛЬНОГО АТП.....	
4.1 Означення основних діяльностей	
4.2 Дослідження предметної області І4.0 промислової автоматизації.	
4.3 Приклад виконання цифрової трансформації реального АТП.....	
4.4 Висновки до розділу	

5 РОЗДІЛ ЕКОНОМІКИ	
5.1 Технологічний аудит розробленого комп'ютеризованого навчального засобу для практичного вивчення цифрової трансформації трубопровідної транспортної системи хімічного підприємства	
5.2 Розрахунок витрат на розробку комп'ютеризованого навчального засобу	
5.3 Розрахунок економічного ефекту від можливої комерціалізації нашої розробки	
ВИСНОВКИ	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	
ДОДАТКИ.....	
Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу	
Додаток Б (обов'язковий) Ілюстративна частина	
Додаток В (довідковий) Протокол перевірки магістерської кваліфікаційної роботи	

ВСТУП

Актуальність роботи. У наш час методологічною основою професійної освіти визнаний компетентносний підхід, відповідно до якого результатом освітнього процесу є соціально-професійна компетентність випускника вузу. Компетентність - інтегративна індивідуально-професійна якість, що представляє собою єдність теоретичної й практичної готовності до професійної діяльності й, внаслідок цього, не зводиться лише до знань і вмінь. Саме тому новітні українські освітні стандарти, що орієнтовані на підготовку бакалаврів та магістрів спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», означають узагальнену модель випускника як множину його загальнокультурних і професійних компетентностей [1, 2]. З урахуванням цього особливу роль набуває всеохоплююча інформатизація професійної освіти, яка спрямована на створення умов як для комплексного розвитку всіх компонентів соціально-професійної компетентності майбутніх фахівців, так і її діагностики.

Саме для цього у світовій освітній практиці при підготовці фахівців даної спеціальності все ширше застосовується така форма організації навчального процесу як «навчальна фабрика» [3, 4]. Вона дозволяє в ході освоєння студентами як сучасної концепції автоматизації "CIM" [5], так і перспективної концепції автоматизації "Індустрія 4.0" [6], максимально зблизити наукові розробки, новітнє навчальне обладнання й реальне виробництво. В ході такого навчання усі ідеї студентів, що успішно відпрацьовуються на даній «навчальній фабриці», потім негайно впроваджуються в реальне виробництво.

На кафедрі АІТ ВНТУ, починаючи з 2015 року, активно розвивається та використовується у навчальному процесі аналогічне освітнє середовище у вигляді лабораторної імітації «навчальної фабрики» [7, 8]. Воно побудоване на основі комп'ютеризованої навчальної лабораторії, де реалізовані

автоматизовані системи управління різноманітними фізичними та імітаційними моделями технологічних та технічних процесів. Для утворення лабораторної імітації «навчальної фабрики» усі ці автоматизовані процеси зв'язані між собою логічними зв'язками, що відповідають схемі автоматизованого «віртуального» хімічного виробництва, побудованого за концепцією «CIM, Computer Integrated Manufacturing»). У реальному же виробництві саме ці логічні зв'язки являють собою різноманітні матеріальні потоки, що реалізуються відповідною трубопровідною транспортною системою підприємства.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є створення на основі даної лабораторної імітації «навчальної фабрики» нового комп'ютеризованого навчального засобу для практичного вивчення студентами спеціальностей 151 та 174 методів та засобів цифрової трансформації її трубопровідної транспортної системи у відповідності до вимог концепції «Індустрія 4.0» [9, 10].

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

Предметом досліджень є підвищення ефективності практичного вивчення студентами методів та засобів цифрової трансформації існуючої трубопровідної транспортної системи хімічного підприємства у «розумну» (цифрову) систему транспортування різних рідин за рахунок використання в лабораторному практикумі сучасного комп'ютеризованого навчального засобу.

Задачі досліджень магістерської кваліфікаційної роботи:

1. Дослідження трубопровідної транспортної системи «віртуального» хімічного виробництва та виявлення її недоліків у порівнянні з вимогами концепції «Індустрія 4.0».

2. Дослідження існуючих методів та засобів цифрової трансформації промислового трубопровідного транспорту для «розумного» цифрового підприємства.

3. Техніко-економічне та науково-технічне обґрунтування загальної архітектури нового комп'ютеризованого навчального засобу.

4. Розробка технічного завдання на науково-дослідну роботу.

5. Проєктування програмно-технічної частини навчального засобу.

6. Розробка навчально-методичного забезпечення навчального засобу.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження полягатиме в тому, що на відміну від існуючих комп'ютеризованих навчальних засобів, новий засіб будується на основі лабораторної імітації «навчальної фабрики», що дозволяє підвищити ефективність практичної підготовки студентів за рахунок використання доступних локальних та «хмарних» віртуальних інструментів проєктування цифрової трансформації трубопровідної транспортної системи хімічного підприємства [11-17].

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

Апробація результатів дослідження: основні результати виконання магістерської кваліфікаційної роботи опубліковані в матеріалах щорічної регіональної науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (Вінниця, ВНТУ, 2024 р.) [18].

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

1 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ТА НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ

1.1 Цифрова трансформація виробничого підприємства

З моменту своєї появи декількома роками раніше Інтернет речей (IoT - Internet of Things) зробив воістину приголомшливий вплив на промисловий і виробничий світ [19-22]. Візьмемо італійську дійсність: там 92% всіх підприємств - середні або малі, що представляють різноманітні сценарії розвитку, серед яких можна знайти безліч прикладів передового досвіду й цифрових інновацій. Звичайно сучасні шляхи розвитку приводять до ринкового успіху, як на національному, так і на міжнародному рівні. Інтернет речей став не тільки важливим інструментом для вивчення й моніторингу прогресу виробничих процесів з метою оптимізації продуктивності й витрат, але також і фундаментальним фактором, здатним допомогти компаніям поліпшити якість своїх процесів і кінцевих продуктів (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Роботизована виробнича лінія

Все це стало можливим завдяки обробці додаткової інформації, одержуваної від спеціальних інтегрованих датчиків, що проливають світло на неочевидні аспекти діяльності й виступаючих як важливі джерела інформація, що має вирішальне значення для оптимізації виробництва. Одержувані від цього вигоди благотворно відбиваються не тільки на самих виробничих компаніях, але й на їхніх кінцевих споживачах (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Сучасне харчове виробництво

Розглянемо базовий сценарій цифрової трансформації виробництва. На сьогоднішній день більшість виробничих підприємств характеризується високою диверсифікацією виробничої системи, хоча часто вона ще слабо відцифрована. Включення всіх механізмів у єдину систему дозволяє організувати взаємодію з виробничим обладнанням. Це робиться з метою збору цінних даних для моніторингу ефективності виробничої системи в реальному часі. Завдяки цифровому зв'язку стає можливим контролювати фактичний час доступності обладнання, швидкість його роботи й частоту

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

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

На виробничій лінії можуть бути встановлені додаткові датчики самих різних типів. От деякі приклади:

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

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

- стереоскопічні камери, що дозволяють одержувати й аналізувати тривимірні зображення продуктів або їхніх окремих частин. Можливість відтворити 3D-зображення, схожі на формовані людським зором, надзвичайно корисні, наприклад, для огляду продукту й перевірки таких характеристик, як взаємне розташування, якість складання, форма або завершеність об'єктів. При контролі якості вони можуть бути ефективно

реалізовані в таких задачах, як підрахунок або перевірка правильного положення предметів, вимір геометричних характеристик продуктів (об'єм, площа поверхні, товщина), перевірка правильності й цілісності упаковки, а також виявлення порожніх і не заповнених до норми пакувань продукту.

Інші спеціальні датчики можуть розпізнавати й класифікувати кольори (вони використовуються з додатками, що перевіряють правильність складання, відповідність кольору виробу зразку, незмінність якості продукції у виробництві із часом) і т.д.(рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Наладка промислового обладнання

Інформація, зібрана цими спеціалізованими датчиками, додається до інформації від машини на виробничій лінії і являє собою базу даних надзвичайної цінності для компаній. Ця інформація дозволяє не тільки досконально зрозуміти й поліпшити якість виробничих процесів, але й знизити кількість дефектів, краще використовувати сировину й необхідні

ресурси, скоротити кількість браку й відходів, а також сприяє тому, щоб діяльність компанії стала більш екологічно безпечною.

Проте, промислові середовища досить різноманітні й сильно залежать від типу виробництва. Середовище, у якому повинні працювати датчики, характеризується різними факторами, від яких залежить цифровізація й сенсоризація комплексу виробничих ліній.

Перший рівень складності пов'язаний з тим, що багато виробничих машин постачені датчиками з єдиною метою локальної автоматизації виробничого процесу й не призначені для розширення за рахунок додаткових датчиків, наприклад, з метою підвищення якості роботи всього конвеєра. Це спричиняє необхідність виявлення залежно від ситуації кращого рішення не тільки стосовно конкретної цілі (локальна оптимізація якості), але також у зв'язку з обмеженнями фізичних і технологічних характеристик інших задіяних на виробничій лінії машин.

Другий рівень складності, що виникає з умов навколишнього середовища, іноді навіть більш складний, особливо відносно таких аспектів, як високі температури й наявність диму й пилу. У цих умовах датчикам часто потрібний додатковий захист для підвищення робочої температури (наприклад, постачені сорочками водяного охолодження датчики можуть працювати навіть у сталеплавильному виробництві) або системи очищення лінз (продувка повітрям під високим тиском здатний безупинно підтримувати чистим об'єктив камери або тепловізора).

Третій рівень складності пов'язаний з необхідністю інтеграції з фабричною системою (яка не завжди буває стандартизованою й централізованою). Крім того, необхідно правильно налагодити діалог з виробниками машин, щоб виключити всі можливі проблеми, пов'язані з додаванням і фізичною установкою додаткових датчиків. У деяких випадках буває необхідно інтегрувати в машину кілька датчиків з різними характеристиками й цілями виміру.

Щоб краще зрозуміти, як Інтернет речей може підвищити здатність компанії до вдосконалювання з погляду якості, можна розглянути кілька прикладів конкретного застосування.

Перший приклад - з області харчової промисловості, де необхідний великий набір перевірок і постійний контроль, пов'язаний із забезпеченням якості кінцевої продукції, особливо у випадку консервованих або розфасованих продуктів. У цьому контексті Інтернет речей може надати значну допомогу завдяки, наприклад, застосуванню датчиків і систем штучного зору (як на основі профілометрів, так і на базі стереоскопічних камер).

Фактично за допомогою цих датчиків можна проводити морфологічні дослідження продуктів: вибіркову перевірку окремих кінцевих продуктів (наприклад, випічки), перевірку начинки або підрахунок кількості продуктів у відповідних упаковках (наприклад, на етапі пакування печива або випічки в контейнерах з кілька окремими відсіками), контроль порціонування їжі, перевірку вакуумного пакування, контроль остаточного пакування (наприклад, у декількох коробках, рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Виробництво продуктів харчування вимагає особливо ретельного контролю

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

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

- поліпшити якість продукції й знизити обсяг браку;

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

Який же шлях цифровізацію виробництва?

Важко запропонувати універсальний рецепт, застосовний у будь-якому контексті. Якщо компанія вже встала на шлях цифрових інновацій, то IoT на такому виробництві, безумовно, не є чимсь новим. Якщо ж компанія робить свої перші кроки або планує почати освоєння цього нового шляху, то їй, імовірно, знадобиться консультант, що допоможе настроїти послідовний процес.

Виходячи із практичного досвіду, можна сказати, що звичайно базові вимоги такі:

- робота із замовником для виявлення й аналізу вимог і, саме головне, очікувань для побудови чіткої дорожньої карти, при цьому завжди повинні бути ясні кінцеві цілі процесу цифровізації виробництва;
- робота із промисловими партнерами (такими як спеціалізовані виробники датчиків) для визначення характеристик різних датчиків, які передбачається вбудовувати в промислове обладнання;

- робота з виробниками обладнання для визначення й перевірки можливих рішень по інтеграції додаткових пристроїв у машину або у виробничу лінію без впливу на нормальну роботу виробничих процесів;
- забезпечення інтеграції із заводськими інформаційними системами (MES, ERP);
- оцінка можливості інтеграції різних технологій, протоколів, джерел даних, алгоритмів із загальною ціллю поліпшення й оптимізації якості виробництва;
- забезпечення можливості поступової еволюції рішень, а також їхньої сумісності з новими вимогами або більш пізніми технологічними розробками, такими як 5G.

Підбити підсумок можна, процитувавши відомого тенісиста Артура Еша: «Успіх у самій подорожі, а не в прибутті в пункт призначення». Позитивні результати повинні бути досягнуті у шляху цифрової трансформації, що стає усе більше схожим на еволюційну модель (рисунок 1.5) [24].



Рисунок 1.5 – Модель еволюційного розвитку Індустрія 4.0: все взаємозв'язано

1.2 Аналіз існуючого технічного процесу транспортування рідин на «віртуальному» хімічному підприємстві

На факультеті ПТА (ФІПА) Вінницького національного технічного університету (ВНТУ) змонтована універсальна комп'ютеризована навчальна лабораторія [7], в якій біля кожного універсального лабораторного столу встановлена фізична модель одного з таких технологічних/технічних виробничих об'єктів:

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

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

Крім того, на окремій спеціалізованій стійці №1 встановлені ПЛК "VIPA 313-6CF13" (з опцією "Profibus DP master") та центральна панель оператора "VIPA TP 607LC", а на столі біля стійки встановлена електромеханічна імітаційна модель роботизованої пакувальної лінії. На іншій спеціалізованій стійці №2 змонтований локальний ПЛК "VIPA 314-2BG03" (з опцією "Profibus DP slave") та локальна панель оператора "VIPA TP 607LC", а на столі біля стійки встановлені дві електромеханічні моделі автоматизованих виробничих ліній – лінії з трьома робочими станціями

та конвеєром, а також лінії з двома робочими станціями та транспортним роботом.

Робоче місце викладача в лабораторії також оснащено окремим ПК та локальною панеллю оператора "TP 607LC", через які викладач може спостерігати за ходом виконання лабораторних чи практичних завдань на кожному універсальному лабораторному столі.

В рамках даної комп'ютерно-інтегрованої лабораторної системи проводяться практикуми з різних професійно-орієнтованих та спеціальних дисциплін спеціальностей 151 та 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 151 та 174.

У 2020 році був запропонований спосіб організації в цій лабораторії інформаційно-освітнього середовища у формі «віртуального» хімічного виробництва. Цей спосіб передбачає логічне об'єднання усіх наявних в лабораторії моделей технологічних/технічних об'єктів/процесів у єдину імітаційну модель виробництва уявної хімічної продукції [8].

На рисунку 1.6 показана загальна схема даного «віртуального» виробничого процесу.

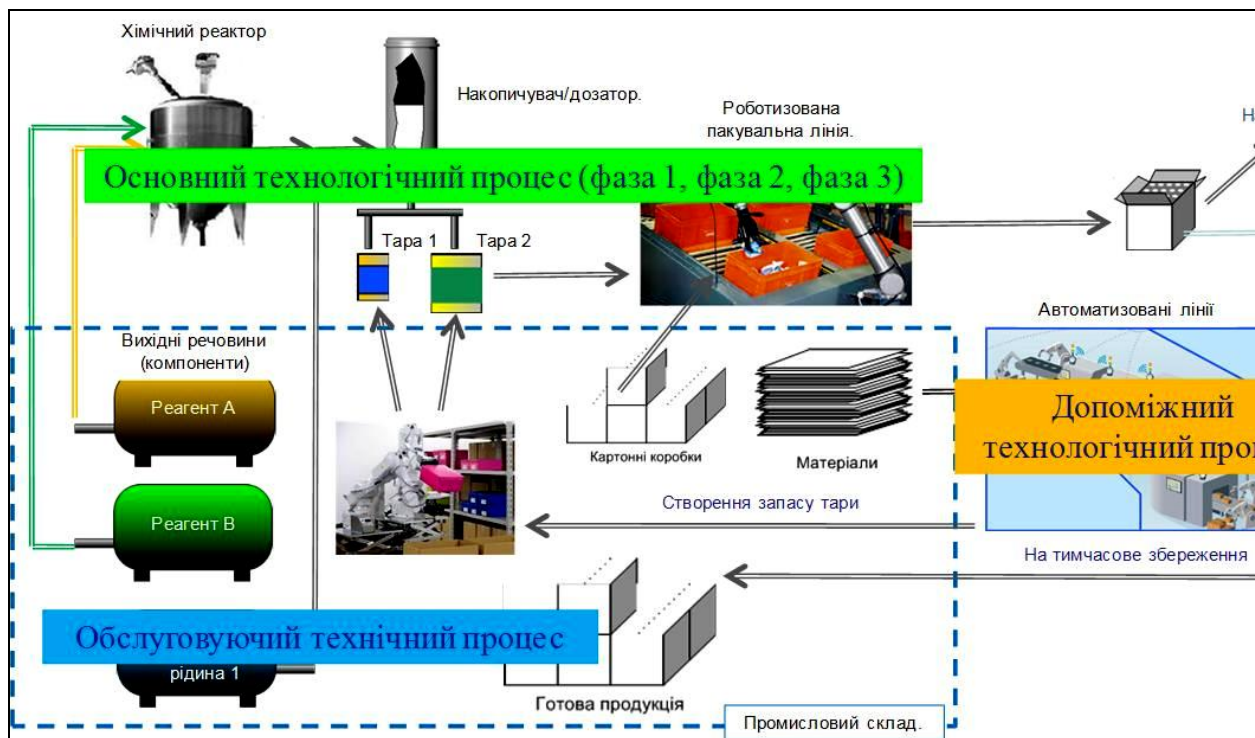


Рисунок 1.6 – Складові частини «віртуального» періодичного виробництва хімічної продукції

Цей процес який складається з основного і допоміжного технологічних процесів, а також обслуговуючого технічного процесу промислового складу:

- основний технологічний процес, що має три фази (фаза 1 – модель хімічного реактора, фаза 2 – модель накопичувача/дозатора, фаза 3 – модель роботизованої пакувальної лінії);
- допоміжний технологічний процес (моделі двох автоматизованих виробничих ліній для умовного виготовлення комплектів пустої тари);
- обслуговуючий технічний процес (модель промислового складу для умовного збереження усіх уявних матеріальних ресурсів, напівфабрикатів та продукції «віртуального виробництва»).

На цьому «віртуальному виробництві» імітується виготовлення різних видів рідкої хімічної продукції обмеженими за обсягом партіями у запланований період часу. Таким чином, дане «віртуальне» хімічне

виробництво є періодичним виробничим процесом, тобто batching-процесом.

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.

За темою магістерської кваліфікаційної роботи нас більш цікавить імітаційна модель технічного процесу трубопровідної транспортної системи, який на даному «віртуальному» хімічному виробництві виконує обслуговуючу функцію з «переміщення» різних рідких матеріальних ресурсів між іншими моделями технологічних/технічних процесів виробництва, утворюючи цим самим відповідні «віртуальні» матеріальні потоки

На рисунку 1.7 показана схема системи матеріального забезпечення рідкими матеріальними ресурсами усього «віртуального» хімічного

виробництва, яка побудована на основі промислового трубопровідного транспорту.

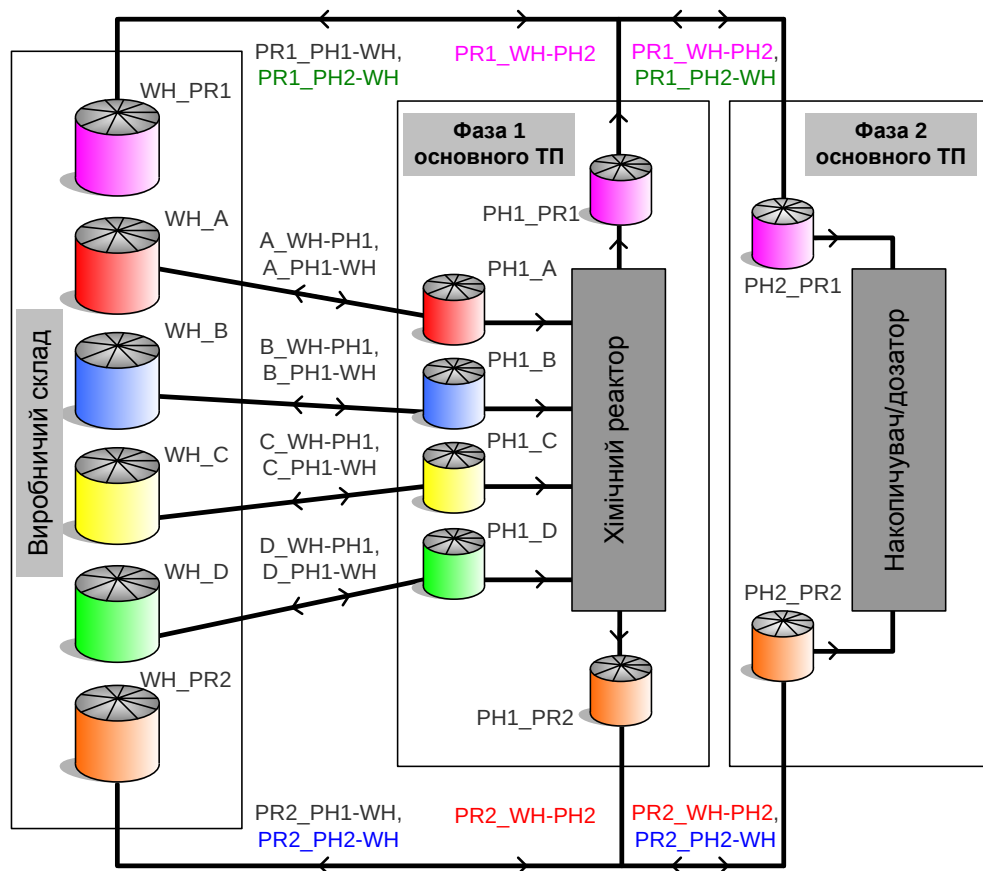


Рисунок 1.7 – Схема системи матеріального забезпечення періодичного «віртуального» виробництва рідкими матеріальними ресурсами

На схемі позначені усі потрібні для періодичного «віртуального» хімічного 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 А, В, С і D у резервуарному парку виробничого складу (для роботи фази 1 основного ТП);

– WH_PR1, WH_PR2 – запаси готової продукції першого та другого видів у резервуарному парку виробничого складу (для роботи фази 2 основного ТП);

– PH1_A, PH1_B, PH1_C, PH1_D – локальні запаси вихідних реагентів на виробничій ділянці фази 1 основного ТП (для виконання поточного Майстер рецепту);

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

– 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 1.8 показаний зовнішній вигляд електричної імітаційної моделі рідких матеріальних потоків, що «перекачуються» трубопровідною системою між виробничим складом та 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.

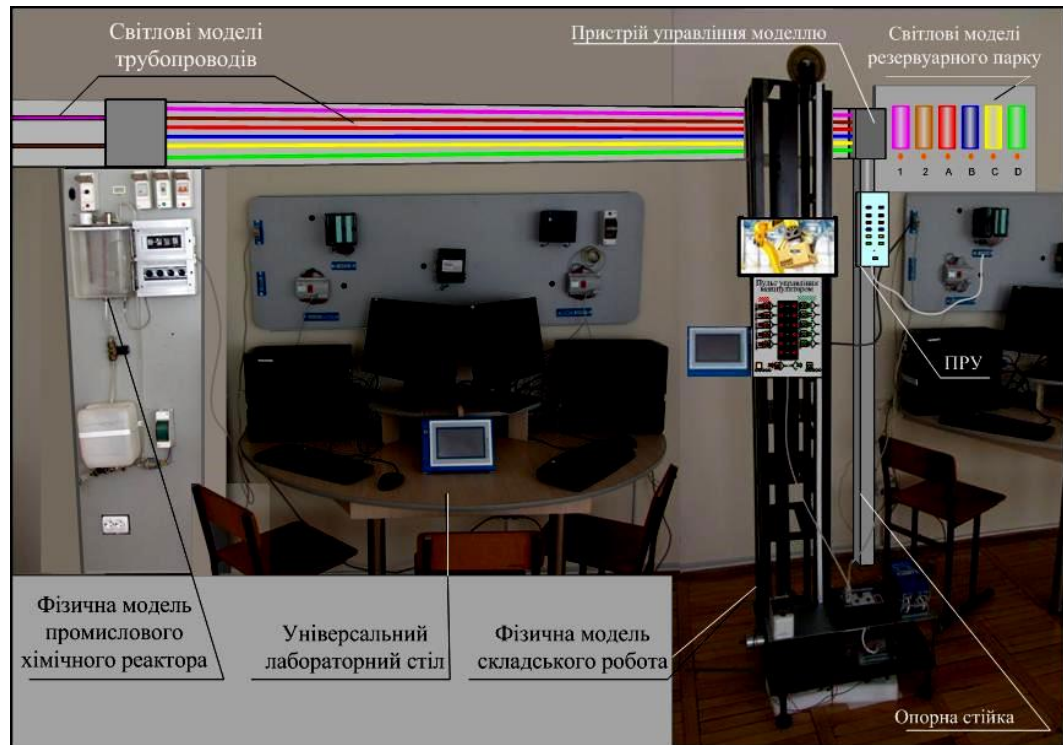


Рисунок 1.8 – Модель системи трубопроводів між промисловим складом і фазою 1 основного ТП

На рисунку 1.9 показаний зовнішній вигляд конструкції електричної імітаційної моделі рідких матеріальних потоків (системи 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



Рисунок 1.9 - Імітаційна модель рідких матеріальних потоків (системи трубопроводів) між фазами 1 і 2 основного ТП

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

1.3 Цифрова трансформація аналогічних технічних процесів

Трубопровідний транспорт широко використовується в тих галузях промисловості, де потрібно ефективне і надійне функціонування виробничої системи, стійкої до складних і зазвичай нестабільних умов роботи [11].

Тому у світовій практиці вже накопичений великий практичний досвід цифрової трансформації таких технічних процесів транспортування різних технологічних рідин. Основною метою таких змін, як правило, є підвищення ефективності процесу транспортування, поліпшення адаптації цього процесу до швидких змін виробничого завдання, підвищення надійності транспортного обладнання та збільшення інформаційної прозорості процесу переміщення рідких матеріальних ресурсів на виробництві.

Згідно з ідеями концепції «Індустрія 4.0» цифрова трансформація будь-якої трубопровідної транспортної системи, як правило, стосується двох стадій її життєвого циклу: стадії розробки («Development») типу такої системи та стадії використання («Usage») конкретного її екземпляру [26].

Наприклад, на стадії розробки типу нової трубопровідної транспортної системи пропонується широко застосовувати цифрове проєктне моделювання як статичного функціонування системи (конструкція, територіальне розміщення, склад обладнання і т.п.), так і її роботу у динаміці (зміна тисків, потоків, механічних та температурних параметрів уздовж всієї системи, а також функціонування трубопровідного обладнання – насосів, вентилів і т.п.).

Прикладом такої системи проєктного цифрового моделювання є програмна система «Pipe2024» фірми «KYPipe» [12, 13]. Ця система спочатку була розроблена професорами цивільної інженерії з Університету Кентуккі (США), а потім постійно оновлювалась та обслуговувалась протягом понад 40 років і натеper є найпоширенішим і найнадійнішим механізмом гідравлічного аналізу у світі. Система «KYPipe» моделює воду, нафту, нафтопродукти, хімічні речовини, холодоагенти, каналізаційні системи

низького тиску тощо. Її можна на стадії проєктування трубопровідної системи використовувати, наприклад, для вибору та визначення розмірів труб, насосів, клапанів, резервуарів та інших пристроїв системи. На рисунку 1.10 показаний приклад виведення результатів моделювання значень рівня та потоку рідини в накопичувальному резервуарі трубопровідної транспортної системи.



Рисунок 1.10 – Розрахунок рівня та потоку рідини в накопичувальному резервуарі трубопровідної транспортної системи

Окремі інструменти цієї системи проєктного моделювання дозволяють виконувати калібрування та функції оптимізації роботи насоса трубопровідної транспортної системи, навіть з його звуковим моделюванням (рисунок 1.11).

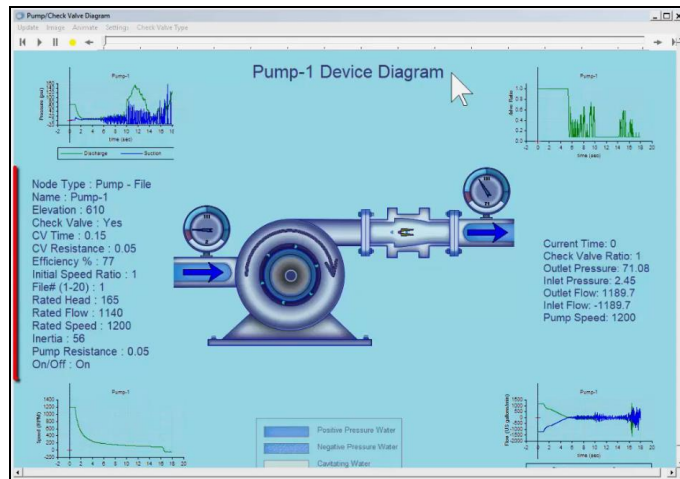


Рисунок 1.11 – Інструмент цифрового моделювання динаміки роботи насосу

При цифровому моделюванні трубопровідної транспортної системи можна перевіряти її критичні режими роботи. На рисунку 1.12 показаний один із таких розрахунків, який визначає місця трубопровідної системи, де тиск рідини всередині труби перевищує допустимі норми (є ризик виникнення прориву труби та витоку рідини).

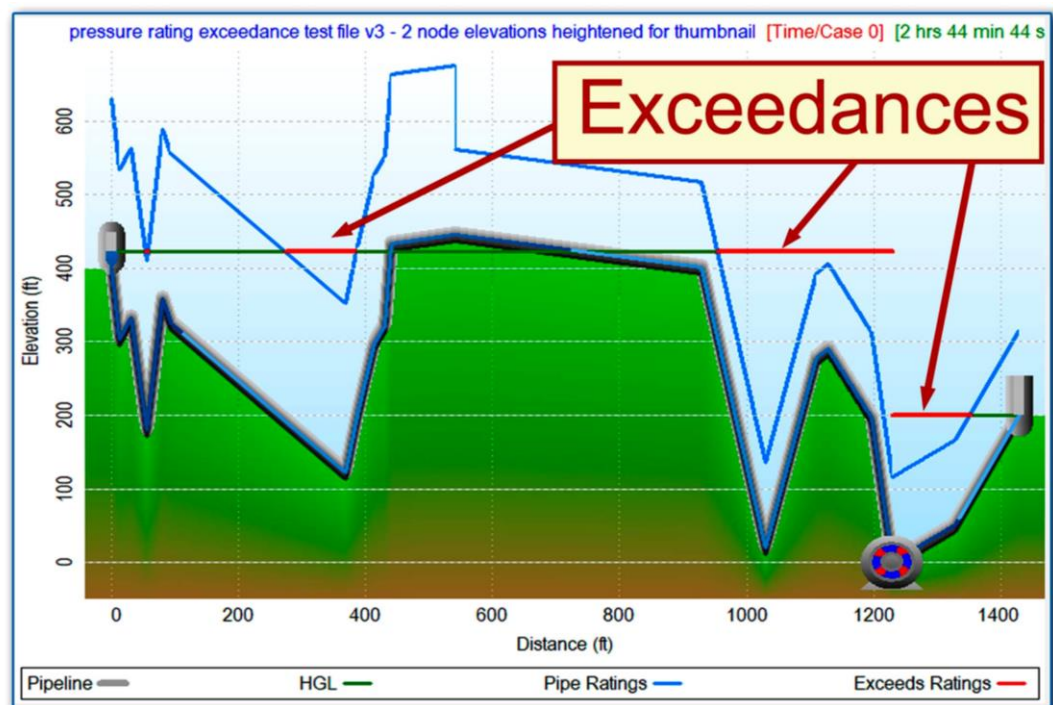


Рисунок 1.12 – Діаграма розподілу тиску в трубопровідній системі та місця його небезпечного зростання

Ще однією корисною функцією системи «Pipe2024» є можливість анімації потоків рідини вздовж профілю трубопровідної системи. Ця функція може показувати анімацію рівня рідин у цистернах і резервуарах, швидкості роботи насосів і швидкості потоку рідини у трубах. Користувач може вказати перший і останній вузли потрібного профілю трубопровідної транспортної системи на її моделі «Map View», після чого анімація буде створена автоматично.

На рисунку 1.13 наведений приклад такої анімації. Як видно з рисунку,

модель відображає поточний напір або лінію тиску, а також зміну напору/тиску у часі уздовж вибраного профілю (параметри відображення тиску включають також показ зон кавітації у відповідних трубах).

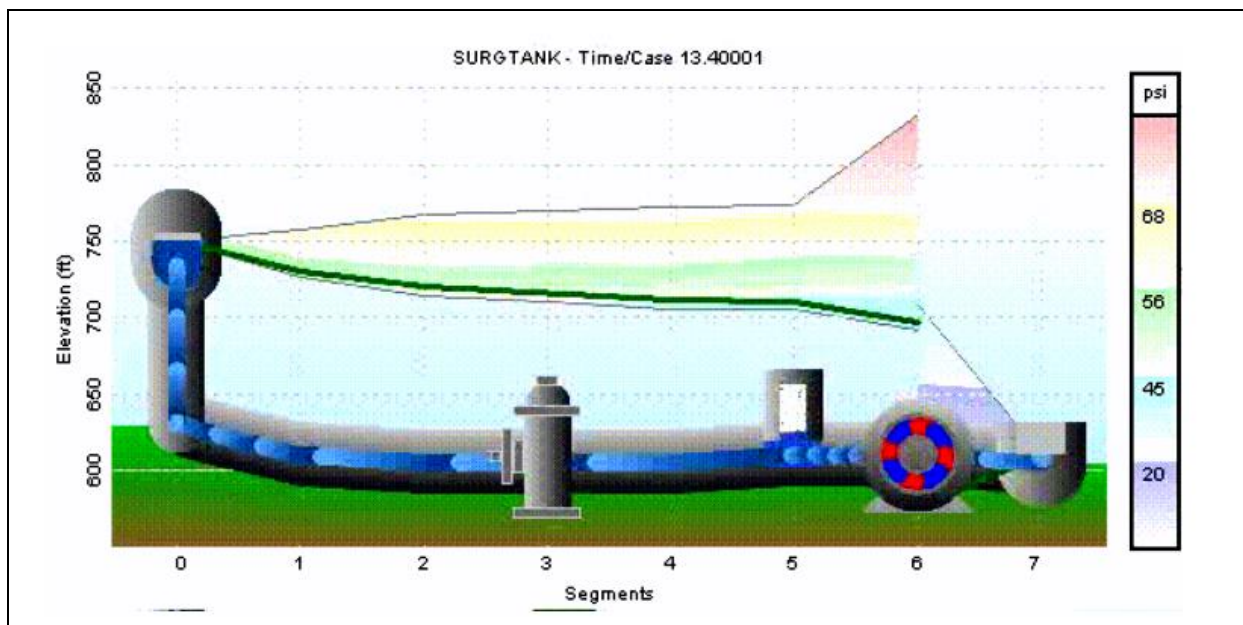


Рисунок 1.13 – Анімаційне відображення динаміки роботи конкретного профілю трубопровідної системи

Користувач може встановлювати швидкість анімації, зупиняти та запускати її, що дозволяє йому переглядати та аналізувати перехідну активність моделі в будь-який момент моделювання. Також відображається час або реєстр анімації. Серед інших форматів анімації можна зберігати як файли AVI, анімовані GIF або MP4.

Ще однією функцією є «Обмін DXF». Ця програмна функція дозволяє користувачеві імпортувати дані про труби (лінії та полілінії) із файлів формату AutoCAD DXF R12 для створення моделі системи труб у системі «Pipe2024». Система «Pipe2024» також експортує модель і текстові мітки назад в AutoCAD. Це дозволяє презентувати моделі та обмінюватися ними в середовищі AutoCAD, а також використовувати можливості AutoCAD для креслення та інших операцій. Ця функція не вимагає встановлення AutoCAD на тій же машині, що й «Pipe2024».

Функція «Google Earth Exchange» дозволяє користувачеві імпортувати дані з KMZ-файлів «Google Earth» із вбудованим KML. Атрибути з KMZ і KML можуть бути зіставлені з атрибутами в моделі, як-от діаметр труби. Також дані можна експортувати в «Google Earth KMZ». Ця функція не потребує встановлення «Google Earth» на тій же машині, що й «Pipe2024».

Програмна функція «GIS Exchange» імпортує та експортує дані «Pipe2024» у шейп-файли та з них. Інтерфейс ГІС (геоінформаційна система) є повністю сумісним варіантом підтримки моделі для кількох користувачів, які по-різному використовують один набір даних моделі. Ця функція не потребує встановлення «ArcGIS» або іншої ГІС-програми на тій самій машині, що й «Pipe2024».

На стадії використання конкретного екземпляру трубопровідної транспортної системи інструменти концепції «Індустрія 4.0» зазвичай використовуються для досягнення високої безпечності та надійності процесу транспортування, оптимального управління транспортною системою,

виключення можливих аварійних витоків рідин, що транспортуються, та запобігання їх розкрадання [14-17].

Наприклад, в [14] описана новітня екосистема цифрових трубопроводів (рисунок 1.14), яка не тільки сприяє підвищенню безпеки діючих трубопроводів, але й допомагає операторам трубопроводів підвищити ефективність усієї системи трубопроводів (рисунок 1.15), підвищити доступність трубопровідної системи для користувачів, враховуючи постійно зростаючий їх попит.

В [15] описане інше новітнє рішення системи управління трубопровідною системою подачі води, яке отримало назву «Розумне управління водою» («Smart Water»), яке є інтеграцією різних сучасних технологій і методів управління водою. Наприклад, такі сучасні технології, як великі дані в Інтернеті, Інтернет речей і ГІС (геоінформаційна система), тісно



Рисунок 1.14 – Архітектура екосистеми цифрових трубопроводів



Рисунок 1.15 – Робоче місце оператора екосистеми

інтегруються з такими технологічними операціями, як зчитування лічильників води, перевірка безпеки та прийом замовлень у сфері водопостачання. В результаті система управління інтегрує ресурси в усіх аспектах, опираючись на системне програмне забезпечення, яке ділиться ресурсами на сервісній платформі, відкриває інформацію про дані для зовнішнього світу, точно прогнозує аналіз і методи управління міжгалузеву інтеграцією.

Основним змістом усієї цієї системи є оптимізація моделі сутності алгоритму та прийняття точних рішень на основі прогнозного аналізу моделі сутності. Ця модель, що реалізована у вигляді цифрового двійника трубопровідної системи, генерує дані, що стосуються роботи всіх частин трубопровідної системи – «джерело води — мережа питної води — водопровідна станція — мережа водопровідної системи — вторинне водопостачання — кран». Як основа реалізації такого цифрового двійника застосована хмарна платформа промислового Інтернету речей «Metaverse» від компанії Siemens (рисунок 1.16), на якій розгорнуто усе системне програмне забезпечення, зв'язане через мережу Інтернет з безліччю фізичних приладів.

3. Перевірка трубопровідної системи (включає події, статус перевірки, тип, цикл обробки, тривалість перевірки, статистичні методи перевірки та представлення цифрових статистичних даних в реальному часі для кожного статусу завдання перевірки).

4. Планування виробництва води (враховує діяльність водопровідної компанії, станції моніторингу водопровідної системи, станції моніторингу свердловини як джерела води, станції нагнітання водопровідної системи тощо).

5. Управління системою на рівні SCADA (збір даних і моніторинг, хмарна архітектура з можливістю розгортання на термінали; забезпечує універсальні послуги IoT, адаптується до всіх сенсорних пристроїв (рисунок 1.17), оперативно отримує робочі дані, відображає в режимі реального часу



Рисунок 1.17 – Система ультразвукових лічильників води
трубопровідної системи

стан води в мережі трубопроводів, підтримує вказівки щодо розгортання точок моніторингу та дозволяє оператору легко зрозуміти динаміку трубопровідної системи).

6. Моніторинг якості води (базується на концепції Інтернету речей, на основі інформаційних технологій і технологій моделювання якості води, а

також на комплексній географічній інформації, телеметрії, цифровій мережі, мультимедіа та комп'ютерному моделюванні; для реалізації моніторингу якості води, потоку води, джерела забруднення, факторів навколишнього середовища, робочого стану інженерного обладнання та об'єктів система постійно збирає відповідну цифрову інформацію, на основі якої відділ прийняття рішень здійснює ефективне комплексне управління середовищем якості води її джерела та забезпечує інформаційні гарантії для прийняття стратегічних рішень).

Ідея використання цифрових двійників з метою комплексного управління діючими масштабними трубопровідними транспортними системами знаходить зараз все більшого розповсюдження. При цьому для цифрового двійника, наприклад, нафто- та газопровідної системи важливо ще перед його впровадженням чітко означити його допоміжну роль (функції) у процесі ведення, відповідно, нафтового чи газового трубопровідного бізнесу [16]. Зокрема, ця роль може бути описана структурою програмного сценарію та парадигмою його застосування у конкретній нафто- і газопровідній транспортній системі.

Така структура програмного сценарію має описувати з'єднання технології цифрового двійника та нафто- і газопровідного бізнесу (рисунок 1.18), а прикладна парадигма має забезпечувати наукове і розумне логічне керівництво для детального проектування та реалізації кожного сценарію даного застосування.

Сценарій застосуванні цифрового двійника, показаний на рисунку 18, був розроблений шляхом дослідження та аналізу таких основних бізнес-задач як планування, централізоване регулювання, експлуатація виробництва, ліквідація аварій, планування аварійного обслуговування та управління активами, що дало змогу означити понад 100 актуальних виробничих вимог.

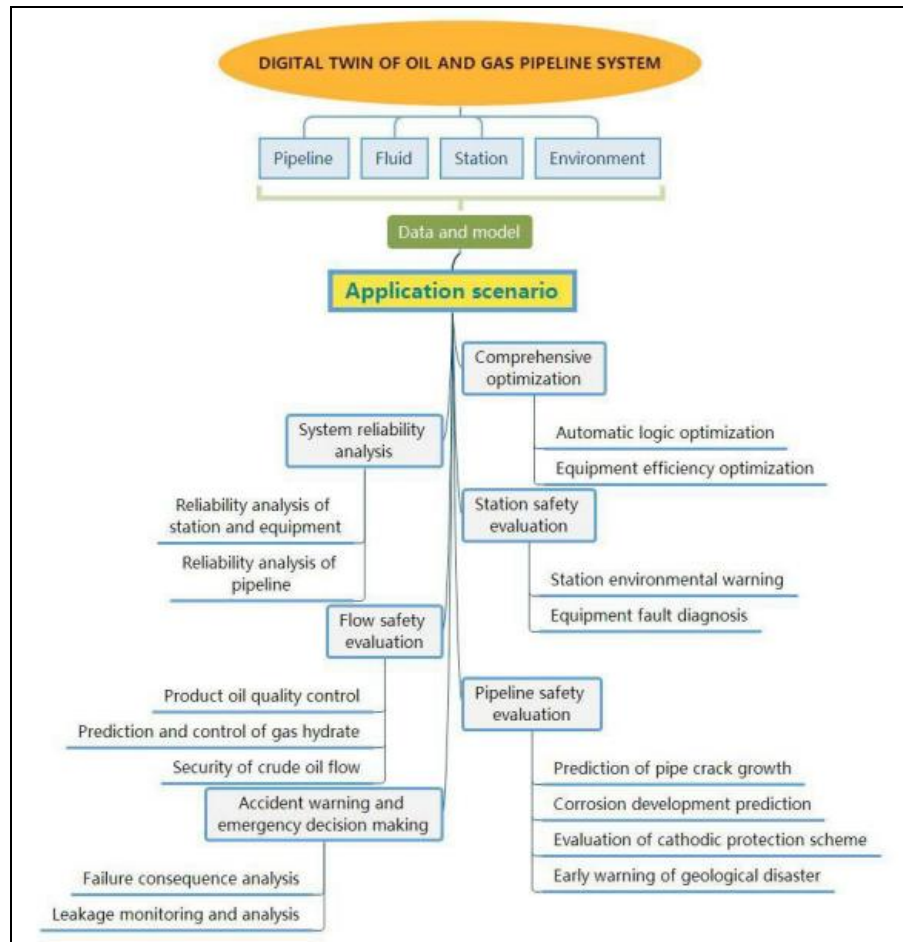


Рисунок 18 – Фреймворк сценарію застосування цифрового двійника нафто- і газопровідної системи

На основі аналізу цих вимог і були остаточно сформовані 6 сценаріїв застосування першого рівня та 16 сценаріїв застосування другого рівня (див. рисунок 18). При цьому прикладний сценарій першого рівня потребує даних, моделей і обчислень зі свого прикладного сценарію другого рівня та виконує більш комплексний аналіз і розрахунок.

При реалізації такого сценарію були прийняті такі проєктні рішення:

1. Ділення трубопровідної системи на такі частини – трубопровідну, рідинну та навколишнього середовища (рисунок 1.19).

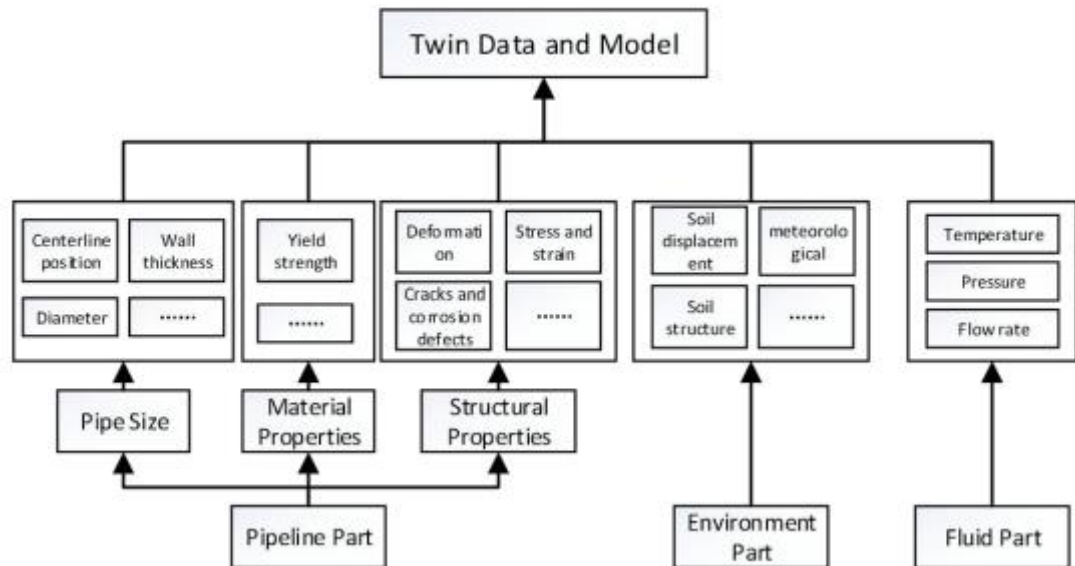


Рисунок 1.19 – Поділ цифрового двійника на частини

2. Дані та моделі чотирьох частин збираються в цифровий формат двійника, а локальні модулі аналізу та розрахунку називаються відповідно до вимог сценарію застосування. При цьому кожний модуль аналізу та розрахунку повинен мати гарну розширюваність та інтерактивність, а також мати різну деталізацію, відповідну до вимог сценарію.

3. Відповідно до попередньо встановленого потоку інформації, результати аналізу та розрахунків передаються в бізнес системи в сценарії програми.

4. Так як цифровий двійник використовує посередництво для обміну даними, моделями, знаннями і результатами між різними сценаріями застосування, то треба реалізувати кореляцію цих сценаріїв застосування для досягнення головної мети роботи нафто- або газопровідної екосистеми (рисунок 1.20).

На цьому рисунку показана сценарна кореляція, яка стосується забезпечення безпеки трубопровідної системи. Наприклад, після розрахунку тенденції зростання тріщини труби, тенденції розвитку її корозії, потенціалу

її катодного захисту або тенденції зміщення навколишнього ґрунту можуть бути

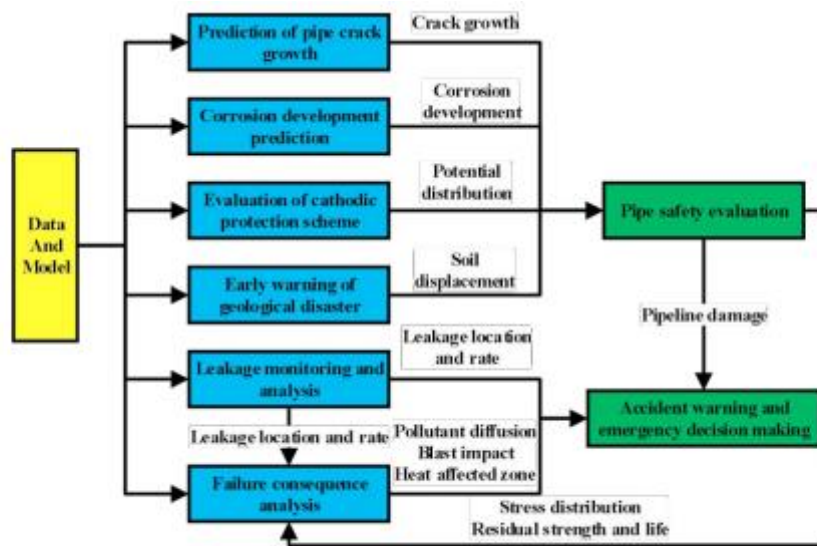


Рисунок 1.20 - Приклад сценарної кореляції для програми цифрового двійника

отримані точні дані щодо розподілу механічної напруги, залишкової міцності і залишкового терміну служби ключових частин системи. Завдяки цьому цифровий двійник може вказати на найнебезпечніші і слабкі частини трубопровідної системи на поточний момент часу. Якщо ж буде виток рідини з труби, то система моніторингу знайде місце витoku та спрогнозує кількість витoku, а цифровий двійник за цими даними може розрахувати діапазон дифузії забруднюючих речовин, зону впливу вибуху та розподіл тепла по площі, згідно з чим може бути виконане або своєчасне обслуговування трубопроводу, або розроблений план аварійного ремонту, або план охорони навколишнього середовища.

В [17] описаний ще один приклад цифрової трансформації трубопровідної транспортної системи, який стосується прогнозування стану її обладнання та виконання прогнозного його технічного обслуговування. Це рішення застосовує технологію «Connected IoT» для реалізації системи

різноманітних пристрої моніторингу стану обладнання, збору даних, таких як температура та вібрація (рисунок 1.21). Розпізнаючи закономірності у зібраних даних, ця система прогнозує потенційні поломки обладнання і забезпечує цим самим своєчасне їх усунення. Такий сучасний підхід зменшує експлуатаційні витрати та забезпечує безперебійну (надійну) роботу трубопровідної транспортної системи.

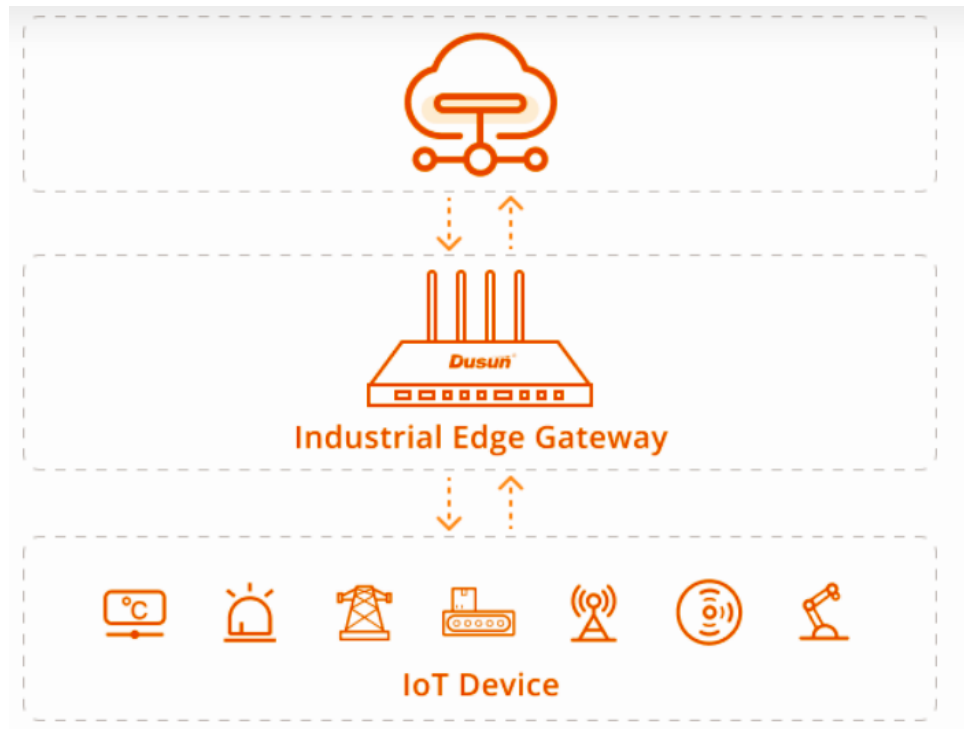


Рисунок 1.21 – Архітектура екосистеми IoT прогнозного технічного обслуговування

Таке рішення дозволяє забезпечити цілісність трубопроводів, запобігти можливого витоку рідини з трубопроводу (наприклад нафти), що зазвичай спричиняє значну екологічну шкоду та великі фінансові витрати. Для цього треба розмістити уздовж трубопроводу відповідні датчики Інтернету речей для моніторингу внутрішнього тиску, температури та рівнів корозії матеріалу труби. Алгоритми машинного навчання можуть аналізувати ці великі дані, щоб виявити ознаки корозії або витоку. Відповідні

попередження системи прогнозування у разі виникнення будь-яких ненормальних умов експлуатації трубопроводу дозволять виконувати швидкий його ремонт та запобігти небезпечним витокам рідини.

На рисунку 1.22 показаний варіант можливої реалізації даної системи IoT прогнозного технічного обслуговування (ТО) трубопроводу.

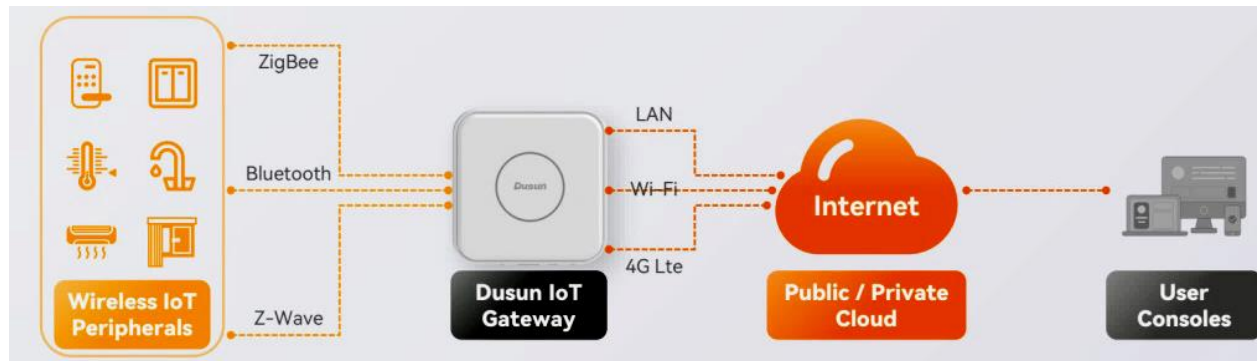


Рисунок 1.22 – Структура системи IoT прогнозного ТО

Ця структура застосовує такі складові частини: інтелектуальні сенсори, шлюз IoT та хмарну платформу.

Інтелектуальні сенсори — це новітні пристрої здобування цифрових даних, що точно налаштовані для збору важливих даних про поведінку обладнання. Вони вимірюють різні фізичні параметри — вібрацію, температуру, акустику, тиск, ультразвук тощо, кожний з яких може бути пов’язаний з виявленням того чи іншого ненормального стану трубопроводу (знос, аномалія, потенційна несправність). Ці сенсори відстежують і передають дані в режимі реального часу з робочого середовища технологічного обладнання трубопроводу, створюючи основу для прийняття обґрунтованих рішень.

Розумний шлюз IoT – це нервовий центр, який долає розрив між фізичною частиною системи, насиченою сенсорами, та інтелектом хмарної платформи. Його широкий функціонал є запорукою ефективності всієї екосистеми прогнозованого технічного обслуговування:

1. Агрегація даних і попередня обробка: працюючи на границі системи,

шлюз IoT збирає та фільтрує дані з безлічі сенсорів. Це гарантує, що лише релевантні та стислі дані переходять через смугу пропускання до хмари.

2. Переклад протоколу зв'язку: сенсори часто використовують різноманітні протоколи зв'язку. Шлюз IoT узгоджує ці протоколи, створюючи єдину мову для безперебійного спілкування з усім спектром сенсорів.

3. Локальний аналіз і відповіді в реальному часі: шлюз IoT — це не просто інструмент передачі; він також має локалізовані обчислювальні можливості, наприклад, виконує прості алгоритми для негайного виявлення червоних прапорців, що дозволяє реагувати в режимі реального часу на критичні події без затримок, що викликають зворотні передачі в хмару.

4. Безпека та цілісність даних: оснащений механізмами шифрування та автентифікації, шлюз IoT захищає цілісність і конфіденційність переданих даних.

Хмарна платформа — це інтелектуальний центр з усіма цінними потоками даних, що прокладає шлях для глибокого розуміння та стратегічного передбачення. Її основні функції такі:

1. Зберігання даних і доступність: хмара пропонує достатньо місця для зберігання даних, зібраних із датчиків. Це забезпечує доступність і масштабованість, враховуючи зростаючий обсяг даних без обмежень.

2. Розширена аналітика та розпізнавання шаблонів: використовуючи машинне навчання та прогнозу аналітику, хмара витягує закономірності та тенденції з історичних даних. Це дозволяє спостерігати незначні аномалії, прогнозувати майбутній збій та керує прогнозним ТО.

3. Візуалізація та підтримка прийняття рішень: хмара надає зацікавленим сторонам практичну інформацію, перетворюючи необроблені

дані в інтуїтивно зрозумілі візуалізації. Ці візуальні підказки допомагають швидко приймати рішення, забезпечуючи своєчасне втручання.

4. Співпраця та масштабованість: спільна робота в хмарі сприяє обміну думками між командами незалежно від географічного розподілу. Його масштабованість гарантує, що інфраструктура IoT прогнозованого ТО може розвиватися разом зі зростаючим обсягом операцій.

1.4 Розробка архітектури нового комп'ютеризованого навчального засобу

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 1.23) [27].



Рисунок 1.23 – Основні цілі вдосконалення промислових підприємств

Їх три:

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

Тому цифрові рішення, закладені в концепцію трансформації виробництва у «розумне» виробництво Індустрії 4.0, породжують для досягнення означених цілей відповідні очікування (рисунок 1.24):

- 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.

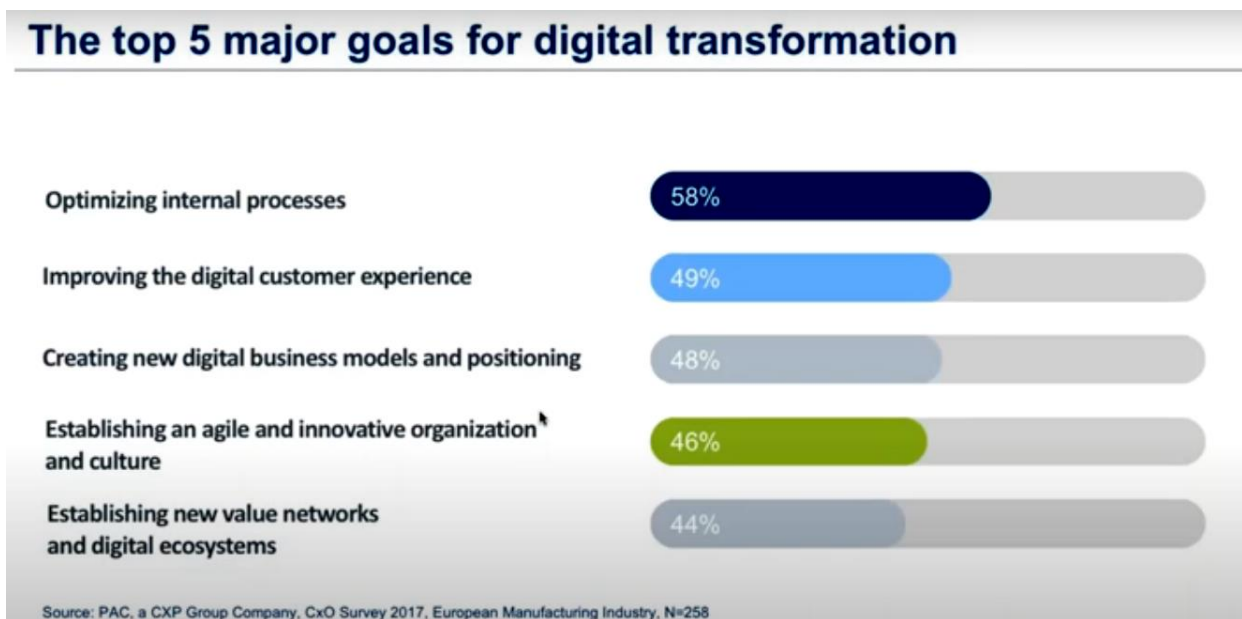


Рисунок 1.24 – Основні очікування виробників від цифрової трансформації

Проте, на шляху впровадження нових цифрових рішень у виробництво зараз існує декілька основних завад (рисунок 1.25):

- 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

Major challenges/barriers in the area of digital transformation



Рисунок 1.25 – Основні причини гальмування цифрової трансформації

цифрової трансформації на відсутність відповідних технологій на виробництві. Тобто вони не приділяють технологіям належної уваги, а дарма.

На рисунку 1.26 показані ті сучасні цифрові технології, які можуть зробити виробництво набагато ефективнішим.

Which technologies are considered relevant

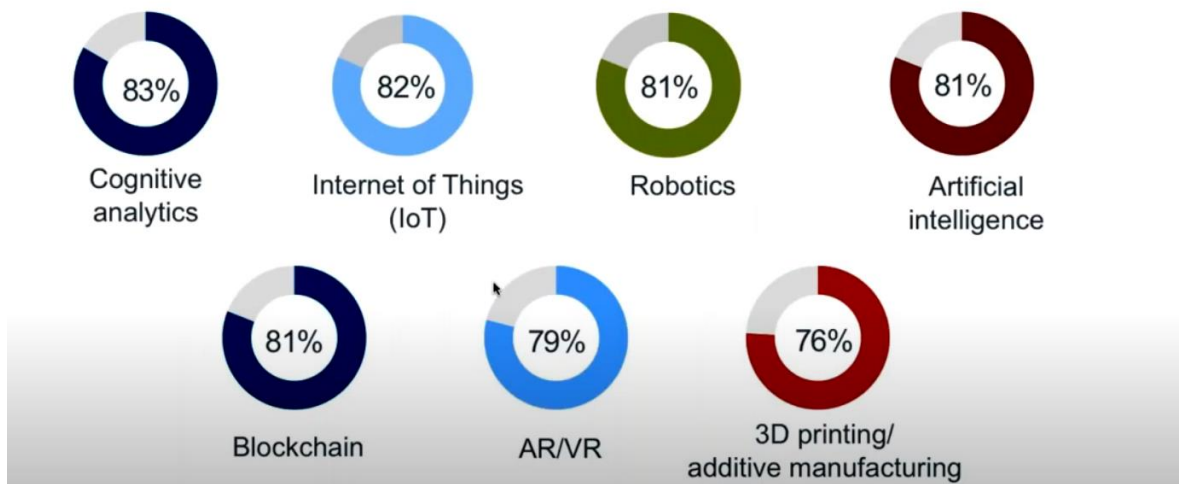


Рисунок 1.26 – Основні цифрові технології для вдосконалення виробництва

На цьому рисунку показаний відсоток передових компаній, які вважають

ту чи іншу технологію дуже важливою для своєї цифрової трансформації.

Яка ж повинна бути загальна стратегія зазначено цифрової трансформації виробництва? На рисунку 1.27 показаний рекомендований шлях цифрової трансформації, який означає основні її стадії:

Recommendations for manufacturers

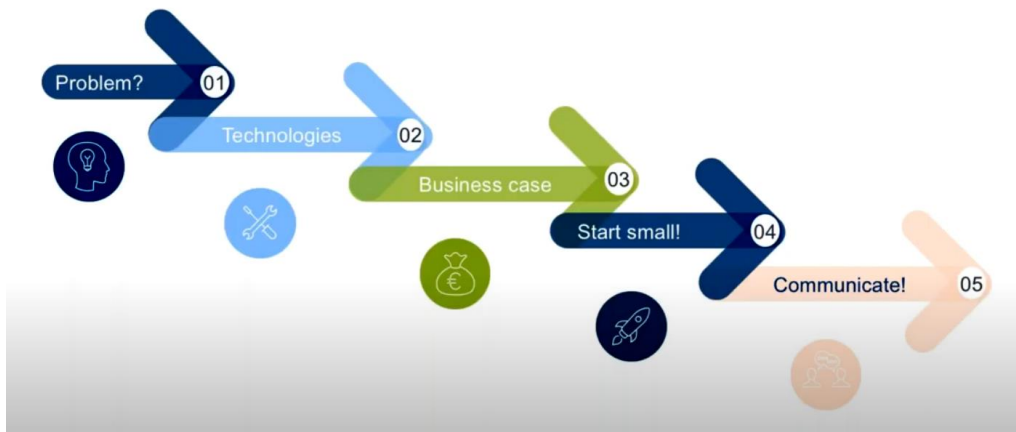


Рисунок 1.27 – Оптимальна стратегія цифрової трансформації виробництва

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

Саме ця стратегія була покладена в основу розробки архітектури нового комп'ютеризованого навчального засобу (КНЗ) для практичного вивчення цифрової трансформації трубопровідної транспортної системи хімічного підприємства (рисунок 1.28) .

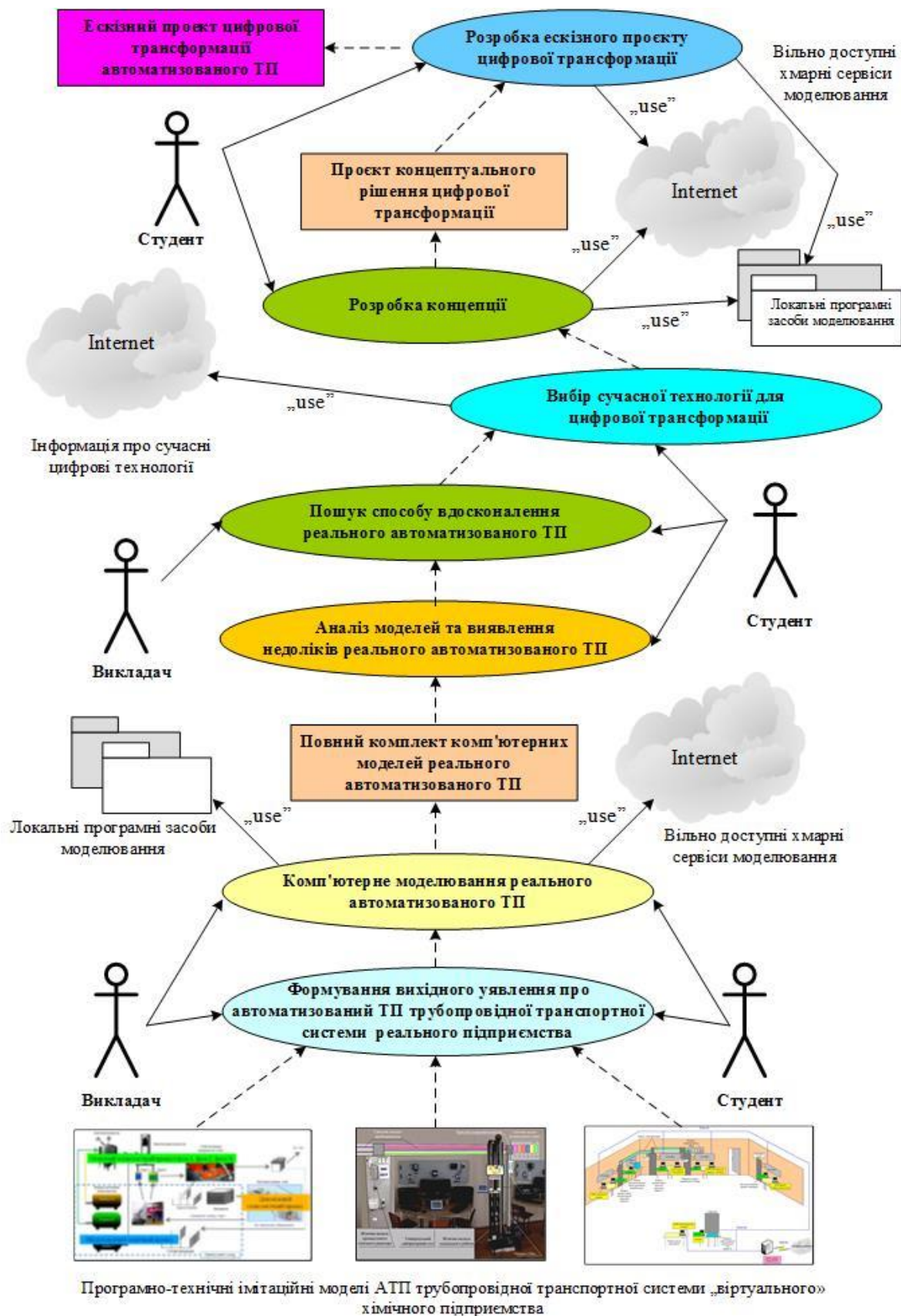


Рисунок 1.28 – Архітектура нового комп'ютеризованого навчального засобу

Основою архітектурного рішення нового КНЗ є лабораторна модель АТП трубопровідної транспортної системи «віртуального» хімічного підприємства, реалізованого в лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка» ФІПА. На першій стадії його цифрової трансформації необхідно сформувати чітке та деталізоване уявлення щодо можливої фізичної реалізації цього автоматизованого технічного процесу (АТП). Це уявлення формується у свідомості студента як самостійно, так і за допомогою викладача.

Після того, як це уявлення сформоване остаточно можна виконувати розробку відповідної цифрової моделі цього процесу, яка відображатиме потрібні властивості його фізичної реалізації. При моделюванні застосовуються доступні хмарні сервіси цифрового моделювання. Розробку моделі може здійснювати або студент за індивідуальним завданням, або викладач при підготовці навчальних завдань для наступних стадій цифрової трансформації. В результаті цих процедур розробляється цифрова модель існуючого АТП, яку можна переглядати за допомогою відповідних програмних засобів на комп'ютері лабораторії.

На основі отриманої цифрової моделі існуючого АТП студент виконує його аналіз з метою визначення тих чи інших недоліків (проблем), які в подальшому можна буде усунути шляхом його цифрової трансформації. З усіх знайдених недоліків (проблем) студент обґрунтовано вибирає найбільш важливий (важливу) і переходить до пошуку способу вдосконалення АТП з метою усунення цього недоліку (цієї проблеми). Цей пошук студент може виконувати за участі викладача, який надаватиме додаткові консультації та роз'яснення.

Після того, як будуть намічені шляхи вдосконалення АТП, студент здійснює вибір та обґрунтування тієї сучасної цифрової технології (або технологій) в рамках концепції «Індустрія 4.0», що дозволить здійснити намічені вдосконалення АТП. При цьому студент може використовувати додаткову інформацію з джерел Інтернет.

Коли потрібна цифрова технологія (або технології) знайдена (знайдені),

то студент виконує розробку концепції запропонованого рішення цифрової трансформації, використовуючи для цього доступні хмарні сервіси цифрового моделювання. Готова цифрова модель, що відображає запропоноване концептуальне рішення цифрової трансформації існуючого АТП трубопровідного транспортування, є першим результатом практичного освоєння студентом процесу цифрової трансформації. Цей результат може бути отриманий на рівні бакалаврської підготовки студентів спеціальностей 151 чи 174, наприклад, в рамках дисципліни «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва».

На основі отриманого концептуального рішення студент може продовжити проєктування на новому КНЗ і перейти до етапу розробки ескізного проєкту цифрової трансформації. Цей етап характеризується більшою деталізацією проєктних рішень і також передбачає активне використання доступних хмарних сервісів цифрового моделювання, наприклад, з технічною анімацією динаміки вдосконаленого АТП трубопровідного транспортування. Результатом цього етапу буде ескізний проєкт цифрової трансформації існуючого АТП, яка представлена у вигляді відповідної цифрової моделі. Цю модель можна буде переглядати за допомогою або хмарних додатків цифрового моделювання, або через локальні програмні засоби на комп'ютері лабораторії.

Даний ескізний проєкт може бути результатом практичного освоєння процесу цифрової трансформації магістрами спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», наприклад, в рамках дисципліни «Промисловий Інтернет речей».

1.5 Висновки до розділу

В результаті виконання досліджень в рамках даного розділу виконаний огляд основних напрямків цифрової трансформації сучасного промислового виробництва, яка здійснюється з метою впровадження ідей четвертої промислової революції «Індустрія 4.0». Для подальшого обґрунтування загальної архітектури нового комп'ютеризованого навчального засобу для практичного вивчення студентів процесу цифрової трансформації була досліджена існуюча в комп'ютеризованій навчальній лабораторії реалізація технічного процесу трубопровідної транспортної системи, яка функціонує в рамках «віртуального виробництва» уявної хімічної продукції. Досліджена предметна область цифрової трансформації аналогічних технічних процесів та намічені ті її напрями, які можуть вивчатися студентами на новому навчальному засобі. Розроблена архітектура нового комп'ютеризованого навчального засобу, яка відображає як його складові частини, так і основні стадії виконання студентами відповідного проєктного практикуму.

2 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «МОДЕЛЮВАННЯ ІСНУЮЧОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ТП»

2.1 Розробка моделі діяльностей

Згідно з вимогами ТЗ на магістерську кваліфікаційну роботу, що розроблене у попередньому розділі, перша стадія практичного вивчення студентом процесу цифрової трансформації автоматизованого ТП (АТП) трубопровідної транспортної системи хімічного підприємства, що існує на даний час у вигляді відповідної лабораторної моделі в рамках «віртуального виробництва», має складатися з двох таких етапів:

- формування у студента вихідного уявлення про практичну реалізацію цього АТП на реальному хімічному підприємстві, де цей АТП повторює усі дії його існуючої лабораторної моделі;

- додаткове комп'ютерне моделювання статичної та динамічної цього реального АТП з метою формування більш детального уявлення про нього.

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

Проте, крім моделі АТП, в основі архітектури нового КНЗ лежать ще дві інші моделі (див. рисунок 1.28), з дослідження яких і починається весь процес практичного вивчення студентом цифрової трансформації АТП:

- лабораторна програмно-технічна імітаційна модель трубопровідної транспортної системи (лабораторний ТП);

- лабораторна програмно-технічна імітаційна модель інтегрованої автоматизованої системи управління (ІАСУ) процесами «віртуального виробництва», в тому числі, даним лабораторним ТП (лабораторна ІАСУ).

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

Таким чином, аналізуючи вищесказане, можна зробити такі висновки:

- в процесі виконання першої стадії практичного вивчення цифрової трансформації існуючого АТП активною повинна бути не тільки роль «студент», але і роль «викладач», що веде професійну дисципліну або проєктний практикум;

- обидві активні ролі, тобто «студент» та «викладач», по ходу виконання даної стадії повинні поступово розробляти дві пов'язані між собою комп'ютерні моделі – існуючого лабораторного АТП та відповідного йому реального АТП.

Опишемо тепер загальне бачення процесу виконання на новому КНЗ стадії «Моделювання існуючого АТП» у вигляді моделі діяльностей, яка показує взаємний зв'язок усіх робіт з моделювання, що виконують обидві ролі («студент» та «викладач»), та сумісне використання отриманих моделей (рисунок 2.1 та додаток Б). Показані на рисунку діяльності (прямокутники) виконуються акторами «Викладач» і «Студент» у двох областях нового КНЗ – у фізичній області лабораторної ІАСУ «віртуальним виробництвом»

(навчальна лабораторія «Промислова мікропроцесорна техніка» ФІТА) та у віртуальній області комп'ютерного моделювання (програмне забезпечення або лабораторних комп'ютерів, або домашніх комп'ютерів студентів, або «хмарних» сервісів моделювання). Результати цих діяльностей показані у вигляді прямокутників з заокругленими кутами. У цій моделі актор «Викладач» є ініціатором початку виконання всієї послідовності діяльностей даної стадії практичного вивчення цифрової трансформації існуючого АТП трубопровідної транспортної системи.

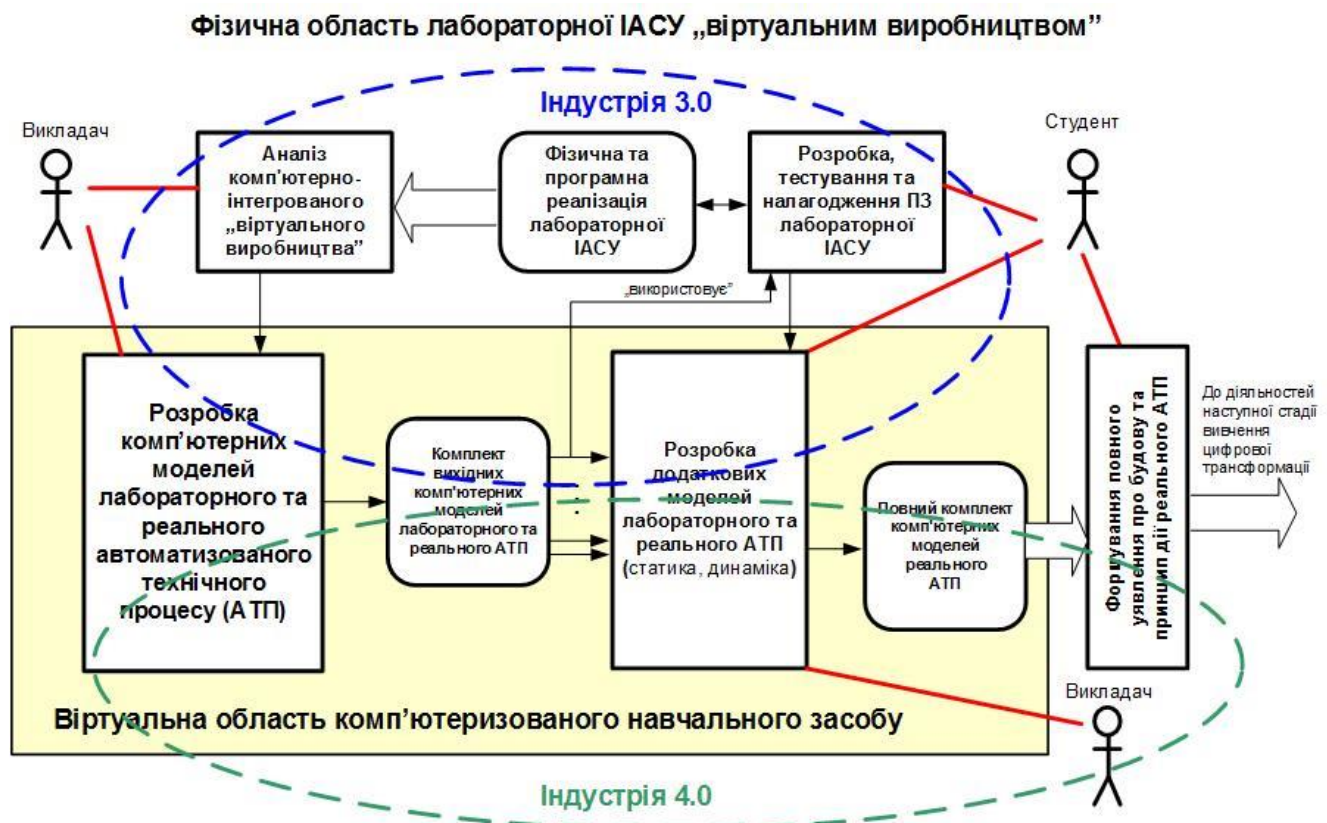


Рисунок 2.1 – Модель діяльностей на стадії «Моделювання існуючого АТП»

На початку даної стадії актор «Викладач» аналізує комп'ютерно-інтегроване «віртуальне виробництво», яке існує в лабораторії у вигляді програмно-технічної імітаційної моделі ІАСУ всім цим виробництвом в цілому та окремою програмно-технічною імітаційною моделлю трубопровідної транспортної системи, тобто лабораторний АТП. Така модель комп'ютерно-інтегрованого виробництва складається з фізичної та

програмної частин. Фізична частина містить технічну частину моделі ТП та реальні промислові засоби його автоматизації. Програмна частина містить програмні моделі процесів транспортування рідких матеріальних ресурсів «віртуального виробництва», окремих вузлів трубопровідної транспортної системи (наприклад насосів для вхідних хімічних реагентів) та прикладні програми управління як даним ТП, так і виробничим процесом в цілому.

На основі проведеного аналізу актор «Викладач» за допомогою доступних програмних застосунків розробляє вихідний комплект моделей, що описують устрій лабораторного АТП та принцип його дії на «віртуальному виробництві». Після цього цей комплект моделей, оформлених у вигляді електронних навчально-методичних матеріалів, використовує актор «Студент», який на практичному курсі або однієї професійної дисципліни, або кількох дисциплін, вивчає ІАСУ «віртуальним виробництвом», розробляючи та тестуючи її програмне забезпечення (ПЗ). Для бакалаврського рівня підготовки такими дисциплінами можуть бути «Технічні засоби автоматизації» та «Проектування систем автоматизації».

Актор «Викладач» може аналізувати результати практичної роботи, виконаної актором «Студент», після чого вносить потрібні корективи у вихідний комплект моделей існуючого АТП. Наприклад, саме за цим сценарієм на якомусь етапі розвитку в модель «віртуального виробництва» були введені додаткові програмно-технічні імітаційні моделі трубопровідного транспорту, а значить і були додатково розроблені його комп'ютерні моделі для навчально-методичних матеріалів.

Таким чином, усі описані вище діяльності стосуються тільки практичного вивчення студентом існуючої лабораторної ІАСУ, що побудована за концепцією «Індустрія 3.0», тобто поточний стан комп'ютерно-інтегрованого виробництва (на рисунку 2.1 ці діяльності окреслені зверху синім пунктирним еліпсом). Проте новий КНЗ призначений для практичного вивчення процесу цифрової трансформації, тобто переходу від ІАСУ за концепцією «Індустрія 3.0» до ІАСУ за концепцією «Індустрія

4.0». Чому ж на ньому треба вивчати поточний стан ІАСУ? А тому, що ця ІАСУ реалізує той же самий стандартний підхід до управління періодичним «віртуальним виробництвом» [5, 32], що і ІАСУ за концепцією «Індустрія 4.0» [33]. Тобто, вивчаючи поточний стан ІАСУ, актор «Студент» освоює і принцип дії ІАСУ «розумного» періодичного виробництва, у яку він буде далі трансформувати існуючий АТП за допомогою нового КНЗ. Крім того, актор «Студент» в ході розробки та тестування прикладного ПЗ з'ясовує для себе його переваги та недоліки (наприклад обмежений функціонал), що далі буде корисним при обґрунтуванні шляхів цифрової трансформації існуючого АТП.

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

Розробку таких вихідних моделей виконує актор «Викладач», який на основі свого бачення, знань та досвіду може здійснити фахову уявну трансформацію лабораторного ТП трубопровідної транспортної системи у відповідний реальний ТП хімічного підприємства (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Суть уявної трансформації лабораторного ТП

Такі моделі актор «Викладач» розроблює за допомогою доступних комп'ютерних графічних та текстових редакторів (локальних чи «хмарних»),

використовуючи і їх додаткові функції, наприклад, вбудовані мови програмування для технічної анімації моделі реального ТП. Якщо ці функції відсутні, то «Викладач» може застосувати доступні промислові програмні засоби автоматизації, в яких функція технічної анімації графічних об'єктів є штатною.

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

В якості додаткових моделей статичної та динамічної реального АТП «Студент» може використовувати ті комп'ютерні моделі, які він використовував в ході розробки та тестування ПЗ існуючого лабораторного АТП, наприклад, схему програми промислового контролера (алгоритм її дії однаковий і для лабораторного, і для реального АТП), або схему даних комп'ютера оператора (обробка даних в ПЗ комп'ютера оператора лабораторного АТП така сама, як і в комп'ютері оператора реального АТП).

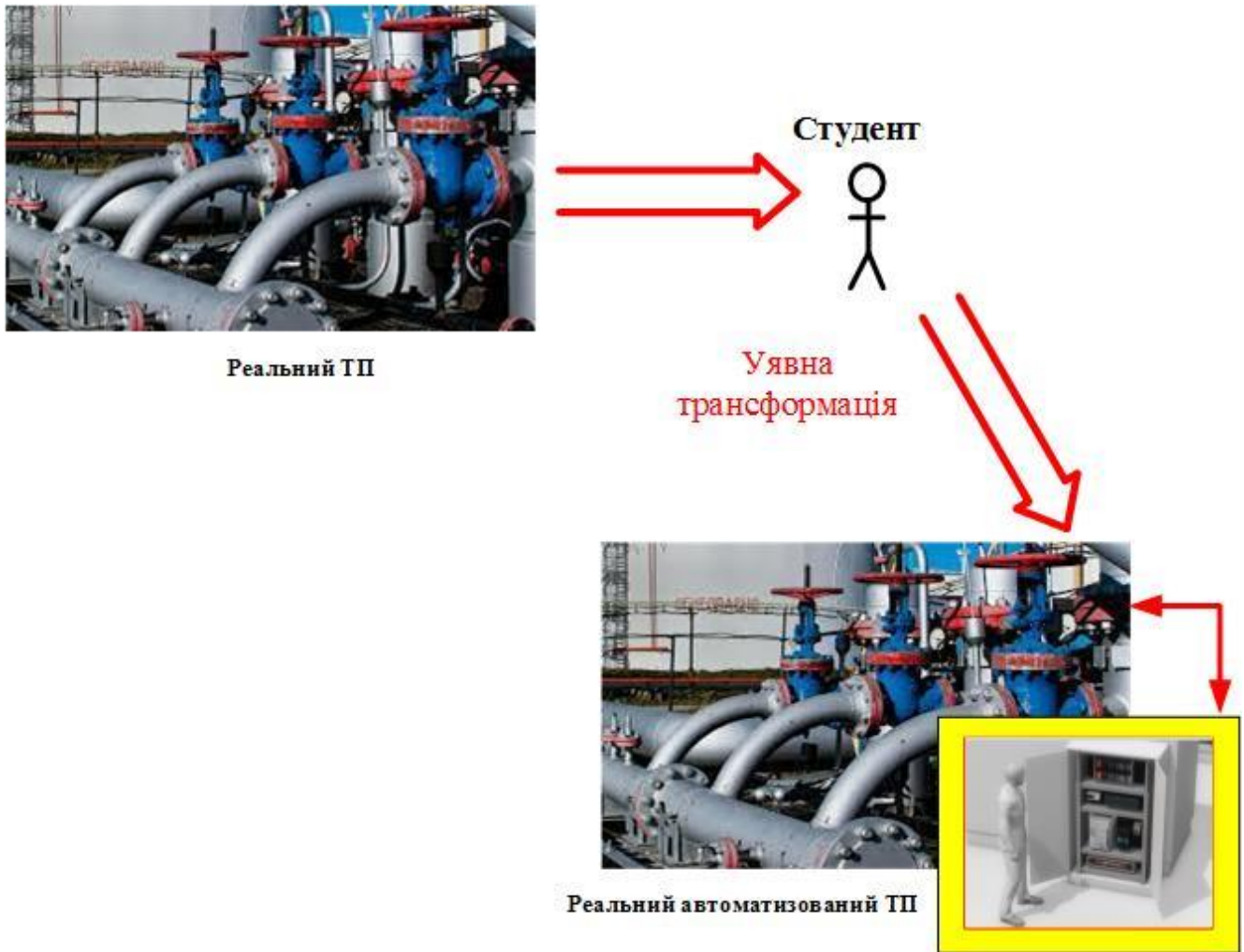


Рисунок 2.3 – Суть уявної трансформації реального ТП у реальний АТП

Крім того, «Студент» може використовувати штатні функції промислових програмних систем автоматизації, з якими він мав справу при розробці лабораторного АТП, для технічної анімації своєї моделі реального АТП.

Актор «Викладач» на цьому етапі моделювання реального АТП також може створювати його додаткові моделі, які допомагають «Студенту» краще зрозуміти особливості будови та принципу дії цього АТП. Наприклад, викладач може розробити додаткову 3D-модель реальної трубопровідної транспортної системи, щоб студент зміг краще зрозуміти її конструкцію та ґрунтовніше вибрати засоби автоматизації, що мають монтуватися на ній.

Після виконання усіх описаних вище діяльностей у актора «Студент» повинно сформуватися повне уявлення про будову та принцип дії існуючого реального АТП і «Студент» зможе перейти до наступної стадії роботи на КНЗ.

2.2 Розробка моделей існуючого АТП актором «Викладач»

Моделювання будь-якого реального об'єкту стає зараз дуже ефективним інструментом як при передачі знань від викладача до студента, так і при самостійному вивченні студентом цього об'єкту [34]. Тому і в новому КНЗ широко застосовується цей інструмент, особливо на стадії «Моделювання існуючого АТП».

Як було зазначено вище, актор «Викладач» при виконанні даної стадії практичного вивчення актором «Студент» цифрової трансформації АТП повинен розробляти різні комп'ютерні моделі, які можна об'єднати у такі групи – «Моделі існуючого лабораторного АТП» та «Моделі існуючого реального АТП». У першу групу входять моделі, які надають достатніх вихідних знань для актора «Студент» щоб він зміг здійснювати діяльність «Розробка, тестування та налагодження ПЗ лабораторної ІАСУ» в рамках практичного курсу однієї чи кількох професійних дисциплін. Усі такі моделі включаються у відповідні навчально-методичні матеріали, які доступні для актора «Студент» через навігатори навчальних дисциплін системи «JetIQ» [35, 36]. По-перше, ці моделі повинні пояснювати ідею лабораторного «віртуального виробництва», по-друге, будову та принцип дії лабораторної ІАСУ цим виробництвом, по-третє, конструкцію імітаційної моделі та принцип дії лабораторного АТП.

Для прикладу нижче наведені кілька таких комп'ютерних моделей, розроблених актором «Викладач». На рисунку 2.4 показана модель основного ТП лабораторного «віртуального виробництва», яка розроблена в додатку

«Power Point» у вигляді комп'ютерної презентації. В цій моделі використовуються як статичні об'єкти, що відображають промислове обладнання цього «віртуального технологічного процесу», так і динамічні об'єкти, які демонструють роботу цього обладнання (наприклад трубопроводів). До цієї графічної моделі додається детальний текстовий опис, що разом дає можливість актору «Студент» краще зрозуміти принцип його дії та взаємні виробничі зв'язки уявного промислового обладнання. В подальшому ці знання актор «Студент» може використати при розробці ПЗ лабораторної ІАСУ даним виробництвом.

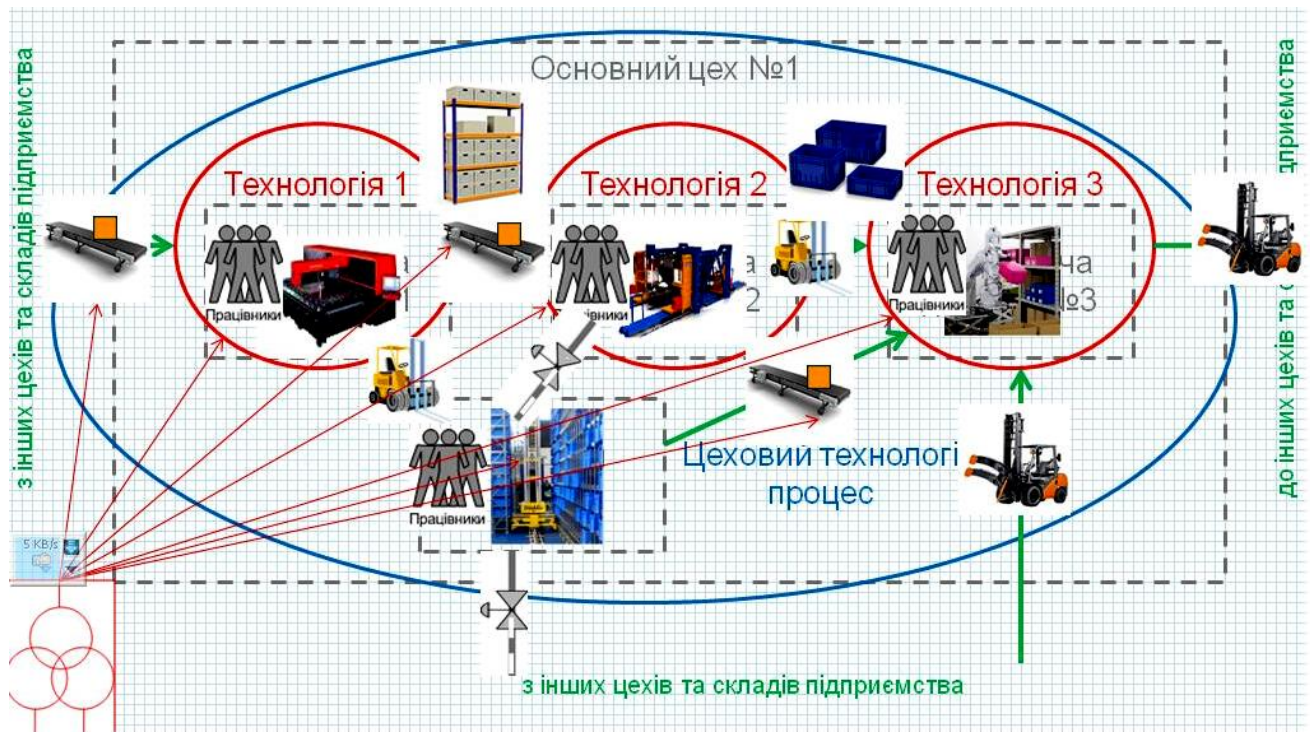


Рисунок 2.4 – Комп'ютерна модель основного ТП «віртуального виробництва»

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

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

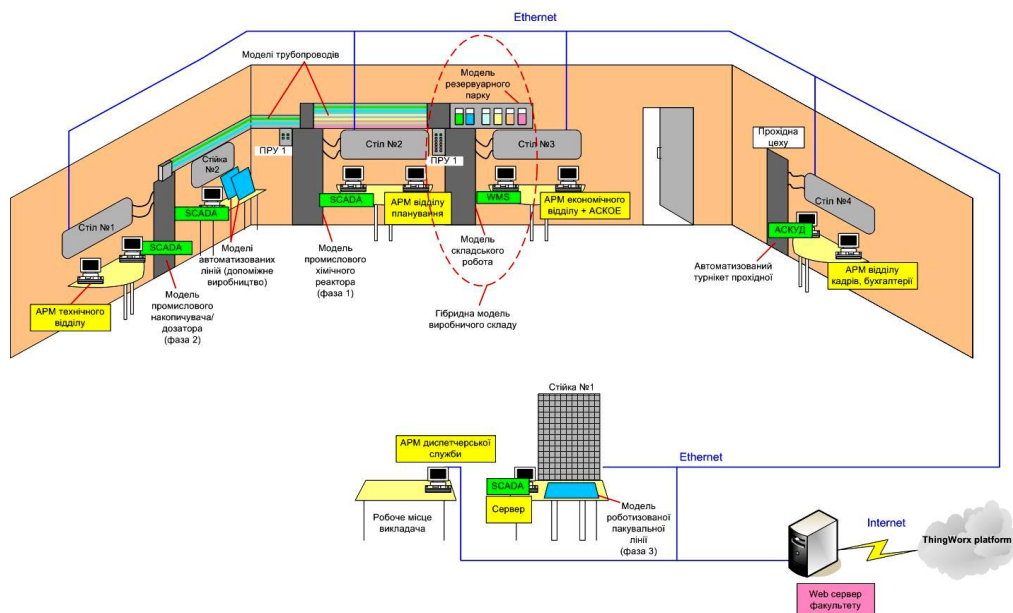


Рисунок 2.5 – Комп’ютерна модель організації ІАСУ у приміщенні лабораторії

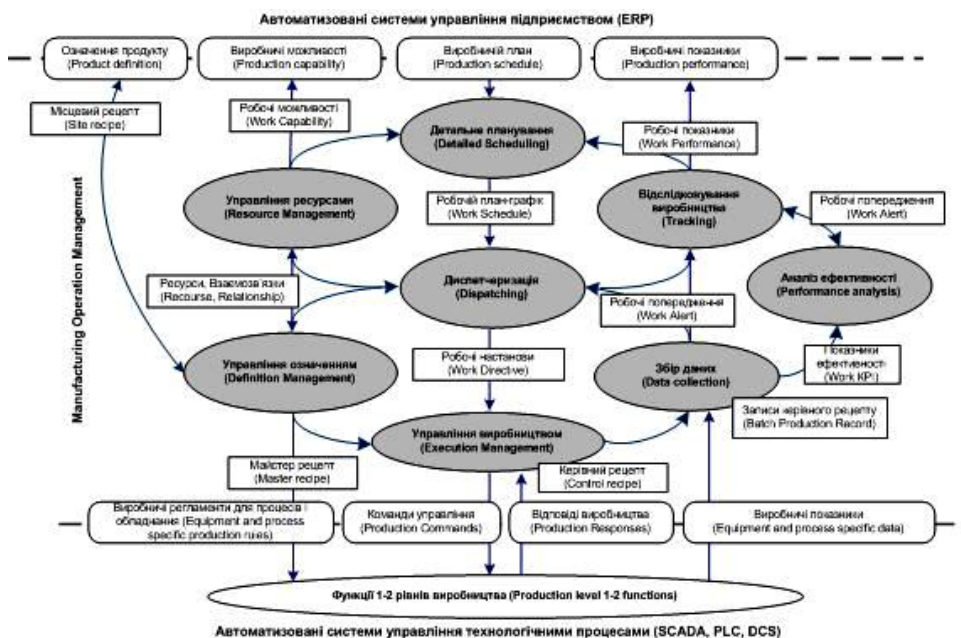


Рисунок 2.6 – Графічна модель функціональної структури лабораторної ІАСУ

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

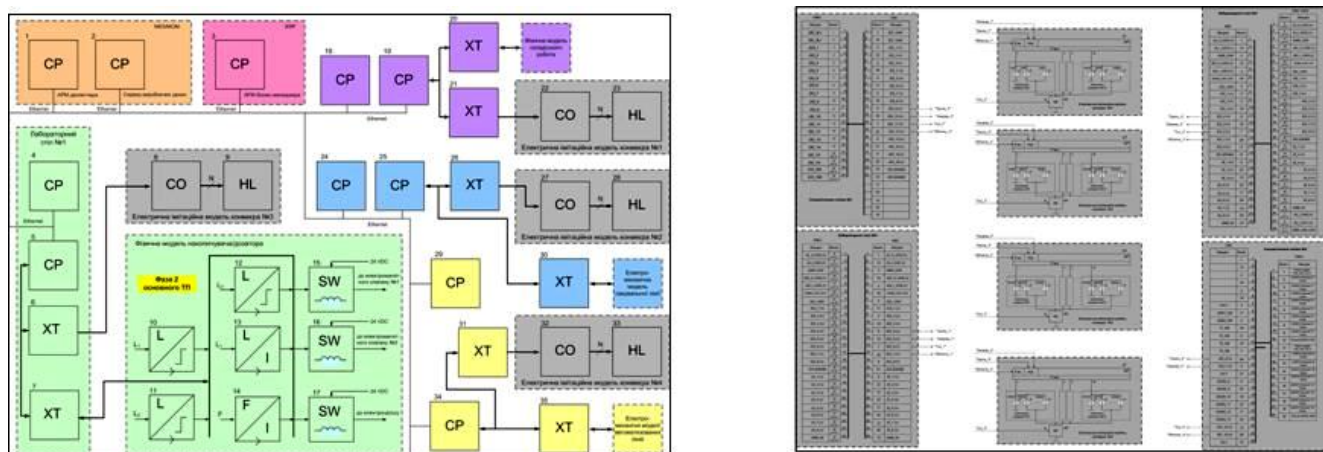


Рисунок 2.7 – Комп'ютерні графічні моделі лабораторного АТП

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

На рисунку 2.8 показаний варіант такої 3D-моделі реального ТП трубопровідної транспортної системи, розробленої засобами графічного редактора «Visio», доступного на «хмарному» сервісі [37].

На цій моделі відображено реальне приміщення деякого хімічного

підприємства, де змонтоване технологічне обладнання трьох фаз основного ТП, допоміжного ТП та ТП виробничого складу, а також промислове обладнання ТП усієї транспортної системи, що обслуговує дане реальне виробництво. Така модель детально описується актором «Викладач» у відповідному текстовому документі, де означається не тільки конструкція реального ТП транспортної системи та його принцип дії, але і надається повний перелік встановленого промислового обладнання даного ТП та основні його конструктивні/технічні характеристики.

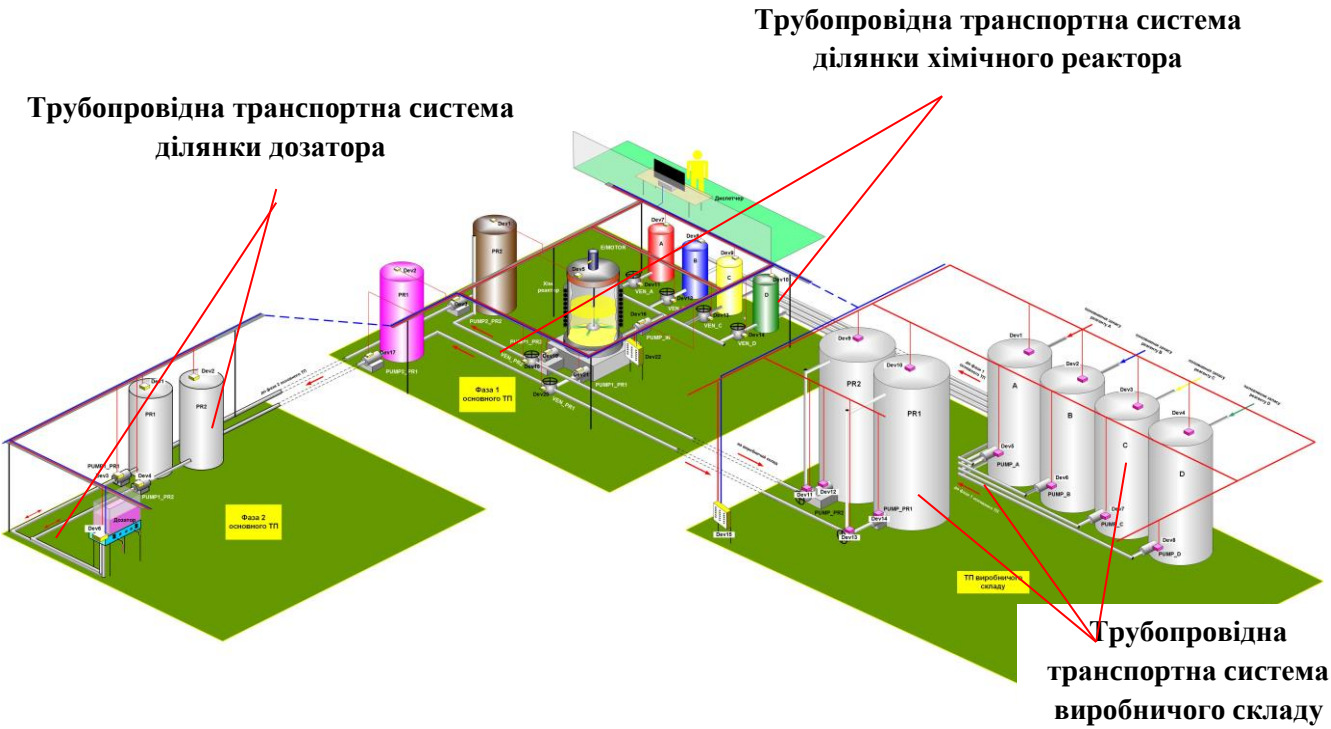


Рисунок 2.8 – Тривимірна графічна модель реального ТП трубопровідної транспортної системи підприємства

У таблиці 2.1 показаний зразок такого переліку.

Таблиця 2.1 – Промислове обладнання реального ТП

Позначення	Призначення	Характеристики
1	2	3
Фаза 1 основного ТП (ділянка хімічного реактора)		

A	Ємність для локального зберігання реагенту А	Розміри, матеріал
B	... B	- « -
C	... C	- « -
D	... D	- « -
PR1	Ємність для локального зберігання готового продукту PR1	Розмір, матеріал, властивості продукту

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
PR2	... PR2	- « -
VEN_A	Вентиль подачі реагенту А до хімічного реактора	Пропускна здатність, властивості реагенту
VEN_B	... B ...	- « -
VEN_C	... C ...	- « -
VEN_D	... D ...	- « -
VEN_PR1	Вентиль подачі готового продукту PR1 з хімічного реактора або до ємності PR1, або на склад	Пропускна здатність, властивості готового продукту
VEN_PR2	... PR2 ...	- « -
PUMP_IN	Електричний насос подачі реагентів до хімічного реактора	Потужність, тип електродвигуна, розміри вхідного та вихідного фланців
PUMP1_PR1	Електричний насос подачі готового продукту PR1 з хімічного реактора або до ємності PR1, або на склад	- « -
PUMP1_PR2	... PR2 ...	- « -
PUMP2_PR1	Електричний насос подачі готового продукту PR1 з ємності локального зберігання до наступної фази основного ТП	- « -
PUMP2_PR2	... PR2 ...	- « -
Фаза 2 основного ТП (ділянка дозатора)		
PR1	Ємність для локального зберігання готового продукту PR1	Розмір, матеріал, властивості продукту

PR2	... PR2	- « -
PUMP1_PR1	Електричний насос 2-направленої дії для перекачування готового продукту PR1	- « -
PUMP1_PR2	... PR2 ...	- « -

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
ТП виробничого складу		
Tank_PR1	Резервуар для зберігання готової продукції типу 1	Габарити, об'єм, властивості рідини, що зберігається
Tank_PR2	Резервуар для зберігання готової продукції типу 2	- « -
PUMP_PR1	Електричний насос для перекачування готової продукції типу 1 зі складського резервуару до ТП хімічного реактора	Потужність, тип електродвигуна, розміри вхідного та вихідного фланців
PUMP_PR2	Електричний насос для перекачування готової продукції типу 2 зі складського резервуару до ТП хімічного реактора	- « -
VENT_PR1	Вентиль подачі готового продукту PR1 або з ТП хімічного реактора до складського резервуару, або зі складського резервуару до ТП хімічного реактора	Пропускна здатність, властивості готового продукту
VENT_PR2	Вентиль подачі готового продукту PR2 або з ТП хімічного реактора до складського резервуару, або зі складського резервуару до ТП хімічного реактора	- « -
Tank A	Ємність для складського зберігання реагенту А	Габарити, об'єм, властивості рідини, що зберігається
Tank B	Ємність для складського зберігання реагенту В	- « -

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

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
PUMP_B	Електричний насос для перекачування реагенту B зі складської ємності до ТП хімічного реактора	- « -
PUMP_C	Електричний насос для перекачування реагенту C зі складської ємності до ТП хімічного реактора	- « -
PUMP_D	Електричний насос для перекачування реагенту D зі складської ємності до ТП хімічного реактора	- « -

Таку статичну графічну модель реального ТП актор «Викладач» може «оживити» за допомогою доступного програмного застосунку. Наприклад, останні версії графічного редактора «Visio» за рахунок вбудованих макросів дозволяють додавати до графічних моделей елементи технічної анімації. Можна використати і доступні програмні системи промислової автоматизації, наприклад IDE «SCADA Trace Mode 6», яку актор «Студент» використовує для автоматизації лабораторного ТП. На рисунку 2.9 показаний варіант «оживлення» тривимірної моделі реального трубопровідного транспорту для фази 1 основного ТП.

З рисунку видно, що зображення ємностей реального ТП постачені штатними лінійчатими кольоровими індикаторами, які відображають динаміку зміни рівня рідини всередині цих ємностей в результаті вхідних чи

вихідних потоків рідин через відповідні трубопроводи, вентилі та насоси (потоки відображаються також штатними засобами анімації таких об'єктів).

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

Таким чином, актору «Студент» буде наданий повний комплект комп'ютерних моделей реального ТП промислової транспортної системи, який він зможе далі трансформувати у реальний автоматизований ТП, використовуючи інші вихідні та додаткові комп'ютерні моделі.

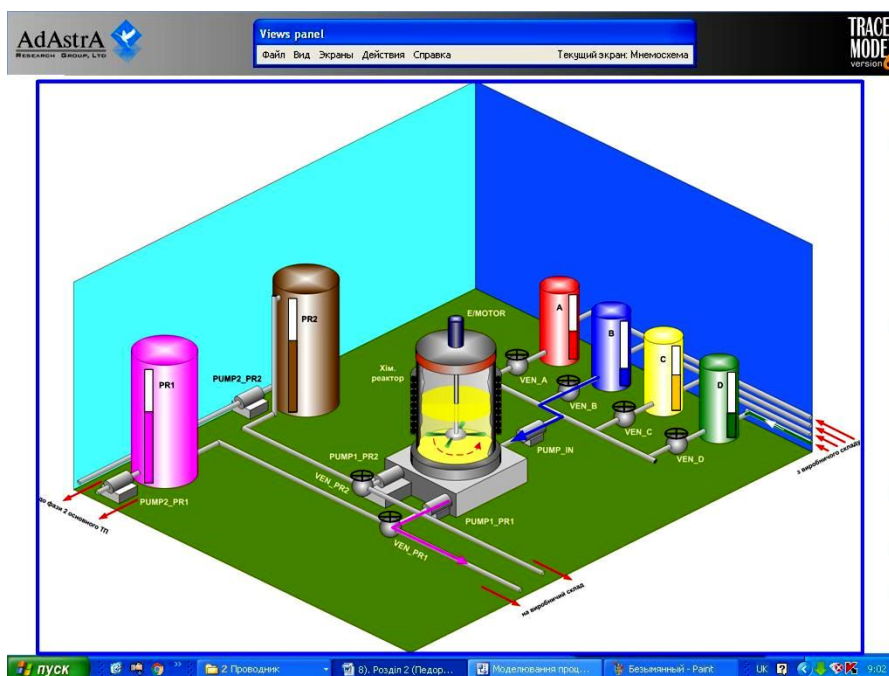


Рисунок 2.9 – Додавання засобів технічної анімації у 3D-модель реального ТП

2.3 Розробка моделей існуючого АТП актором «Студент»

Як зазначено вище, актор «Студент» приймає активну участь у виконанні кожного етапу даної стадії практичного вивчення цифрової трансформації ТП трубопровідної транспортної системи. Так, на першому етапі:

- актор «Студент» спочатку в ході практикуму з однієї чи кількох професійних дисциплін розробляє прикладне ПЗ для лабораторного АТП (лабораторний ТП та лабораторна ІАСУ), користуючись при цьому комплектом його вихідних моделей, наданих «Викладачем», та розробляє свої проєктні моделі даного ПЗ, в результаті чого поступово формує своє власне уявлення про лабораторний АТП трубопровідної транспортної системи;

- потім, отримавши від актора «Викладач» комплект вихідних комп'ютерних моделей реального ТП в рамках іншої професійної дисципліни (наприклад «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва»), поступово формує своє вихідне уявлення про реальний АТП (реальний ТП разом з реальною ІАСУ), який функціонує за тим ж принципом, як і лабораторний АТП.

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

Розглянемо спочатку кілька прикладів комп'ютерних моделей, які актор «Студент» розробляє на першому етапі даної стадії практичного вивчення цифрової трансформації. Наприклад, на рисунку 2.10 показана така графічна модель у вигляді схеми функціональної структури для контролю та управління процесами зберігання та переміщення трубопровідним транспортом «віртуального виробництва» рідких матеріальних ресурсів.

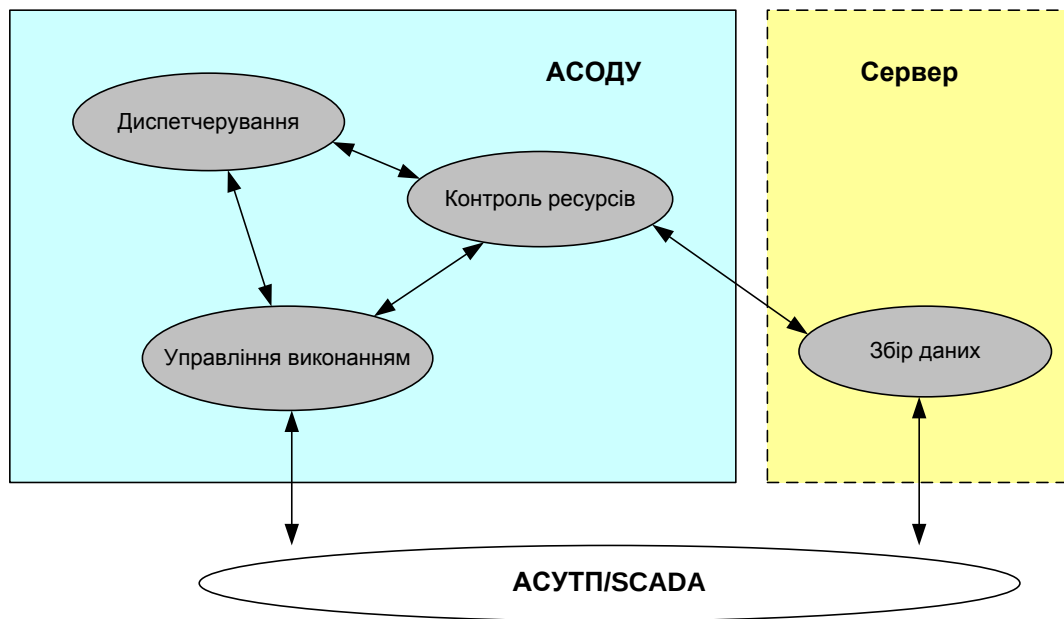


Рисунок 2.10 – Схема функціональної структури для контролю та управління рідкими матеріальними ресурсами

В результаті такої взаємодії вказаних функцій в лабораторній ІАСУ «віртуальним виробництвом» здійснюється не тільки контроль наявних на виробництві рідких матеріальних ресурсів, але і управління їхнім переміщенням. При цьому вихідні дані для контролю ресурсів надає функція «Збір даних», яка інформаційно взаємодіє з функціями нижчого рівня, позначеними на рисунку як «АСУТП/SCADA».

На рисунку 2.11 показана інша графічна модель у вигляді архітектури програмного забезпечення для моделювання наявних на «віртуальному виробництві» запасів рідких матеріальних ресурсів та їх переміщення за допомогою відповідних трубопровідних потоків.

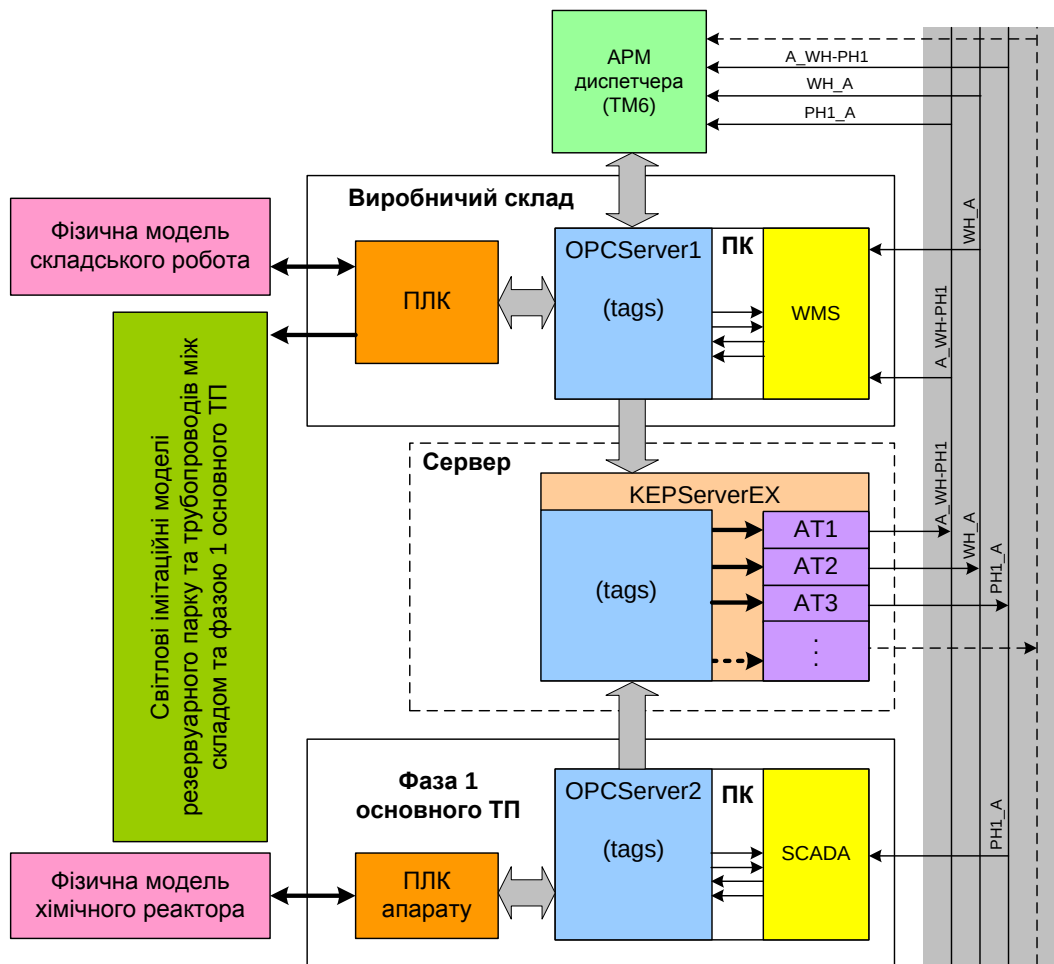


Рисунок 2.11 – Архітектура ПЗ для моделювання запасів та потоків рідких матеріальних ресурсів «віртуального виробництва»

Інша графічна модель прикладного ПЗ лабораторної ІАСУ ТП трубопровідної транспортної системи, яку актор «Студент» розробляє в рамках вказаної дисципліни, показана на рисунку 2.12.

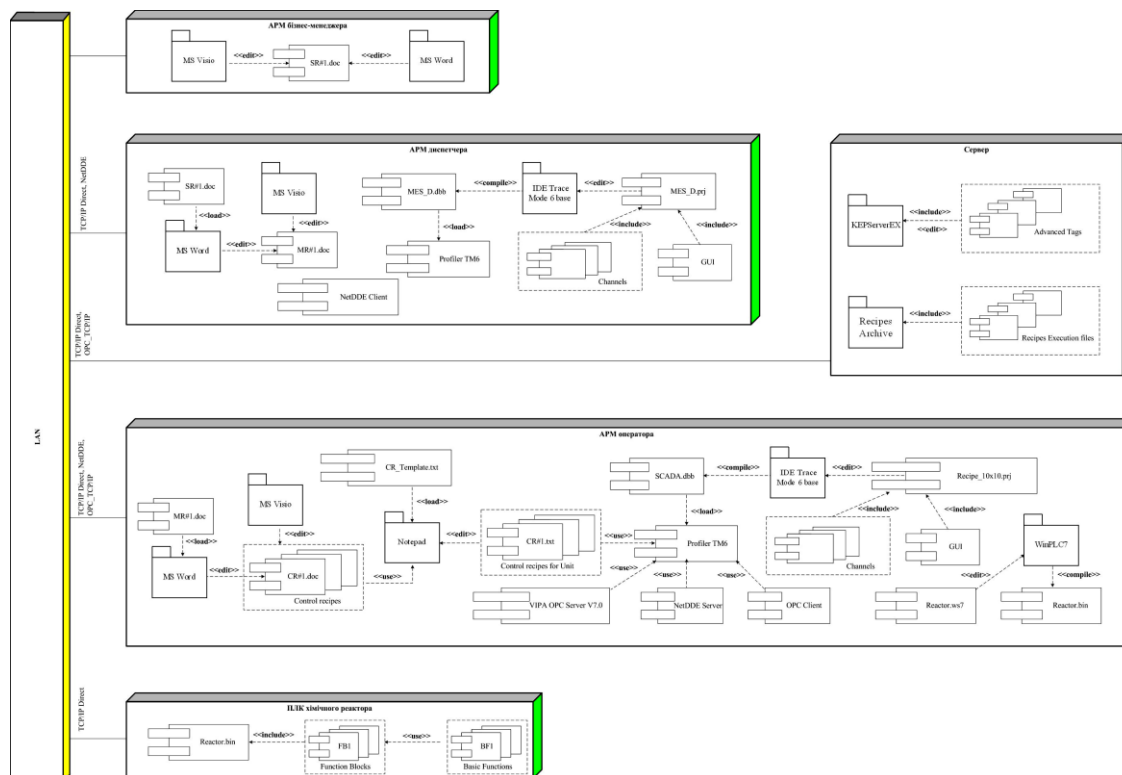


Рисунок 2.12 – Архітектурна модель ПЗ лабораторної ІАСУ

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

Розглянемо тепер ті комп'ютерні моделі, які актор «Студент» обов'язково має розробляти на другому етапі стадії «Моделювання існуючого АТП». Як було зазначено вище, «Студент» використовує при цьому як тривимірну модель реального ТП, надану актором «Викладач» (див. рисунок 2.8), та, якщо є, додаткову модель динаміки цього ТП (див. рисунок 2.9), так і деякі графічні моделі прикладного ПЗ лабораторної ІАСУ, розроблені «Студентом» в рамках різних професійних дисциплін (див. рисунки 2.10 – 2.12).

На даному етапі актор «Студент» повинен розробити модель реальної ІАСУ, яка відображає, по суті, варіант реалізації лабораторної ІАСУ в умовах реального хімічного підприємства. Ці умови, без сумніву, відрізняються від

тих умов, які є в лабораторії. На підприємстві встановлено реальне промислове обладнання, що має конкретні конструктивні та технічні характеристики, а у трубопроводах та в ємностях знаходяться реальні хімічні рідини з відповідними фізико-хімічними властивостями (вхідні реагенти, готова хімічна продукція).

Тому спочатку актор «Студент» повинен обґрунтовано вибрати для реальної ІАСУ відповідні зразки промислових технічних засобів автоматизації (ТЗА) і розмістити їх на тривимірній моделі реального ТП, наданій «Викладачем». Відповідна графічна модель для фази 1 основного ТП показана на рисунку 2.13.

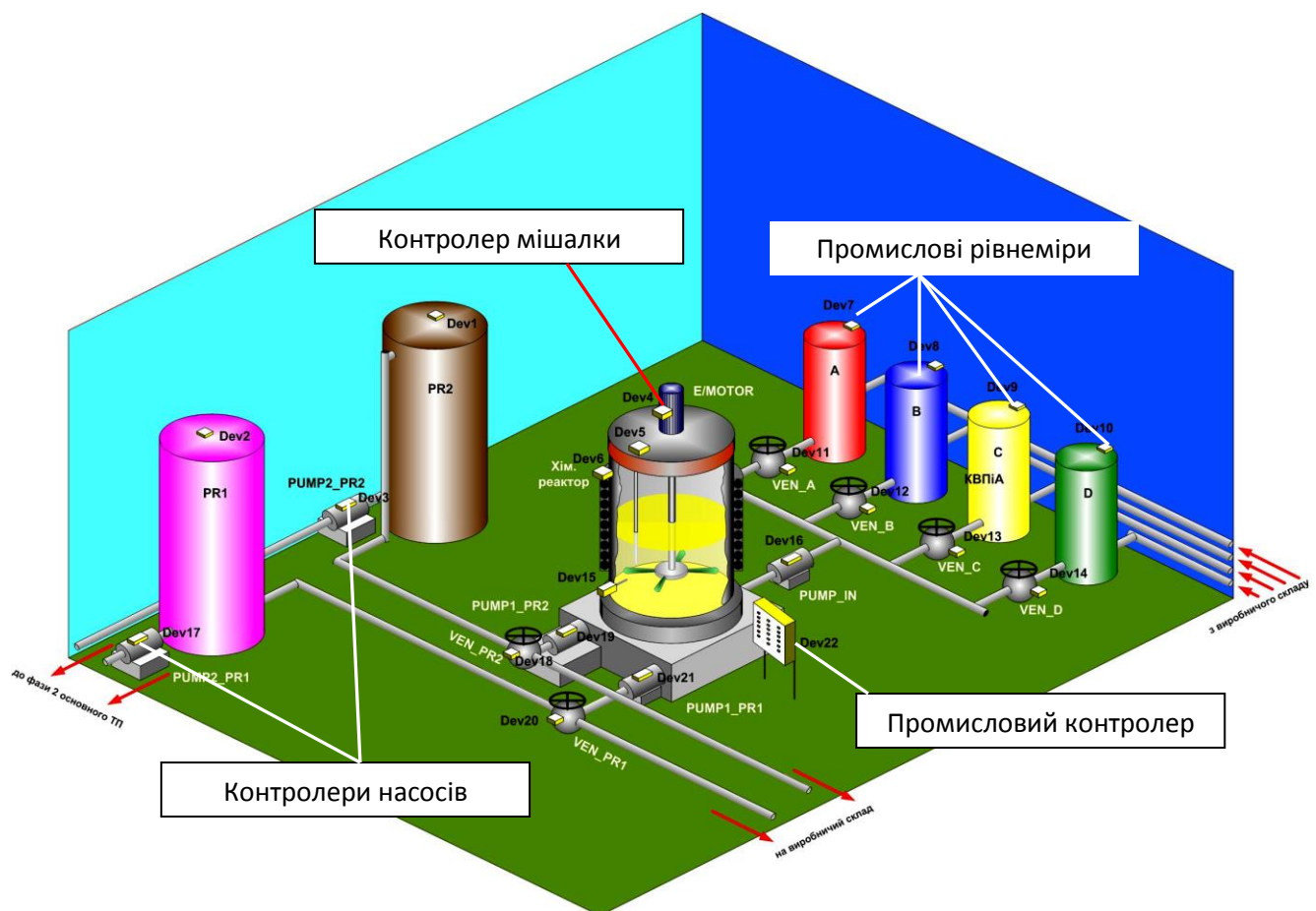


Рисунок 2.13 – Розміщення на тривимірній моделі реального ТП технічних засобів автоматизації

На рисунку кожному ТЗА привласнене позиційне позначення «Dev#», де # - позиційний номер. Ці ТЗА обґрунтовано вибираються актором «Студент» з відповідних каталогів промислової автоматизації, враховуючи конструктивно/технологічні характеристики промислового обладнання реального ТП, які наведені в таблиці 2.1. Ця графічна модель також постачається текстовим переліком усіх вибраних ТЗА з означенням їх призначення, типу та основних конструктивно/технічних характеристик. В таблиці 2.2 наведений приклад такого опису ТЗА для фази 1 реального основного ТП.

Таблиця 2.2 – Технічні засоби автоматизації реального ТП

Поз. позначення	Призначення	Тип	Характеристики
1	2	3	4
Dev1	Рівнемір ємності з готовим продуктом PR2	...	...
Dev2	Рівнемір ємності з готовим продуктом PR1	...	...
Dev3	Контролер насосу PUMP2_PR2	...	...
Dev4	Контролер є/приводу мішалки	...	...
Dev5	Рівнемір вмісту хімічного реактора	...	...
Dev6	Контролер нагрівача хімічного реактора	...	...
Dev7	Рівнемір ємності з реагентом А	...	...
Dev8	Рівнемір ємності з реагентом В	...	...
Dev9	Рівнемір ємності з реагентом С	...	...
Dev10	Рівнемір ємності з реагентом D	...	...

Dev11	Контролер вентиля VEN_A	...	...
-------	----------------------------	-----	-----

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4
Dev12	Контролер вентиля VEN_B	...	...
Dev13	Контролер вентиля VEN_C	...	...
Dev14	Контролер вентиля VEN_D	...	...
Dev15	Датчик температури вмісту хімічного реактора	...	...
Dev16	Контролер насосу PUMP_IN	...	...
Dev17	Контролер насосу PUMP2_PR1	...	...
Dev18	Контролер вентиля VEN_PR2	...	...
Dev19	Контролер насосу PUMP1_PR2	...	...
Dev20	Контролер вентиля VEN_PR1	...	...
Dev21	Контролер насосу PUMP1_PR1	...	...
Dev22	Промисловий контролер АТП у шафі автоматики	...	...

Після розміщення усіх ТЗА на тривимірній моделі реального ТП актор «Студент» повинен спроектувати систему сигнальної арматури, яка забезпечить передачу електричних сигналів (вимірювання, управління) між промисловим контролером «Dev22» та рештою ТЗА.

Для прокладання сигнальних кабелів на реальному підприємстві зазвичай застосовується спеціальна монтажна арматура. На рисунку 2.14 показаний варіант розміщення цієї арматури у приміщенні того ж самого реального ТП.

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

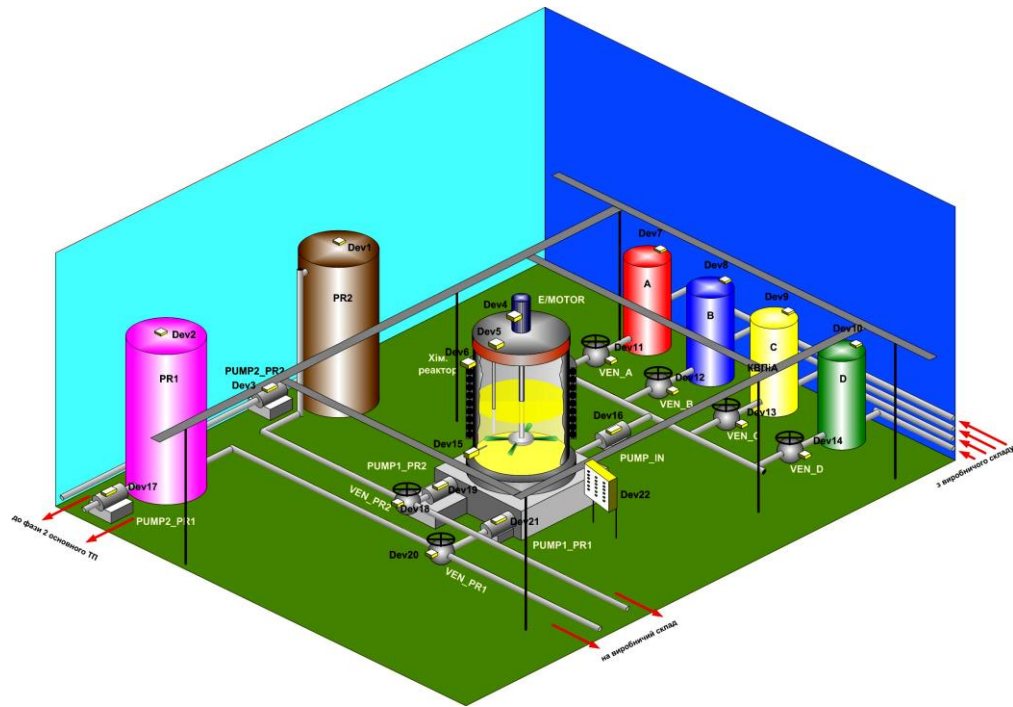


Рисунок 2.14 – Розміщення монтажної арматури на реальному ТП

В результаті прокладки усіх сигнальних кабелів актор «Студент» отримає тривимірну модель електричного монтажу ТЗА на реальному ТП (рисунок 2.15).

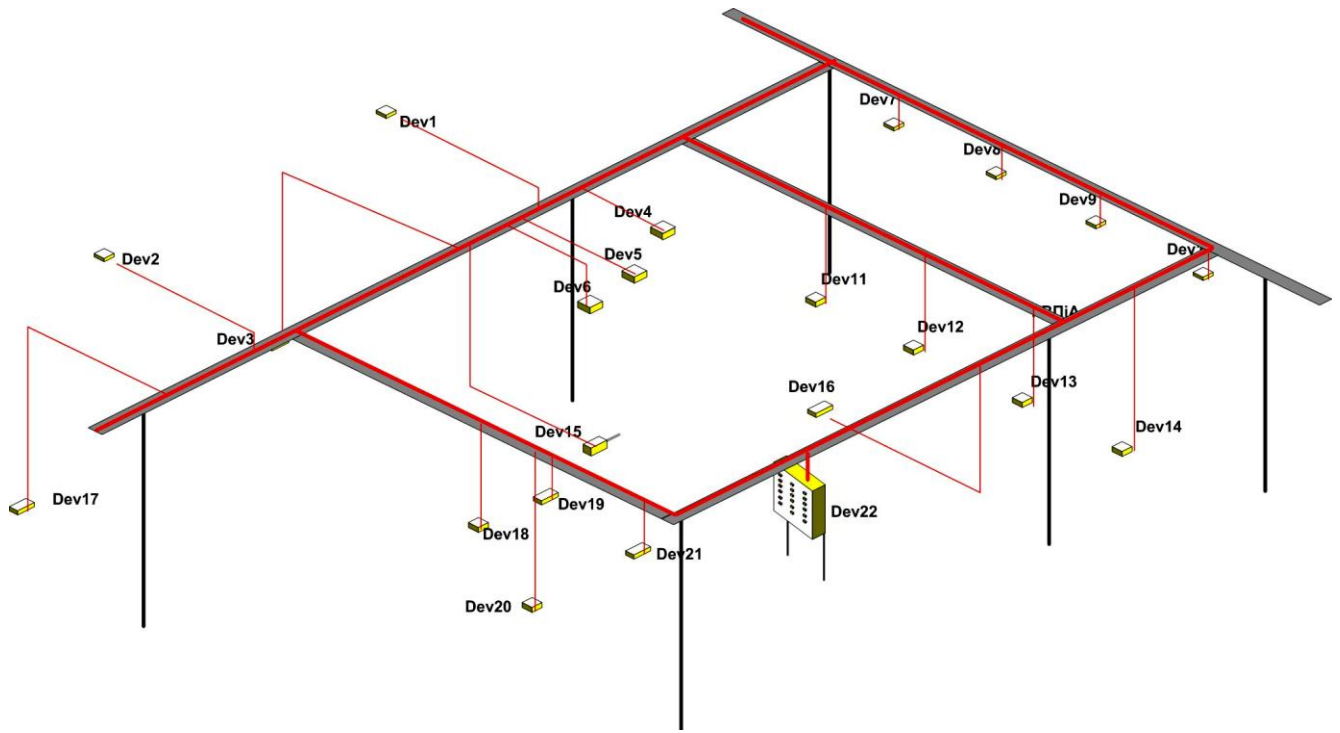


Рисунок 2.15 – Тривимірна модель електричного монтажу ТЗА на реальному ТП

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

Диспетчерське управління як періодичним виробництвом конкретного реального АТП, так і пов'язаними з ним ТП трубопровідного транспортування, має здійснюватися через автоматизоване робоче місце диспетчера виробництва, яке розміщується у окремому приміщенні.

На рисунку 2.16 показаний приклад введення в тривимірну модель реального АТП відповідних робочих місць оператора та диспетчера.

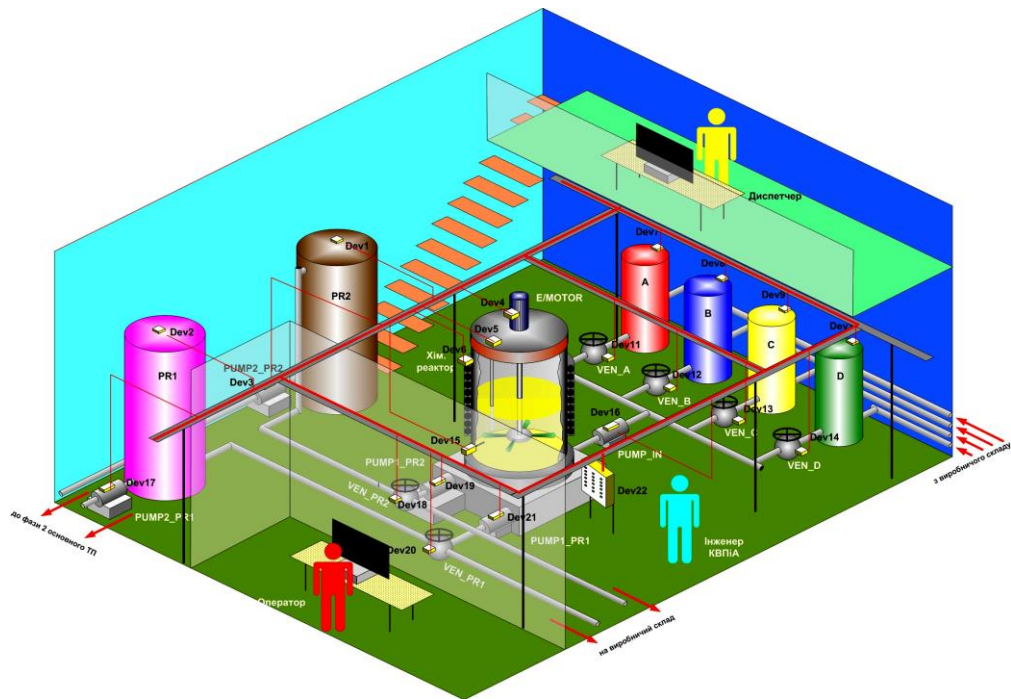


Рисунок 2.16 – Відображення на тривимірній моделі реального АТП автоматизованих робочих місць оператора та диспетчера

Останнє, що повинен зробити актор «Студент», щоб отримати повну тривимірну модель реального АТП, це «прокласти» в приміщенні підприємства корпоративну цифрову мережу, яка б з'єднала, наприклад, промисловий контролер реального АТП та автоматизовані робочі місця оператора та диспетчера. На рисунку 2.17 показаний варіант такої тривимірної моделі.

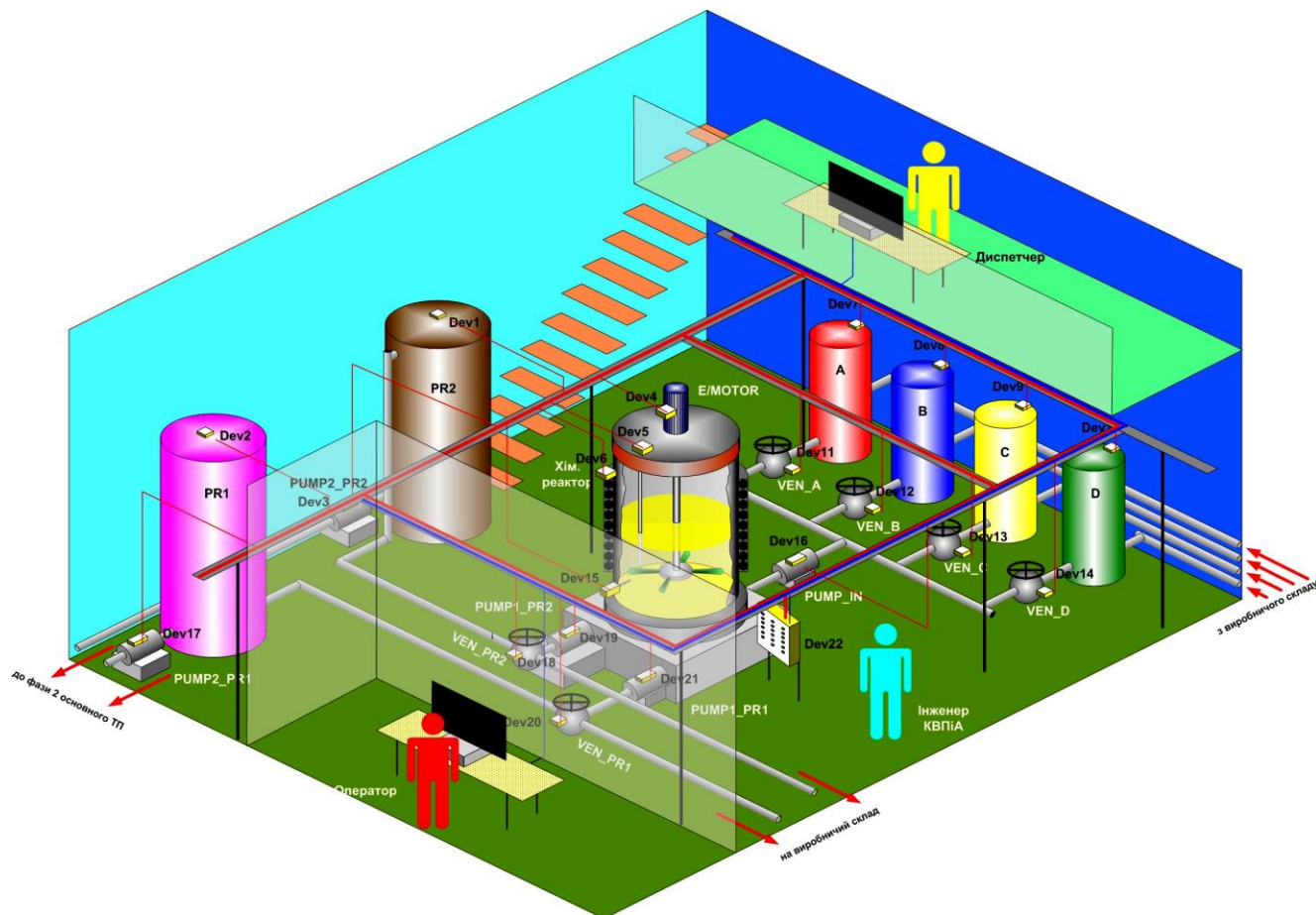


Рисунок 2.17 – «Монтаж» у тривимірній моделі реального АТП
корпоративної цифрової мережі

На рисунках 2.16, 2.17 та в додатку Б показаний також обов'язковий працівник реального АТП – інженер з контрольно-вимірювальних пристроїв та автоматики (КВПіА), який має спостерігати за роботою окремих ТЗА та всієї системи управління в цілому, а також виконувати їх ремонт та налаштування.

2.4 Висновки до розділу

В результаті виконання дослідницьких та проектних робіт у даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи була обґрунтована модель

діяльностей стадії «Моделювання існуючого автоматизованого ТП», які виконують актори «Студент» і «Викладач» в ході практичного вивчення цифрової трансформації АТП трубопровідної транспортної системи хімічного підприємства. Зроблений огляд та наведені приклади основних графічних комп'ютерних моделей, що має розробляти актор «Викладач» в рамках навчально-методичного забезпечення практикуму професійної дисципліни. Також зроблений огляд та наведені приклади графічних комп'ютерних моделей, що має розробляти актор «Студент» в ході проходження відповідного практикуму з професійної дисципліни.

В подальшому на основі цих графічних комп'ютерних моделей, що постачені детальним текстовим описом, автор «Студент» зможе якісно виконати наступну стадію цифрової трансформації існуючого в лабораторії ТП трубопровідної транспортної системи «віртуального виробництва».

3 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «АНАЛІЗ РЕАЛЬНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ТП»

3.1 Загальне бачення

Як зазначено в розділі 1, цифрова трансформація існуючого ТП трубопровідної транспортної системи хімічного підприємства, що вивчається на новому КНЗ, являє собою процес поступового перетворення студентами існуючого реального АТП цієї транспортної системи, що побудований за концепцією комп'ютерно-інтегрованого виробництва «Індустрія 3.0» (І3.0), у досконаліший його варіант, що в тій чи іншій мірі буде відповідати вимогам концепції цифрового виробництва «Індустрія 4.0» (І4.0).

Також у розділі 1 була запропонована загальна архітектура нового КНЗ, 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 АТП» студент повинен порівнювати будову та принцип дії реального АТП трубопровідної транспортної системи хімічного підприємства (детальне уявлення про це студент формує в ході попередньої стадії цифрової трансформації) з властивостями більш досконалого АТП трубопровідної транспортної системи цифрового «розумного виробництва», в результаті чого будуть виявлені недоліки існуючого реального АТП, які потім можна буде усунути шляхом його цифрової трансформації.

Таким чином, загальне бачення процесу виконання даної стадії цифрової трансформації ТП трубопровідної транспортної системи виглядає так, як показано на рисунку 3.1 і в додатку Б. На попередній стадії процесу цифрової трансформації розробляється повний комплект комп'ютерних моделей реального АТП (реальний ТП та реальна ІАСУ), в результаті чого у студента формується достатнє уявлення про його будову та принцип дії. На

стадії «Аналіз реального АТП» студент поступово порівнює властивості існуючого реального АТП (будова та принцип дії) з властивостями цифрового «розумного виробництва» (з точки зору автоматизації його процесів), аналізує результат порівняння та складає перелік тих недоліків реального АТП, які далі і можна буде усунути шляхом впровадження перспективних цифрових технологій.

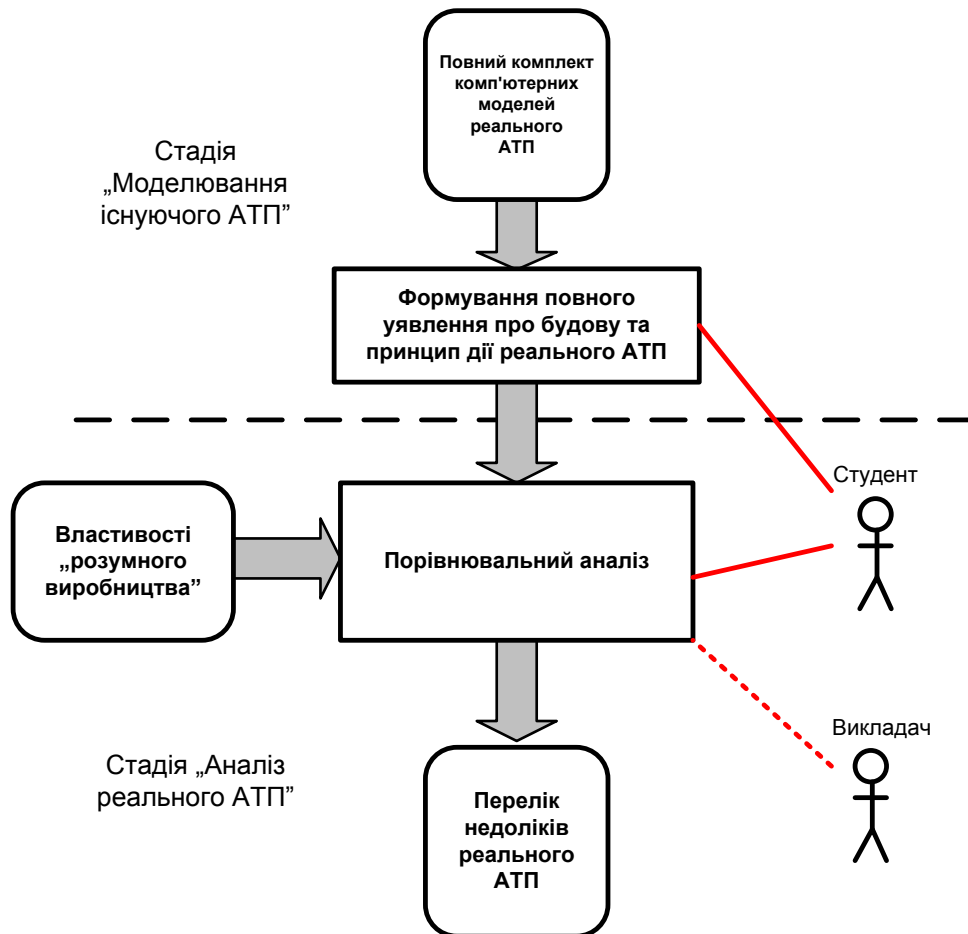


Рисунок 3.1 – Загальне бачення процесу виконання стадії

Порівнювальний аналіз може виконуватися за участі викладача, наприклад, при наданні студенту відповідних консультацій або у підготовці інформації про властивості цифрового «розумного виробництва» (у вигляді навчально-методичних матеріалів). При цьому треба відмітити, що на сьогодні ще не сформоване остаточне визначення поняттю цифрове «розумне

виробництво», де б перелічувались зазначені вище його основні властивості. Тому цю інформацію треба буде ще формувати шляхом додаткових досліджень предметної області цифрового «розумного виробництва. Бажано, щоб таке дослідження самостійно виконував саме студент, що 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 студентського практикуму з відповідної професійної дисципліни. У будь-якому випадку, після проведених досліджень виявлені властивості «розумного виробництва» (з точки зору автоматизації його процесів) 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 [38-40].

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

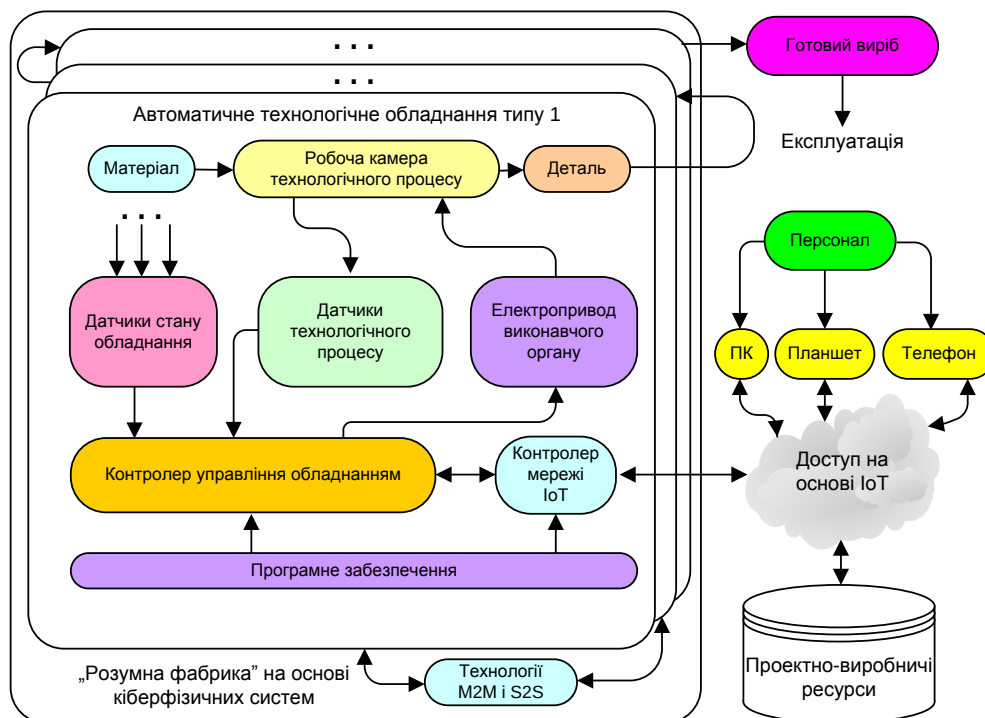


Рисунок 3.2 – Схема взаємодії персоналу й кіберфізичних систем на підприємствах I4.0 типу цифрова «розумна фабрика»

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 встаткуванням 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 [40], 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 рисунку 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 рисунку 3.3.

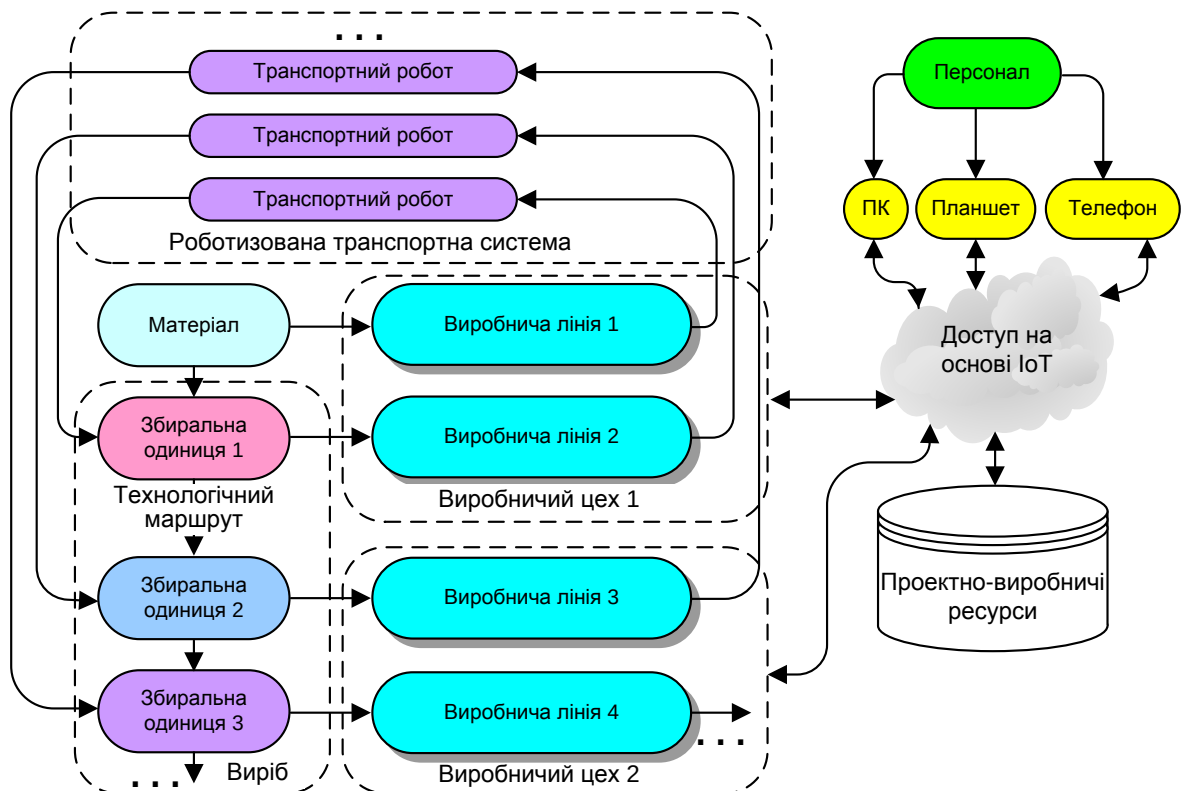


Рисунок 3.3 – Схема руху складальних одиниць на підприємствах І4.0

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 І4.0.

Моніторинг діяльності виробничих автоматів на підприємствах І4.0 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 рисунку 3.3 показує, що базове виробниче обладнання, розміщене на підприємстві І4.0, 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 рисунку 3.3 у вигляді бібліотеки «проектно-виробничі ресурси», підключеної із «хмари» до інтерфейсу IoT виробничого комплексу.

Аналізуючи цю систему автоматизації цифрового «розумного виробництва» І4.0, можна виділити основні його ознаки (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Основні ознаки цифрового «розумного виробництва» 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.

Продовження таблиці 3.1

1	2
Технічні/функціональні ознаки	
Цифрова виробнича система	Поеднує обладнання, системи, площадки, клієнтів і партнерів. В ній зібрані цифрові дані про розробку, навчання, виготовлення й торгівлю. Вона охоплює всі галузі економіки й суспільства. Цифровізація – це засіб одержання бажаного результату, а саме гнучкого виробництва, що приносить клієнтам відмінний результат, а власникам – більш високий прибуток. Наприклад, аналіз цифрових даних (поточних чи накопичених в системі) алгоритмами штучного інтелекту (AI) веде до поглиблення знань про виробничу систему та, як наслідок, до її подальшого вдосконалення.
Віртуалізація виробничого середовища	Віртуальне виробниче середовище, як правило, створюється й управляється на основі інфраструктури спеціальної віртуальної платформи. Ця інфраструктура дозволяє візуалізувати і контролювати у віртуальному середовищі те, що неможливо фізично побачити в реальному світі, - єдину промислову екосистему. При цьому новітні цифрові технології забезпечують можливість ефективної роботи у віртуальному виробничому середовищі.
Абсолютна гнучкість виробничих процесів	Споживчий попит може раптово змінитися, нові технології миттєво стають революційними і тому виробничі процеси повинні бути більш гнучкими й такими, що налаштовуються у відповідності зі змінами. При цьому оперативність - локальна або глобальна - стає вкрай важливою. Наприклад, швидкий вивід нової продукції на ринок є запорукою отримання максимальних прибутків. Знання типових потреб користувача й можливість адаптації до них продуктів і потоків операцій у реальному часі дають чимало переваг.
Децентралізація (Decentralization)	Перенесення децентралізованого та автономного прийняття рішень до машин та кіберфізичних систем, в тому числі, і до автономних системних елементів (модулів, 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.
--	--

Продовження таблиці 3.1

1	2
Висока стійкість (надійність)	Розвинені функції раннього попередження аварійних/нештатних виробничих подій та й прогнозного обслуговування виробничих активів.
Здатність до безперервної й нескінченної самооптимізації	Розвивається з метою адаптації до змінюваних бізнес-цілей організації. Наприклад, впроваджує адитивне виробництво, яке дає можливість самостійно виробляти унікальні компоненти й деталі, з меншими витратами. Кіберфізичні системи (Cyber-physical systems, CPS) відіграють ключову роль в цій постійній зміні технології і процесу. Вони надають додаткових можливостей фізичним системам завдяки злиттю можливостей комп'ютерних обчислень і зв'язку з фізичними процесами. Наприклад, вони дають можливість реалізувати у фізичному світі значно складніші виробничі процеси.
Функціональна безпечність	У міру усе більш широкого впровадження нових технологій і мереж, все більшої інтеграції розумних підприємств, все більшого значення набуває високий рівень кібернетичної безпеки «розумного» виробництва.
Соціальні/суспільні ознаки	
Новий характер людської праці	Щоб використовувати весь потенціал Індустрії 4.0, необхідні зміни на ринку праці відповідно до мінливих вимог і, як результат, у концепціях навчання, тому що саме люди - ключовий фактор успіху. Конвергенції інформаційних (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 виробництва» дає достатнє уявлення про його переваги перед комп'ютерно-інтегрованим виробництвом І3.0 в цілому. Тобто на основі цих ознак вже можна виконувати загальний порівняльний аналіз обох видів 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 реального АТП, створену за концепцією І3.0, чи структуру АТП цифрового «розумного виробництва, створеного за концепцією І4.0?

На наш погляд, буде більш доцільним взяти за взірець структурної будови саме кінцевий варіант АТП, тобто той, що має бути отриманий в результаті цифрової трансформації існуючого реального АТП. По-перше, властивості (ознаки) цифрового «розумного виробництва» ідеально суміщаються саме з цією структурою. По-друге, відсутність будь-якого компоненту структури І4.0 у складі структури існуючого реального АТП І3.0

можна буде зразу вважати його недоліком, тобто процес аналізу значно спрощується.

На даний час структурну будову цифрового «розумного підприємства» та цифрового «розумного виробництва» I4.0 регламентують декілька стандартних архітектурних моделей, які називаються референтними [41-44]. 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» (I4.0) [41]. Референтна модель надає загальну структуру та мову для пояснення та специфікації системної архітектури, що, відповідно, сприяє поліпшенню загального розуміння та системної взаємодії. При архітектурному описі цифрових виробничих платформ рівняння на референтну модель є дуже корисним, бо вона надає каркас для стандартизації відповідних технічних систем, від їх розробки, подальшої інтеграції і до їх дії.

Референтна модель RAMI 4.0, що показана на рисунку 3.4, базується на трьохвимірній системі координат – «Шари» (Layers), «Життєвий цикл та потік формування цінності» (Life Cycle & Value Stream) та «Ієрархічні рівні» (Hierarchy Levels). Ця структура може використовуватися для системної організації та подальшої розробки концепцій та технологій в рамках I4.0.

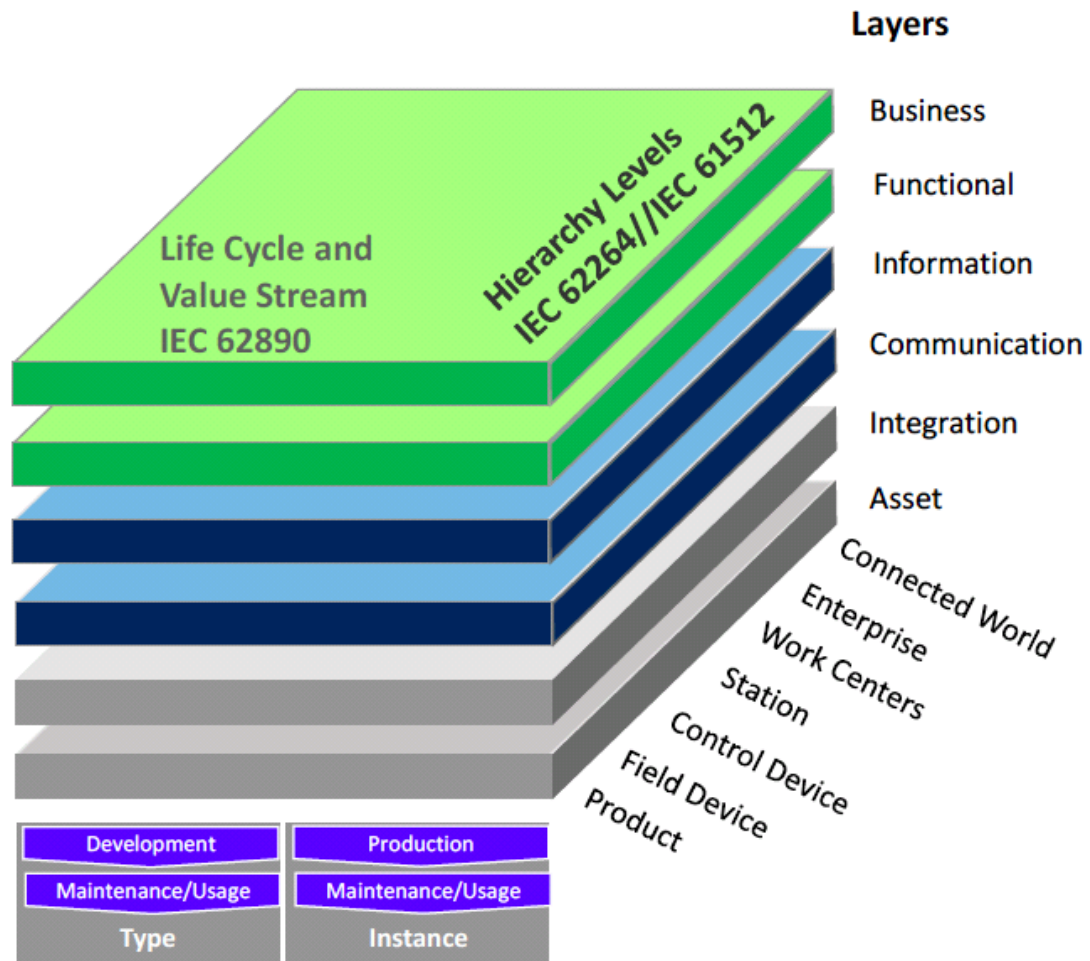


Рисунок 3.4 - Референтна архітектурна модель RAMI 4.0

Ця модель представляє будь-який технічний актив (ресурс) «розумної фабрики», що може бути відображений у цифровому світі, як компонент I4.0. Компонент I4.0 це є компонент виробничої системи, навіть у вигляді цифрових даних, здатний взаємодіяти з іншими компонентами I4.0 або системами через розповсюджені цифрові інтерфейси.

В додаток до тривимірної багаторівневої референтної архітектурної моделі, стандарт RAMI4.0 надає також специфікацію адміністративної оболонки, що є складовою частиною компонента I4.0, яка містить відповідну інформацію для означення конкретного активу (ресурсу) та його технічної функціональності. В результаті, компоненти I4.0 взаємодіють один з одним через інтерфейси, засновані на сервіс-орієнтованій архітектурі, які забезпечуються адміністративною оболонкою, що може вважатися стандартизованим цифровим представленням активу (ресурсу). Open Platform

Communications Unified Architecture (OPC UA) є основним комунікаційним стандартом для I4.0 комунікацій. Як видно з рисунку 3.5, де показаний I4.0 стек комунікаційного протоколу, підтримується як комунікаційний шаблон «клієнт/сервер», так і шаблон «опублікувати/підписатися».

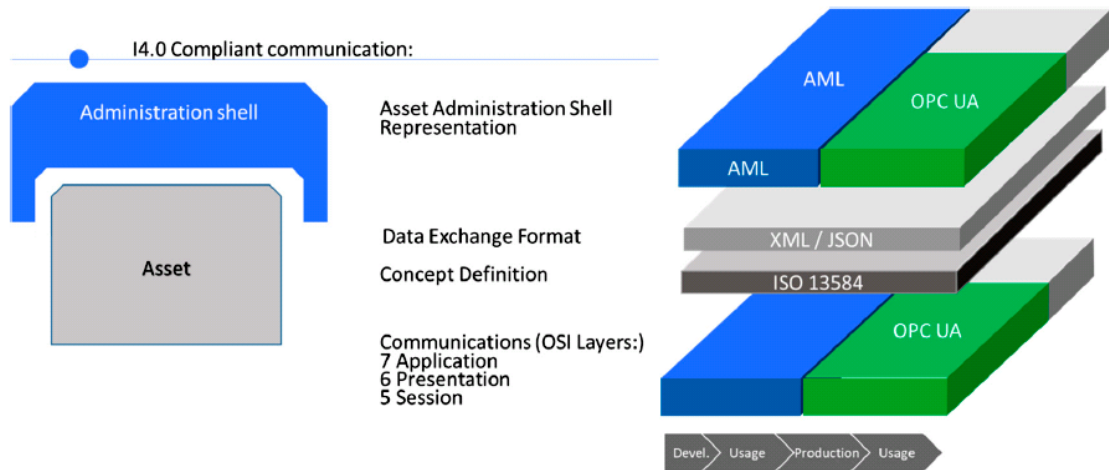


Рисунок 3.5 – Стек комунікаційного протоколу для компонента I4.0

Адміністративна оболонка також описує моделі даних для обміну інформацією між партнерами у ланцюгу формування цінності. Специфікація описує структуру адміністративних моделей даних. Основні використані компоненти та стандарти такі:

- концепція (Concept) – стандарт «ISO 13584 – Промислові автоматизовані системи та інтеграція» є базисом для концептуального опису активу (ресурсу) та його частин;

- дизайн (проект, Design) – стандарт «AutomationML» мови розмітки для обміну даних проекту та відповідне відображення для OPC UA; використовуються для відображення виробничих інженерних даних, особливо під час фази розробки типу продукту;

- виробництво (Production) – «OPC UA. Інформаційні моделі» використовуються для обміну виробничими операційними даними впродовж фаз виробництва та використання екземпляру продукту;

– перетворення у послідовну форму (Serialization) – XML (eXtensible Markup Language) та JSON (JavaScript Object Notation) схеми виведені з моделей, описаних вище;

– відображення (Mapping) – «Resource Description Framework» (RDF) використовується для відображення цієї інформації та робить можливим обмін інформацією, використовуючи семантичні технології.

Відносно управління інформаційним доступом, специфікації описують модель доступу, заснованого на атрибутах та на ролях (Attribute Based and Role Based Access, ABAC), для управління доступом до інформації. ABAC дозволяє застосовувати різні політики доступу для різних ролей користувачів та різних елементів інформаційної моделі адміністративної оболонки.

Додатково, специфікація описує формат файлу пакету, Asset Administration Shell Package (AASX), для заміни всієї чи частини структури адміністративної оболонки.

Шари архітектурної моделі RAMI4.0 (див. рисунок 2.1), організовані уздовж вертикальної вісі і відображають різні керуючі шари інформаційних технологій (IT) проєкту конкретного I4.0 рішення.

Кожний шар збирає в собі різні частини системи, що призначені для

виконання управління (схеми даних, комунікації, апаратні засоби і т.д.), забезпечуючи сервіси для верхнього шару та об'єднуючи дії сервісів нижнього шару. В архітектурній моделі різні шари означені так:

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

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

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

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

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

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

Таким чином, в процесі цифрової трансформації хімічного АТП в якості структурних компонентів для його порівнювального аналізу будемо

використовувати ті архітектурні компоненти, що відображені на референтній моделі RAMI4.0, а саме:

- компоненти, що розміщуються на різних ієрархічних рівнях системи автоматизації (продукт, польовий пристрій, пристрій управління і т.д.);

- компоненти, що відображаються на різних шарах ІТ-представлення системи автоматизації (актив/ресурс, інтеграція, комунікація, інформація, функціонал, бізнес);

- компоненти, що відображають різні процеси у часі (розробка типу продукту/системи, обслуговування типу продукту/системи, виробництво екземпляру продукту/системи, обслуговування екземпляру продукту/системи і т.д.).

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

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

Як було вже відмічено вище, студент починаючи виконувати цю стадію цифрової трансформації, повинен вже детально вивчити відповідний комплект різних комп'ютерних моделей реального АТП промислової транспортної системи та сформулювати на основі цього своє особисте уявлення про його будову та принцип дії.

На першому етапі виконання стадії аналізу даного АТП студент повинен вибрати певну точку зору, з якої він буде далі його розглядати. Точка зору студент визначає наступним чином. Спочатку на вісі «Life Cycle» архітектурної моделі RAMI 4.0 студент вибирає одну з чотирьох стадій життєвого циклу АТП –

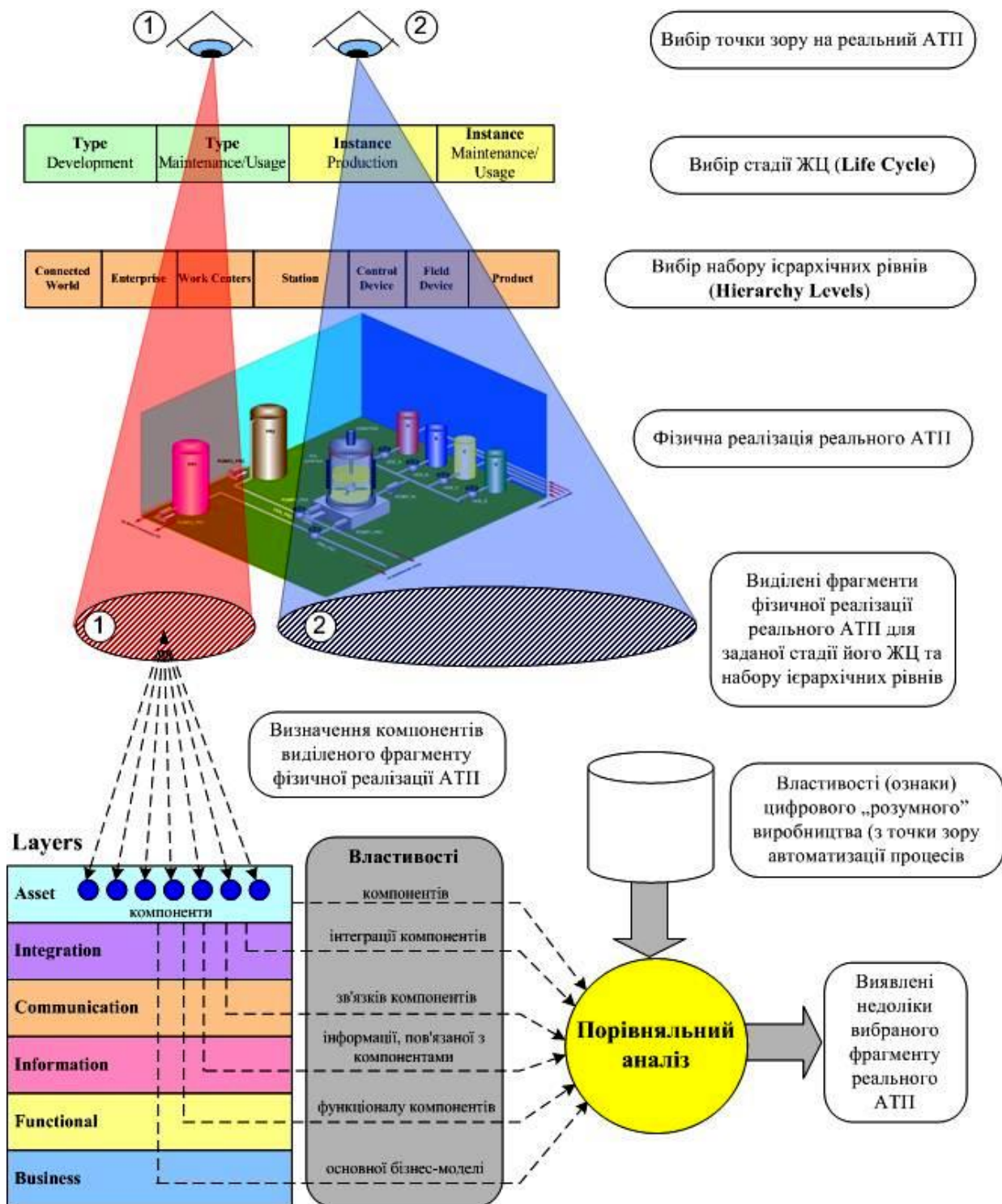


Рисунок 3.6 – Алгоритм виконання стадії «Аналіз реального АТП»

або стадію «Development» для типу АТП, або стадію «Maintenance/Usage» для типу АТП, або стадію «Production» для екземпляру АТП, або стадію «Maintenance/Usage» для екземпляру АТП. Вибравши стадію, студент фіксує у часі відповідний стан реального АТП, який і буде далі аналізувати.

Далі студент вибирає один або кілька ієрархічних рівнів на вісі «Hierarchy Levels» архітектурної моделі RAMI4.0, що дозволить виділити у фізичній реалізації реального АТП 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 реального АТП буде розширюватися та ускладнюватися, що логічно впливатиме на складність його подальшого аналізу.

Для прикладу на рисунку показаний вибір двох точок зору на реальний АТП для виконання подальшого аналізу:

1). На стадії «Maintenance/Usage» життєвого циклу (ЖЦ) типу (Type) даного АТП 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 АТП 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 студент аналізує будову вибраного фрагменту фізичної реалізації реального АТП і визначає в ній основні складові компоненти, які стосуються або фізичної реалізації ТП, або фізичної реалізації ІАСУ, або обох цих частин реального АТП. Визначені компоненти студент умовно переносить у шар «Актив» (Asset) вісі «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 АТП;

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

- у шарі «Зв'язок» (Communication) треба описати властивості різного роду зв'язку або між компонентами вибраного фрагменту АТП, або між ними і зовнішніми компонентами, які не увійшли у вибраний фрагмент АТП, що дозволяє реальному АТП 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 АТП 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 реальним АТП його основної задачі;

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

Коли всі основні властивості вибраних компонентів або їх груп будуть визначені у кожному шарі архітектурної моделі RAMI 4.0 студент може переходити до виконання їх аналізу у порівнянні з відповідними властивостями (ознаками) цифрового «розумного» виробництва. Цей перелік наведений вище (див. таблицю 3.1), він складається заздалегідь студентом або викладачем шляхом дослідження (з точки зору автоматизації процесів) предметної області «Цифрове «розумне» виробництво».

В результаті такого порівняння поступово формується перелік виявлених недоліків існуючого реального АТП в цілому чи його компонентів у порівнянні з усім АТП «розумного виробництва» чи з окремими його компонентами референтної архітектурної моделі RAMI4.0.

3.3 Приклади виконання аналізу реального АТП

Розглянемо приклади використання запропонованого алгоритму. Візьмемо спочатку фрагмент реалізації реального АТП `nhe,jghjdslyj]` транспортної системи, яка обслуговує фазу 1 основного ТП промислового виробництва рідкої хімічної продукції (рисунок 3.7). 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».

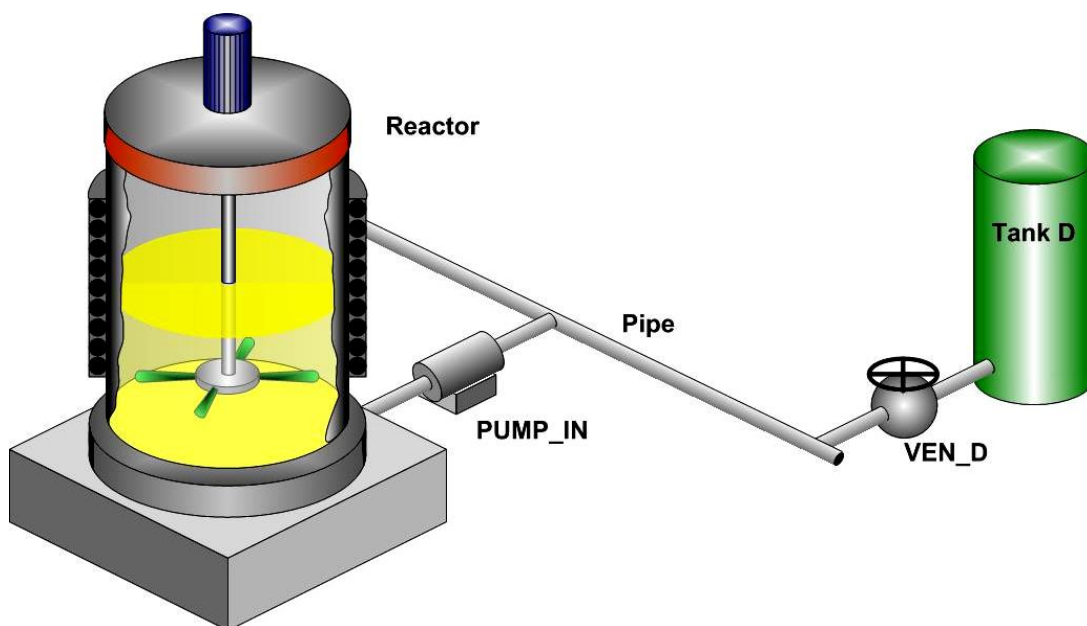


Рисунок 3.7 – Частина реального АТП для порівняльного аналізу

Спочатку, згідно з описаним вище алгоритмом, виділимо усі складові компоненти даного фрагменту фізичної реалізації реального АТП. 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 (рисунок 3.8 та додаток Б). Отримаємо дві групи – група «Product», до якої входять компоненти «Reactor», «Tank D» і «Pipe», та група «Field Device», до якої входять «VEN_D» та «PUMP_IN».

Далі переходимо до вісі «Layers» моделі RAMI4.0, означуючи на ній

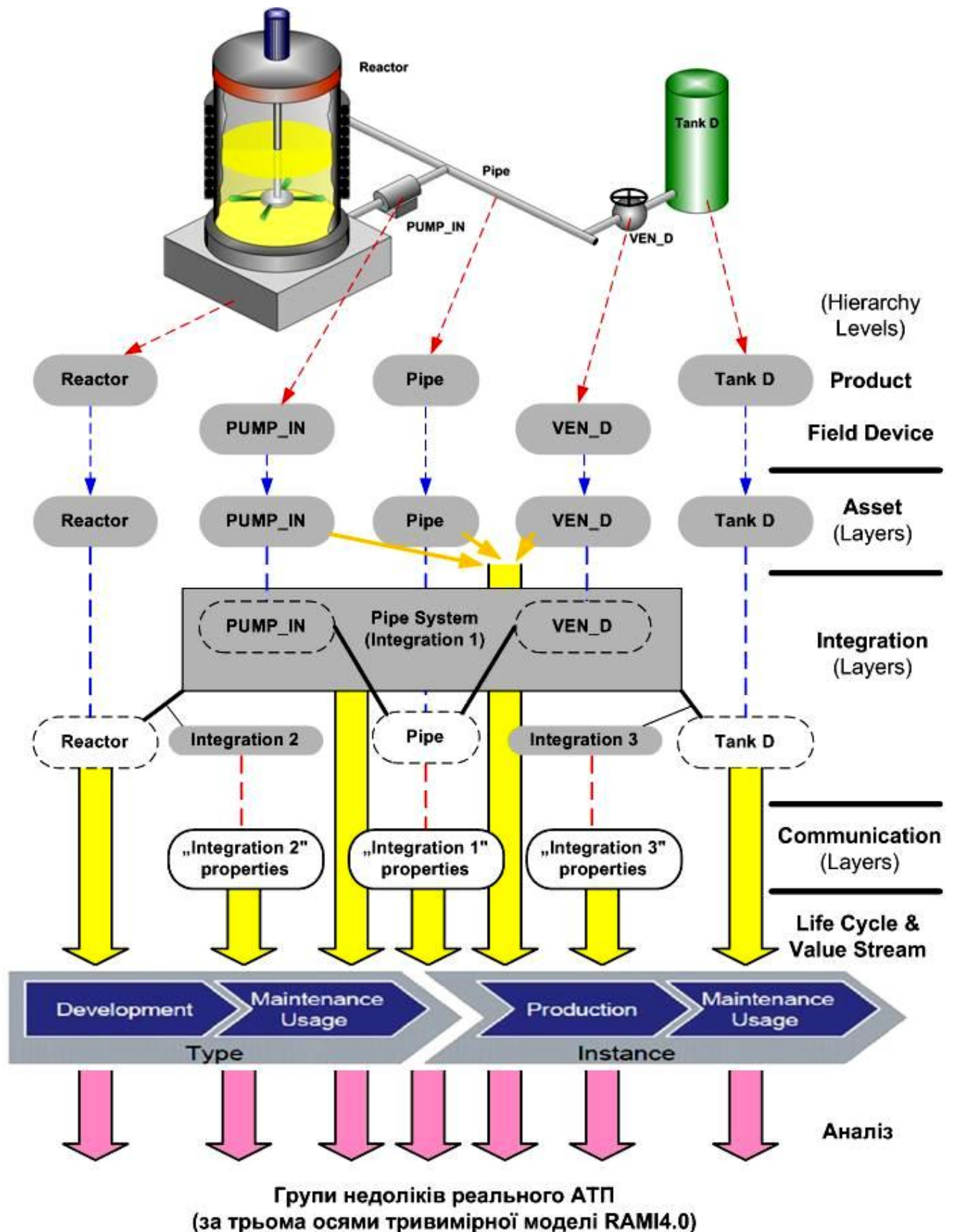


Рисунок 3.9 – Приклад виконання порівнювального аналізу для фрагмента реального АТП трубопровідної транспортної системи

відповідні активи/ресурси даного фрагменту фізичної реалізації реального АТП трубопровідної транспортної системи, які важливі для побудови ІТ-інфраструктури системи автоматизації даного реального АТП. 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 АТП 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 реальним АТП. 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 АТП цифрового «розумного» виробництва має відобразитися 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 реального АТП, 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 реального АТП трубопровідної транспортної системи для проведення їх аналізу у порівнянні з властивостями «розумного виробництва»:

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

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

Компонент «Integration 1», як частина ІТ - інфраструктури системи автоматизації (шар «Integration»), для стадії використання (Usage) екземпляру АТП у порівнянні з властивістю/ознакою «Висока якість продукції» аналогічного АТП цифрового «розумного» виробництва (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 системи автоматизації (шар «Communication») у порівнянні з властивістю/ознакою «Абсолютна гнучкість виробничих

процесів» аналогічного АТП цифрового «розумного» виробництва (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 унеможлиблює 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 реального АТП трубопровідної транспортної системи насправді складають невелику частку тих недоліків, які можна виявити шляхом ретельного порівнювального аналізу усіх компонентів даного АТП.

3.4 Висновки до розділу

В результаті виконання дослідницьких та проектних робіт у даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи було сформоване загальне бачення процесу виконання стадії «Аналіз реального автоматизованого ТП (АТП)» при практичному вивченні цифрової трансформації реального АТП трубопровідної транспортної системи хімічного підприємства. На основі цього бачення був розроблений детальний алгоритм виконання робіт студентом та викладачем в рамках даної стадії практичного навчання. Для пояснення практичного застосування такого алгоритму наведений приклади виконання порівняльного аналізу деякого фрагменту фізичної реалізації існуючого реального АТП трубопровідної транспортної системи та виявлення основних її недоліків.

4 ЗАКЛЮЧНА СТАДІЯ ПРАКТИЧНОГО ВИВЧЕННЯ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ РЕАЛЬНОГО АТП

4.1 Означення основних діяльностей

На цій стадії практичного вивчення процесу цифрової трансформації реального АТП трубопровідної транспортної системи студент та викладач мають виконувати певну послідовність обов'язкових діяльностей для досягнення кінцевої мети – набуття студентом потрібного обсягу теоретичних знань та практичного досвіду, достатніх для самостійного виконання цифрової трансформації на реальному промисловому підприємстві (рисунок 4.1 та додаток Б). Виконання даної стадії практичного вивчення починається з етапу «Пошук способу цифрової трансформації існуючого реального АТП». Цей АТП побудований за концепцією I3.0 і тому має суттєві недоліки, що були виявлені на попередній стадії. Тому в результаті його цифрової трансформації потрібно отримати більш досконалий АТП, побудований вже за концепцією I4.0. Даний етап студент повинен виконувати самостійно, але викладач має обов'язково надавати йому відповідний навчально-методичний матеріал, консультації та додаткові роз'яснення.

Після того, як студент намітить шляхи вдосконалення реального АТП, вибравши спосіб (способи) цифрової трансформації, він має визначити I4.0 цифрову технологію або технології для реалізації вибраного способу (способів). Щоб кваліфіковано здійснити цей вибір студент обов'язково повинен ретельно дослідити предметну область I4.0 промислової автоматизації, використовуючи при цьому як доступні ресурси Інтернет, так і наявні навчально-методичні матеріали, підготовлені викладачем в рамках відповідної професійної дисципліни або проєктного практикуму.

Коли потрібна технологія або технології цифрової трансформації будуть знайдені, то студент переходить до виконання наступного етапу –

«Розробка концепції цифрової трансформації реального АТП». На цьому етапі для представлення свого бачення цієї концепції студент може використовувати як

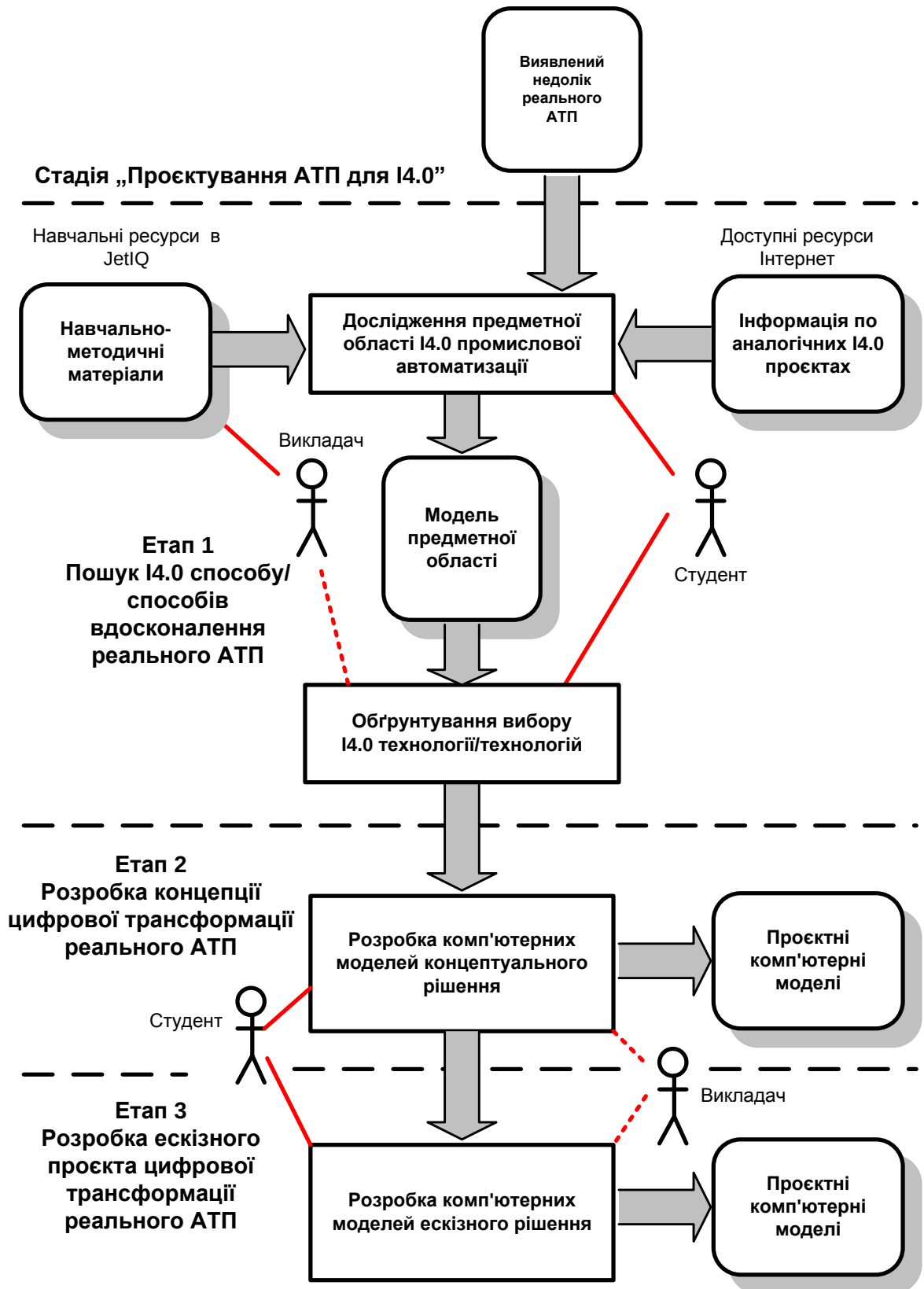


Рисунок 4.1 – Модель діяльності заключної стадії практичного вивчення цифрової трансформації реального АТП

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

Якщо студент продовжить навчання в магістратурі вузу, то він зможе на основі описаного вище концептуального рішення цифрової трансформації реального АТП промислової транспортної системи продовжити практичне вивчення його цифрової трансформації шляхом виконання наступного його етапу – «Розробка ескізного проєкту цифрової трансформації реального АТП». Цей етап характеризується більшою деталізацією проєктних рішень і також передбачає активне використання студентом як доступних «хмарних» сервісів цифрового моделювання того чи іншого виду (наприклад з цифровою симуляцією роботи вдосконаленого АТП), так і наявних локальних програмних засобів такого моделювання. Результатом діяльності студента на цьому етапі стане ескізний проєкт цифрової трансформації реального АТП трубопровідної транспортної системи, 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 АТП). Усі розроблені студентом комп'ютерні моделі ескізного проєкту повинні мати формат, який дозволяє викладачу переглядати їх або на комп'ютерах навчальної лабораторії, або на

доступних «хмарних» сервісах цифрового моделювання, або за допомогою наявних локальних програмних засобів моделювання. Таким чином, ескізний проєкт стане заключним результатом практичного вивчення цифрової трансформації реального АТП трубопровідної транспортної системи на новому КНЗ. Цей практичний результат може бути досягнутий або в рамках професійної дисципліни магістерського рівня підготовки, наприклад, «Промисловий Інтернет речей», або в рамках відповідного проєктного практикуму.

4.2 Дослідження предметної області I4.0 промислової автоматизації

Ця діяльність є однією з найбільш складних та тривалих в ході виконання даної стадії цифрової трансформації реального АТП. Вона пов'язана не тільки з трудомістким процесом збирання потрібної інформації та її відповідного оброблення, але і з тривалим процесом поступового її осмислення студентом та накопичення ним потрібних теоретичних знань, обсяг яких далі може перерости у нову якість – здатність студента самостійно вирішити конкретну задачу цифрової трансформації. Для проведення даного дослідження предметної області I4.0 промислової автоматизації, 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 студент в ході дослідження будуватиме ще і відповідну графічну концептуальну онтологічну модель, то це сприятиме глибшому осмисленню студентом цієї інформації та формуванню більш глибокого розуміння ним суті промислової автоматизації I4.0. На рисунку 4.2 та в додатку Б показана схема проведення такого дослідження.

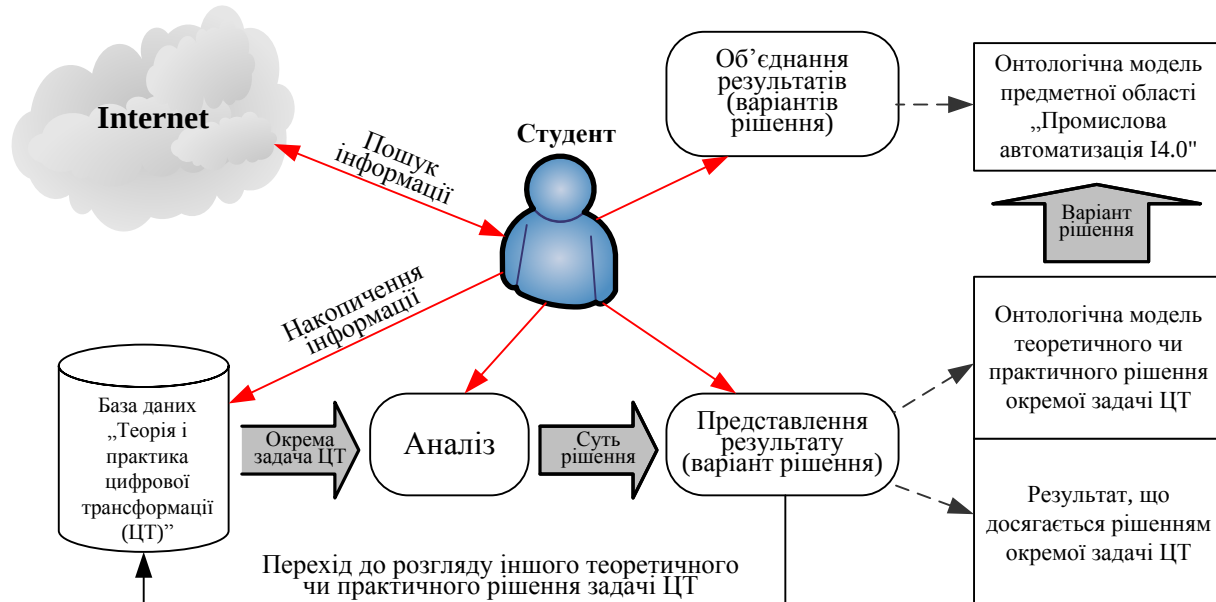


Рисунок 4.2 – Схема проведення онтологічного дослідження

В якості джерел інформації для онтологічного дослідження використовуються чисельні Інтернет - ресурси, пошук на яких студент може здійснювати за допомогою штатних інструментів ОС Windows. Знайдену інформацію по промисловій автоматизації І4.0 студент вносить у базу даних «Теорія і практика цифрової трансформації (ЦТ)». Паралельно з подальшим пошуком інформації і її накопиченням, студент 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, студент може проводити і узагальнення отриманих результатів дослідження варіантів рішення задач ЦТ. Наприклад, він може будувати загальну графічну онтологічну модель всієї предметної області промислової автоматизації І4.0. В першу чергу це буде сприяти поглибленню його знань в області автоматизації І4.0, а в подальшому допоможе самостійно розв'язувати на рівні концепції будь-які складні або оригінальні задачі ЦТ.

На рисунку 4.3 та в додатку Б наведений варіант побудови такої графічної онтологічної моделі предметної області промислової автоматизації І4.0. В якості відправної точки її будування вибране класичне означення промислової кіберфізичної системи (КФС), яка є фундаментом промислової автоматизації 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» [45]. Усі наведені у цьому означенні поняття (базові об'єкти) зв'язані між собою класичними відношеннями (базові «зв'язки»), які відображені на класичній графічній моделі предметної області промислових КФС. Ця класична модель на рисунку 4.3 розміщена в середині моделі у площині базових об'єктів та «зв'язків» І4.0.

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

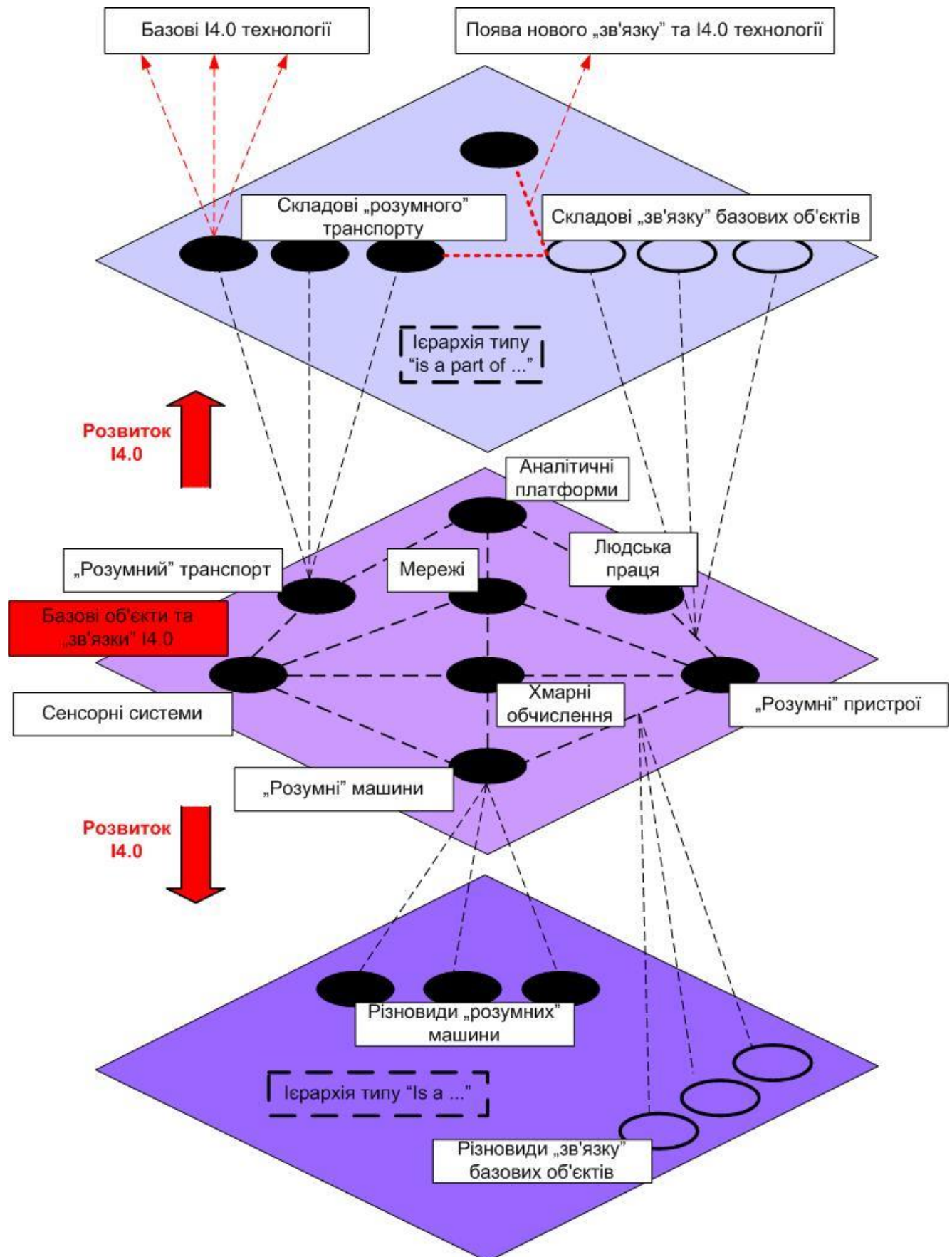


Рисунок 4.3 – Варіант графічної онтологічної моделі предметної області I4.0 промислової автоматизації

по відношенню до класичного її бачення.

Знизу розміщена площина, у якій відображаються різновиди базових об'єктів та «зв'язків», які поступово виявляються в ході онтологічного аналізу предметної області. Тобто ці відображення зв'язані з базовими об'єктами та «зв'язками» через ієрархію типу «is a ...» («є ... (чимось)»). По мірі розвитку I4.0 промислової автоматизації кількість варіантів базових об'єктів та «зв'язків» стрімко збільшується, що пояснюється і новими областями застосування ідей четвертої промислової революції, і швидкою появою нових цифрових технологій, які уможливлюють реалізацію нових варіантів I4.0 об'єктів та «зв'язків».

Зверху в моделі на рисунку 4.3 поміщена площина, у якій відображаються складові базових I4.0 об'єктів та «зв'язків». Тобто ці відображення зв'язані з базовими об'єктами та «зв'язками» через ієрархію типу «is a part of ...» («є частиною ... (чогось)»). Це найбільш змінювана за контентом область даної моделі, бо швидка поява нових цифрових технологій та розширення областей цифрової трансформації промислового виробництва призводять до інших технічних рішень вихідних базових I4.0 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 студент 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 АТП. При цьому він буде бачити у який спосіб вирішувались проблеми цих АТП (шлях цифрової трансформації). По-друге, студент буде бачити, які саме цифрові технології вирішують

аналогічні задачі (на рисунку 4.3 показано угорі). По-третє, коли кількість осмисленої інформації перейде у якість, то студент зможе генерувати і власні ідеї.

Для прикладу у таблиці 4.1 наведені результати аналізу предметної області промислової автоматизації І4.0, які відображають основні властивості (ознаки)

цифрового «розумного» виробництва та відповідні ті існуючі натеper способи ЦТ, які забезпечують ці властивості (ознаки).

.

Таблиця 4.1 – Способи ЦТ для властивостей (ознак) «розумного» виробництва

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 таблиці 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 знаннях 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 таблиці 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. <u>Сенсоризація</u>. Введення в окрему машину або всю виробничу лінію спеціальних датчиків для контролю й оптимізації якості продукції. Наприклад, тепловізійних камер, профілометрів, стереоскопічних камер тощо. 6. <u>Цифрова візуалізація</u> для виявлення складних проблем, що впливають на якість. 7. Прийняття рішень на основі систем <u>АІ</u>, що враховують широкий спектр проблем якості продукції й процесів.
Технічні/функціональні ознаки	
Цифрова виробнича система	1. <u>Цифровізація виробничих процесів</u>. 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. <u>Цифрові технології</u>. 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 й одночасно виконувати їх візуалізацію та моделювання, а також управляти ними</u>. 3. <u>Збір та накопичування цифрових даних</u>. <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. <u>Використання підключених цифрових пристроїв</u>. 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. <u>Цифрова безперервність проєктування й виробництва в режимі реального часу</u>. 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. <u>Цифрові виробничі специфікації, технологічні плани і робочі інструкції</u>. 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. <u>Віртуальне навчання працівників</u>. Наприклад, за допомогою <u>віртуального навчання</u> оператори вчать працювати на складальній станції, використовуючи методи "покажіть мені", "допоможіть мені" і "дозвольте мені".

Продовження таблиці 4.1

1	2
Віртуалізація виробничого середовища	1. <u>Використання інфраструктури спеціальної віртуальної платформи</u>. 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 <u>усунути бар'єри</u> 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» активів</u>. При цьому об'єднання цифрових технологій стирає границі між фізичними й цифровими системами, утворюючи так звані "<u>кіберфізичні системи</u>". <u>Віртуальна симуляція</u> дозволяє знизити ризики інвестицій у нові виробничі активи або модернізацію існуючих об'єктів, всебічно перевірити й оцінити прогнозовані результати. <u>Цифрове моделювання</u> виробничих процесів ще на стадії їх 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 таблиці 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 технологій 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 <u>автоматизованих агентів.</u> 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. <u>Цифрова симуляція</u> й перевірка завдань операторів дозволяє визначити, які процеси можуть бути небезпечними для нього, а підсистема <u>аналітики</u> автоматично розміщає <u>віртуальний манекен</u> відповідно до виконуваного завдання. 2. Використання <u>підключених цифрових пристроїв.</u> 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.).
--------------------------------------	--

Для прикладу на рисунку 4.4 показані два варіанти концептуального рішення ЦТ трубопровідної транспортної системи, що означені на графічній онтологічній моделі предметної області промислової автоматизації I4.0.

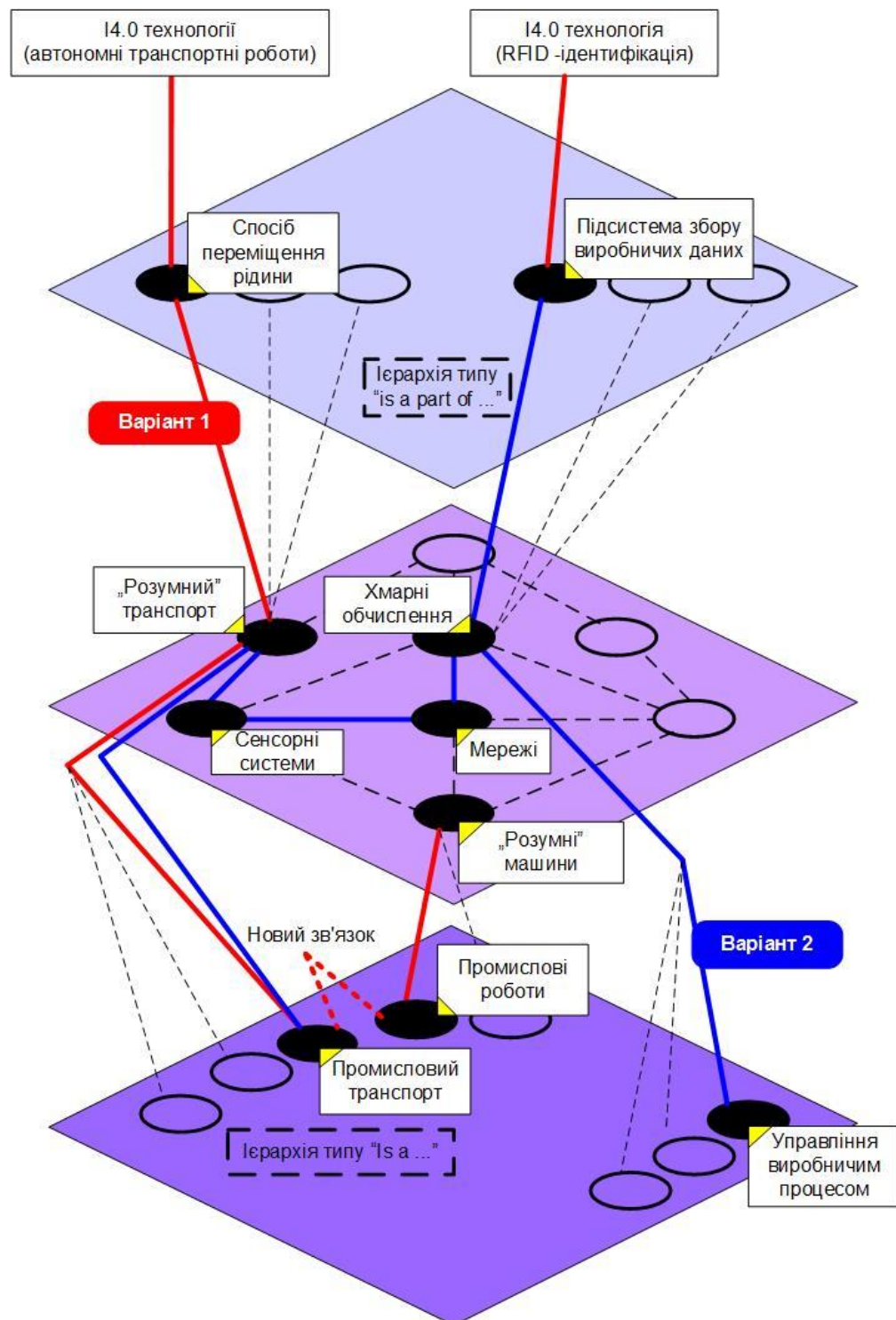


Рисунок 4.4 – Означення концептуальних рішень цифрової трансформації реального АТП

Перший варіант («Варіант 1») показує, що промисловий транспорт реального АТП, що є різновидом «розумного» транспорту, і представлений такою його частиною як «Спосіб переміщення рідини», може бути концептуально вдосконалений шляхом використання цифрової технології «Автономні транспортні роботи», що означає інтеграцію промислового транспорту з таким різновидом «розумних» машин як робот (ця новітній інтеграційний зв'язок відображений на нижній площині графічної моделі пунктирною лінією).

Другий варіант («Варіант 2») показує, що переміщення матеріальних ресурсів промисловим транспортом (різновид «розумного» транспорту) може бути концептуально вдосконалено шляхом застосування відповідної сенсорної системи, яка через цифрову мережу підключена до «хмарного» обчислення, що реалізує управління виробничим процесом, при цьому його підсистема збору виробничої інформації побудована на новітній цифровій технології «RFID – ідентифікація».

4.3 Приклад виконання цифрової трансформації реального АТП

Розглянемо приклад виконання на новому КНЗ заключної стадії цифрової трансформації реального АТП трубопровідної транспортної системи. Вище був розглянутий фрагмент фізичної реалізації цього АТП (див. рисунок 3.7) та виявлені основні його недоліки у порівнянні з властивостями (ознаками) цифрового «розумного» виробництва І4.0. Подальший процес цифрової трансформації АТП, яка матиме на меті усунення деяких з цих недоліків, починаємо з вже готової загальної

онтологічної моделі предметної області «Промислова автоматизація І4.0» (див. рисунок 4.3).

Враховуючи суть даного АТП, виконаємо додаткове онтологічне дослідження предметної області, скоригувавши його концепцію, наприклад «Система автоматизації «розумного хімічного виробництва». В результаті такого додаткового дослідження можна сформувати знання про нові базові об'єкти (поняття) та зв'язки між ними, які характерні саме для даної області практичного використання АТП. Наприклад, для базового об'єкту «Розумні машини», розміщеного у шарі «Класичні базові об'єкти) існуючої загальної онтологічної моделі, у нижчому шарі «Різновиди базових об'єктів» з'явиться новий об'єкт – «Хімічні реактори», а у вищому шарі «Складові базових об'єктів» з'являться такі нові об'єкти (поняття) як «Хімічна технологія», «Основне технологічне устаткування», «Система транспортування хімічної сировини/продукції», «Система зберігання хімічної сировини/продукції», «Система управління» і т.д. (рисунок 4.5).

Для виходу на конкретні проєктні рішення такої онтологічної моделі буде недостатньо, тому продовжуємо онтологічне дослідження, звертаючи увагу вже на ті цифрові технології, які натеper пропонуються у світовій практиці для цифрової трансформації аналогічних АТП. В результаті цього можна з'ясувати, що на «розумному хімічному виробництві» основною бізнес-задачею є постійне оновлення асортименту його продукції і випуск цієї продукції малими або середніми партіями, причому асортимент цієї продукції у великій мірі має залежати від поточних уподобань потенційних її покупців. Саме тому при

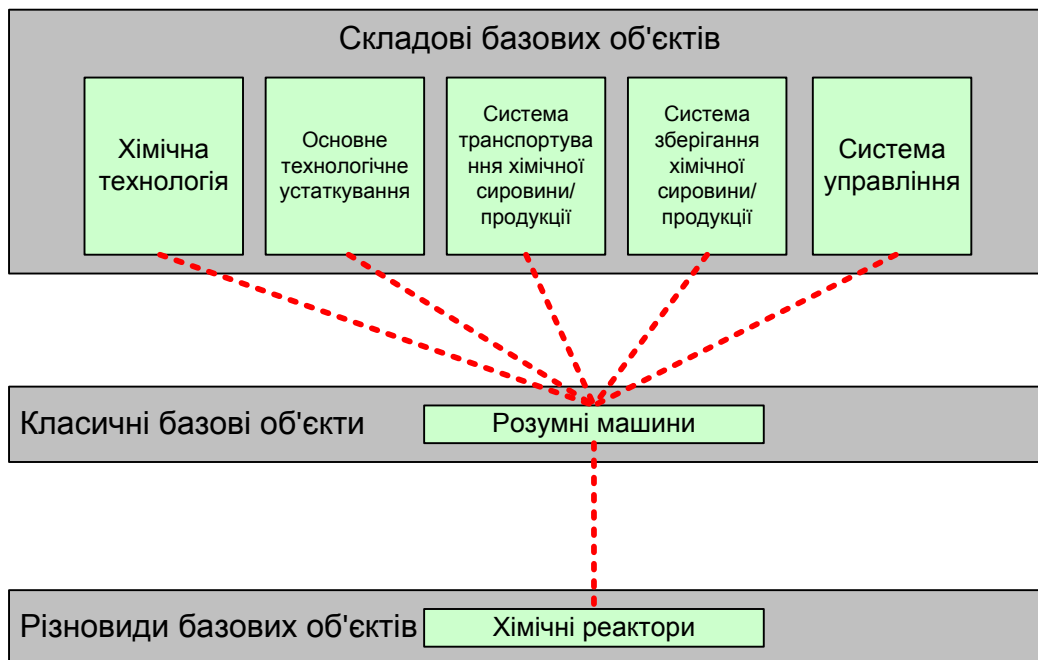


Рисунок 4.5 – Проміжний вигляд онтологічної моделі за скоригованою концепцією дослідження

вирішенні даної бізнес-задачі у світовій практиці пропонується замість одного або кількох наявних на виробництві хімічних реакторів, розрахованих на виготовлення великих порцій хімічних продуктів обмеженого виду, встановлювати цілу систему різних хімічних реакторів меншого об'єму з вдосконаленою цифровою системою управління (наприклад на основі цифрових двійників [46-48]), які в сукупності можуть виготовляти різні види хімічної продукції (рисунок 4.6).



Рисунок 4.6 – Система «розумних» хімічних реакторів невеликого об'єму

Якщо цей підхід відобразити на онтологічній моделі, то це призведе до появи у самому верхньому її шарі «Цифрові технології» двох нових об'єктів (понять) - «Багатофункціональний хімічний реактор», зв'язаного асоціацією (зв'язком) з поняттям «Основне технологічне устаткування» з шару «Складові базових об'єктів», та «Цифровий двійник», зв'язаного асоціацією (зв'язком) з поняттям «Система управління» з шару «Складові базових об'єктів».

При подальшому детальному дослідженні сучасних цифрових технологій, що пропонуються для цифрової трансформації промислових транспортних систем для рідких матеріальних ресурсів, в тому числі хімічних, можна виявити таку технологію як автономний мобільний робот (Autonomous Mobile Robot, AMR) або автономний керований транспортний засіб (Autonomous Guided Vehicle, AGV) [49]. Такі пристрої можуть перевозити на собі різні матеріальні виробничі ресурси обмеженого об'єму чи маси, як це показано на рисунку 4.7.

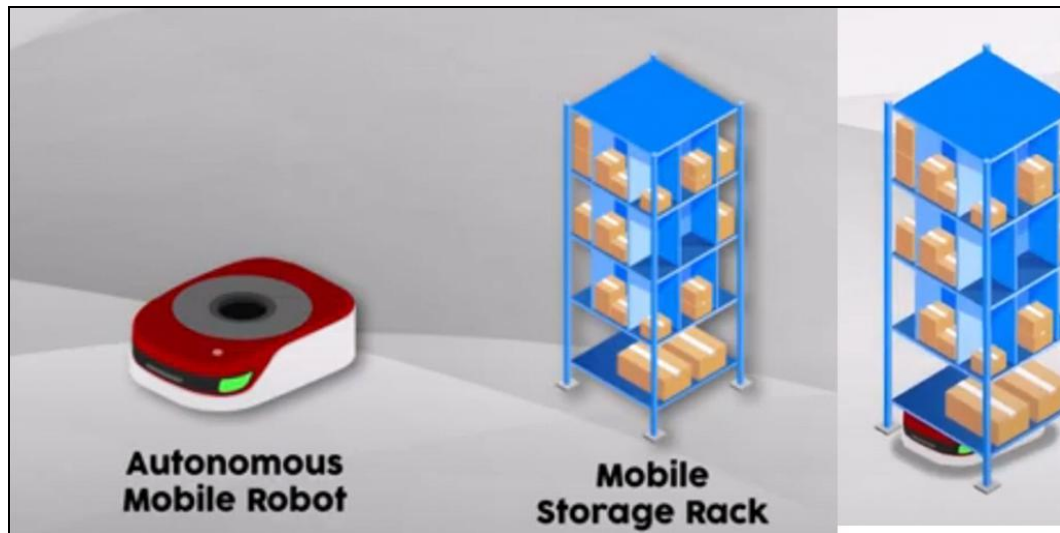


Рисунок 4.7 – Автономні мобільні роботи для транспортування матеріальних виробничих ресурсів

Крім того, при аналізі конкретних прикладів практичного застосування даних транспортних засобів на виробництві можна виявити ще одну цифрову технологію, яка зазвичай використовується разом з ними, а саме, радіочастотна ідентифікація матеріальних ресурсів – RFID (Radio Frequency Identification) [50-52]. Вона дозволяє системі управління відстежувати усі переміщення кожної одиниці чи порції матеріального ресурсу по виробництву (рисунок 4.8).

Також можна виявити новітні цифрові технології щодо систем зберігання рідких матеріальних ресурсів, зокрема, хімічних. Однією з таких перспективних технологій натеper є капілярна камера для зберігання/транспортування різних рідин, а також додаткове обладнання для неї, наприклад, капілярний насос з цифровим управлінням (рисунок 4.9) [53].

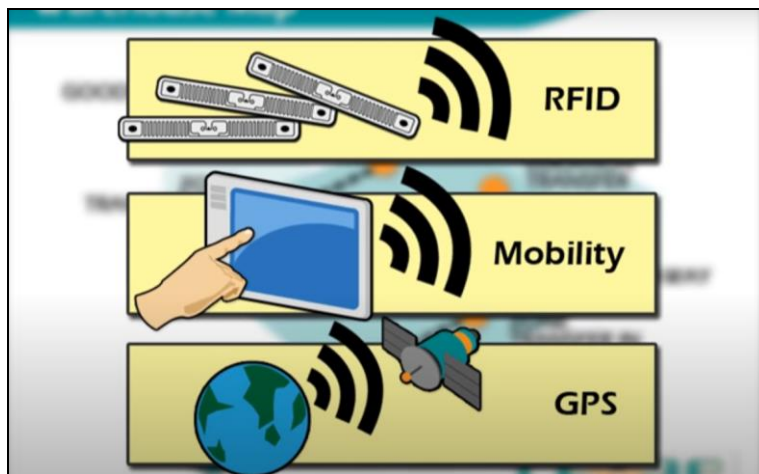


Рисунок 4.8 – Основні компоненти RFID – технології ідентифікації



Рисунок 4.9 – Цифрова технологія точного перекачування хімічних рідин

Така технологія дає можливість не тільки надійно зберігати рідину у камері невеликого об'єму, але і легко транспортувати її по виробництву та точно дозувати її викачування з камери за допомогою показаного на рисунку капілярного насосу.

Підведемо підсумок виконаної стадії навчального проєктування, в ході якої за скоригованою концепцією додатково була досліджена предметна

область та виявлені нові її об'єкти (поняття). По-перше, ці об'єкти (поняття) здебільше стосуються нового шару онтологічної моделі – «Цифрові технології», по-друге, у шарі «Різновиди базових об'єктів» доцільно означити такий об'єкт (поняття) як «Промислові роботи», який в подальшому може бути корисним у проєкті.

На рисунку 4.10 І в додатку Б показаний остаточний варіант онтологічної моделі, яку можна покласти в основу подальшого навчального проєктування ЦТ реального АТП.

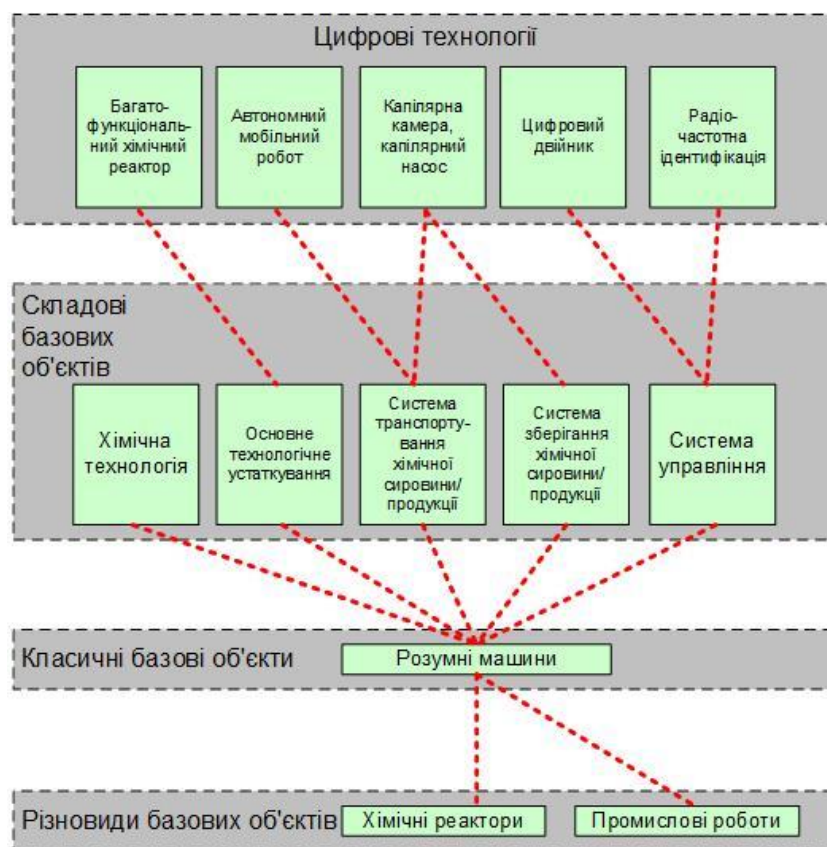


Рисунок 4.10 – Готова онтологічна модель для навчального проєктування

Тепер можна переходити до безпосереднього навчального проєктування вдосконаленого АТП трубопровідної транспортної системи, що обслуговує ТП на основі хімічного реактора. Першим етапом такого проєктування є розробка концептуального рішення (концепції)

вдосконаленого АТП, яке дозволить означити загальне бачення нового технічного рішення.

На рисунку 4.11 показана загальна ідея цього рішення.

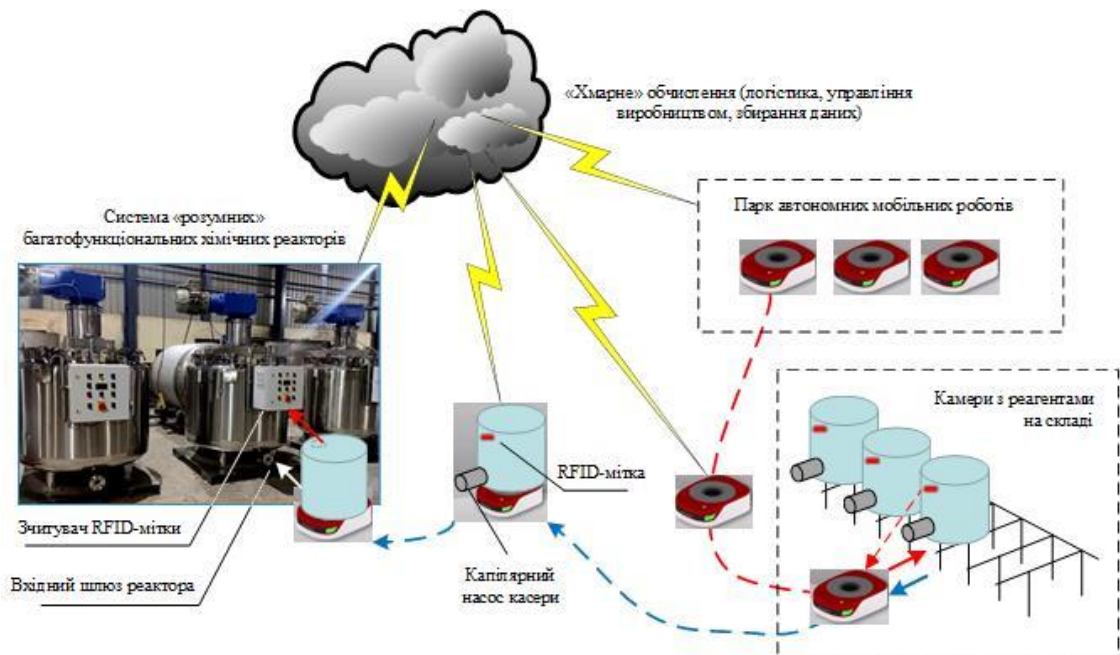


Рисунок 4.11 – Ідея цифрової трансформації трубопровідної транспортної системи

А на рисунку 4.12 і в додатку Б показане вже концептуальне рішення кіберфізичної системи для автоматизації ТП транспортування рідин.

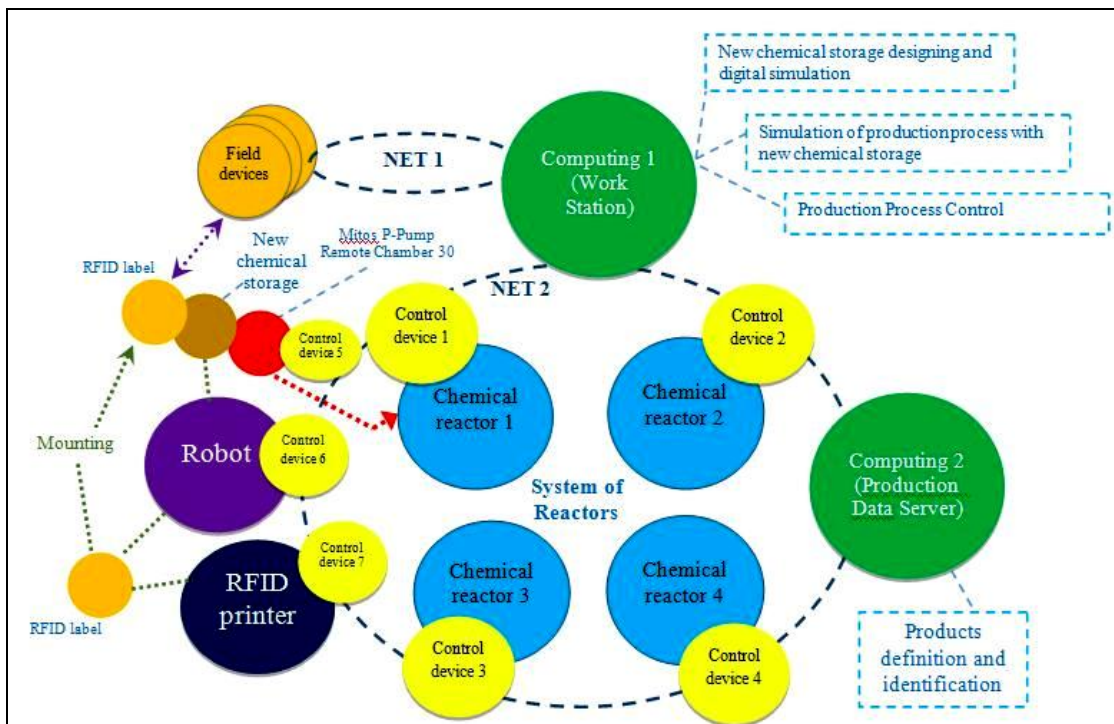


Рисунок 4.12 – Концепція цифрового «розумного» АТП у вигляді кіберфізичної системи

Загальна ідея цифрової трансформації існуючого АТП трубопровідної транспортної системи (див. рисунок 4.11) полягає в тім, що замість трубопроводів на «розумному» цифровому підприємстві будуть використовуватися автономні транспортні роботи, які переміщують вихідні хімічні реагенти, що зберігаються на складі у спеціальних транспортних камерах невеликого об'єму з вбудованими цифровими капілярними насосами і цифровими RFID-мітками, до того чи іншого «розумного» хімічного реактора. 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. 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 (див. рисунок 4.12), яке у довільній формі описує побудову цієї системи 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» АТП транспортної системи 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 загального бачення технічного рішення нового АТП промислової транспортної системи для обслуговування «розумного» ТП на основі системи хімічних реакторів можна буде перейти до наступного етапу навчального проєктування – до його архітектурного проєктування.

4.4 Висновки до розділу

В результаті виконання дослідницьких та проєктних робіт у даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи була обґрунтована модель діяльності заключної стадії практичного вивчення цифрової трансформації

АТП трубопровідної транспортної системи хімічного підприємства, які виконують студент і викладач.

На основі запропонованого методу онтологічного дослідження предметної області промислової автоматизації І4.0 була побудована її концептуальна модель та означені способи її використання для цифрової трансформації АТП трубопровідної транспортної системи хімічного підприємства.

В якості прикладу виконання цієї стадії практичного вивчення цифрової трансформації було розроблене концептуальне рішення нового АТП трубопровідної транспортної системи, який на цифровому «розумному» виробництві обслуговує ТП на основі кількох «розумних» хімічних реакторів малого об'єму.

5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

5.1 Технологічний аудит розробленого комп'ютеризованого навчально-го засобу для практичного вивчення цифрової трансформації трубопровідної транспортної системи хімічного підприємства

Відомо, що сучасні системи управління в будь-якій області науки, техніки та виробництва, як правило, являють собою комп'ютеризовані системи управління. Тому вивчення усіх областей знань, що пов'язані з сучасною комп'ютерною автоматизацією, є актуальною задачею і основним змістом навчального плану підготовки магістрів, що здійснює кафедра АІТ ВНТУ.

Сьогодні у світовій освітній практиці при підготовці фахівців спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» все ширше застосовується така форма організації навчального процесу як «навчальна фабрика». Застосування цієї форми дозволяє максимально зблизити наукові розробки, новітнє навчальне обладнання та реальне виробництво. В ході такого навчання ідеї студентів, які були успішно реалізовані на такій «навчальній фабриці», впроваджуються в реальне виробництво.

Тому метою магістерської кваліфікаційної роботи було створення на основі лабораторної імітації «навчальної фабрики» нового комп'ютеризованого навчального засобу для практичного вивчення студентами спеціальностей 151 та 174 методів та засобів цифрової трансформації її трубопровідної транспортної системи у відповідності до вимог концепції «Індустрія 4.0».

Для реалізації поставленої мети було досліджено трубопровідні транспортні системи «віртуального» хімічного виробництва та виявлено їх недоліки порівняно з вимогами концепції «Індустрія 4.0»; досліджено

існуючі методи та засоби цифрової трансформації промислового трубопровідного транспорту для «розумного» цифрового підприємства; зроблено техніко-економічне та науково-технічне обґрунтування загальної архітектури нового комп'ютеризованого навчального засобу; спроектовано програмно-технічні частини навчального засобу та розроблено навчально-методичне забезпечення навчального засобу.

В результаті було розроблено новий навчальний засіб, використання якого в освітньому процесі має сприяти формуванню у студентів практичних навичок і умінь у здійсненні цифрової трансформації існуючих на виробництві технологічних/технічних процесів.

Для встановлення комерційного потенціалу розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу було проведено його технологічний аудит, для чого було запрошено 3-х відомих експертів: к.т.н., доцента Р.В. Маслія, к.т.н., доцента В.В. Кабачого та к.т.н., професора В.М. Папінова.

Визначення комерційного потенціалу нашої розробки було здійснено за критеріями, наведеними в таблиці 5.1.

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

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

	властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	властивості продукту на рівні аналогів	властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
--	---	--	--	--	---

Продовження таблиці 5.1

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
Ринкові перспективи					
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший	Термін реалізації ідеї більший	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти	Термін реалізації ідеї менше	Термін реалізації ідеї менше

	за 10 років	за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
--	-------------	---	---	--	--

Продовження таблиці 5.1

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Запрошені експерти оцінили розроблений нами комп'ютеризований навчальний засіб таким чином (див. табл. 5.2):

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

Критерії	Прізвище, ініціали експертів		
	Р.В. Маслій	В.В. Кабачій	В.М. Папінов
	Бали, що їх виставили експерти:		
1	3	3	4
2	3	3	3
3	3	3	3
4	3	3	3
5	3	3	3
6	3	3	4
7	3	4	3
8	3	4	3
9	4	3	3
10	3	3	3
11	3	3	4
12	3	3	3

Сума балів	СБ ₁ = 37	СБ ₂ = 37	СБ ₃ = 39
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{37 + 38 + 39}{3} = \frac{114}{3} = 38$		

Далі, звернувшись до рекомендацій щодо встановлення рівня комерційного потенціалу будь-якої розробки (див. таблицю 5.3), нами було зроблено висновок, що, оскільки середньоарифметична сума балів, що їх виставили експерти, складає 38 балів, то це свідчить, що розроблений нами новий комп'ютеризований навчальний засіб має рівень комерційного потенціалу, який вважається «вище середнього», наближаючись при цьому до «високого» рівня.

Таблиця 5.3 – Рівні комерційного потенціалу будь-якої наукової розробки

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

Це пояснюється тим, що створений нами новий комп'ютеризований навчальний засіб, відміну від існуючих комп'ютеризованих навчальних засобів будується на основі лабораторної імітації «навчальної фабрики», що дозволяє підвищити ефективність практичної підготовки студентів за рахунок використання доступних локальних або «хмарних» віртуальних інструментів проєктування цифрової трансформації трубопровідної транспортної системи хімічного підприємства.

5.2 Розрахунок витрат на розробку комп'ютеризованого навчального засобу

При розробці нового комп'ютеризованого навчального засобу були зроблені такі витрати.

Основна заробітна плата Z_o розробників, яка визначається за формулою:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t \text{ грн},$$

(5.1)

де M – місячний посадовий оклад розробника, грн; прийmemo, що

$M = (8000 \dots 35000)$ грн/місяць;

T_p – число робочих днів в місяці; прийmemo $T_p = 22$ дні;

t – число днів роботи розробників.

Зроблені розрахунки зведемо до таблиці 5.4:

Таблиця 5.4 – Основна заробітна плата розробників

Найменування посади виконавця	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на оплату праці, грн
1. Науковий керівник магістерської роботи	24500	1113,64	20 годин	≈ 3712 (при 6-годинноиу робочому дні)
2. Магістрант-студент-виконавець	Беремо мінімальну оплату 8000	363,64	82	≈ 29819
3. Консультант з економічної частини	20000	909,09	1,5 години	≈ 228 (при 6-годинному робочому дні)
4. Консультант з хімічного підприємства	18000	818,18	2	≈ 1637
Загалом				$Z_o = 35396$ грн

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

$$З_д = \alpha \cdot З_о = (0,1...0,12) \cdot З_о.$$

(5.2)

Прийmemo, що $\alpha = 0,1$. Тоді для нашого випадку отримаємо:

$$З_д = 0,1 \times 35396 = 3539,6 \approx 3540 \text{ грн.}$$

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

$$\text{НЗП}_{\text{зп}} = (З_о + З_д) \cdot \frac{\beta}{100},$$

(5.3)

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

$$\text{НЗН}_{\text{зп}} = (35396 + 3540) \times 0,22 = 8565,92 \approx 8566 \text{ грн.}$$

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

$$А = \frac{Ц \cdot Н_a}{100} \cdot \frac{T}{12} \text{ грн,}$$

(5.4)

де Ц – загальна балансова вартість основних засобів, грн;

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

T – термін використання основних засобів, місяці.

Зроблені розрахунки зведено в таблицю 5.5.

Таблиця 5.5 – Розрахунок амортизаційних відрахувань

Найменування обладнання, приміщень тощо	Балансова вартість, грн.	Норма амортизації, %	Термін використання, міс.	Величина амортизаційних відрахувань, грн
1. Комп'ютерна техніка, обладнання тощо	60000	20,0	3,0 (при 50% використанні)	1500
2. Приміщення університету, кафедри	18000	5,0	3,0 при 80% використанні	180
Всього				A = 1680 грн

Д). Витрати на матеріали М розраховуються за формулою:

$$M = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i - \sum_1^n B_i \cdot C_b \text{ грн.}, \quad (5.5)$$

де H_i – витрати матеріалу i -го найменування, кг; C_i – вартість матеріалу i -го найменування; K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = (1,1 \dots 1,15)$; B_i – маса відходів матеріалу i -го найменування; C_b – ціна відходів матеріалу i -го найменування; n – кількість видів матеріалів.

Е). Витрати на комплектуючі К розраховуються за формулою:

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

де H_i – кількість комплектуючих i -го виду, шт.; C_i – ціна комплектуючих i -го виду; K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = (1,1 \dots 1,15)$; n – кількість видів комплектуючих.

Під час виконання роботи загальні витрати на матеріали та комплектуючі склали приблизно 4000 грн.

Ж). Витрати на силову електроенергію V_e розраховуються за формулою:

$$B_e = \frac{B \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}}{K_d}, \quad (5.7)$$

де B – вартість 1 кВт-год. електроенергії, в 2024 р. $B \approx 4,5$ грн/кВт;

Π – установлена потужність обладнання, кВт; $\Pi = 0,9$ кВт;

Φ – фактична кількість годин роботи обладнання, годин.

Прийmemo, що $\Phi = 350$ годин;

K_{Π} – коефіцієнт використання потужності; $K_{\Pi} < 1 = 0,72$.

K_d – коефіцієнт корисної дії, $K_d = 0,62$.

Тоді витрати на електроенергію будуть дорівнювати:

$$B_e = \frac{B \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}}{K_d} = \frac{4,5 \cdot 0,9 \cdot 350 \cdot 0,72}{0,62} = 1646,13 \approx 1647 \text{ грн.}$$

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

$$B_{\text{інш}} = (0,5 \dots 3) \times Z_o. \quad (5.8)$$

Для нашого випадку отримаємо:

$$B_{\text{інш}} = 1,0 \times 35396 = 35396 \text{ грн.}$$

К). Сума всіх попередніх статей витрат становить витрати на виконання нашої роботи (безпосередньо розробником-магістрантом) – B .

$$B = 35396 + 3540 + 8566 + 1680 + 4000 + 1647 + 35396 = 90225 \text{ грн.}$$

Л). Загальні витрати на розробку розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу $B_{\text{заг}}$ розраховуються за формулою:

$$B_{\text{заг}} = \frac{B}{\beta},$$

(5.9)

де β – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання цієї роботи. Можна прийняти, що, $\beta \approx 0,85$ [1], оскільки робота майже повністю виконана і готова до можливого впровадження.

$$\text{Тоді: } B_{\text{заг}} = \frac{90225}{0,85} = 106147,05 \text{ грн або приблизно 107 тисяч грн.}$$

Тобто прогнозовані загальні витрати на розробку розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу становлять приблизно 107 тисяч грн.

5.3 Розрахунок економічного ефекту від можливої комерціалізації нашої розробки

Економічний ефект від можливої комерціалізації розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу пояснюється його значно кращими функціональними можливостями. Тому нашу розробку можна реалізовувати на ринку дещо дорожче, ніж аналогічні за функціями розробки. Так, якщо подібні за функціями розробки у 2024 році коштували на ринку приблизно 25 тисяч доларів США (або приблизно 1000 тисяч грн при курсі $\$1 \approx 40$ грн), то нашу найновішу, ефективнішу та актуальнішу розробку можна буде реалізовувати на ринку дещо дорожче, наприклад, за 1100 тисяч грн, або на 100 тисяч грн дорожче.

Аналіз ринку показує, що сьогодні в Україні зацікавленими користувачами подібних комп'ютерних засобів можуть бути вищі навчальні заклади (університети, технічні інститути), які мають відповідні факультети

та кафедри; коледжі і технікуми, що готують фахівців середньої ланки у сфері автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій; підприємства та компанії, які впроваджують концепцію «Індустрія 4.0» і потребують фахівців з новітніми знаннями та навичками; фірми, що займаються розробкою та впровадженням автоматизованих систем управління технологічними процесами тощо.

Аналіз місткості ринку показує, що на сьогодні кількість реальних користувачів подібних комп'ютеризованих навчальних засобів становить приблизно 20 осіб. Але оскільки наш комп'ютеризований навчальний засіб має значно кращі функціональні характеристики, то можна очікувати зростання попиту на нашу розробку принаймні протягом 3-х років після її впровадження.

Тобто, якщо наша розробка буде впроваджена з 1 січня 2025 року, то її результати будуть виявлятися протягом 2025-го, 2026-го та 2027-го років.

Прогноз зростання попиту на нашу розробку складає по роках:

- а) 2025 р. – приблизно +3 шт. до базового року;
- б) 2026 р. – +5 шт. до базового року;
- в) 2027 р. – +8 шт. до базового року.

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

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta\Pi_o \cdot N + \Pi_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{v}{100}\right), \quad (5.10)$$

де $\Delta\Pi_o$ – покращення основного якісного показника від впровадження результатів розробки у цьому році. Для нашого випадку це є збільшення ціни реалізації нового навчального засобу $\Delta\Pi_o = (1100-1000) = 100$ тисяч грн;

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

ΔN – покращення (збільшення) основного кількісного показника від впровадження результатів розробки. Таке покращення становитиме по роках, відповідно: + 3, +5, +8 шт. (до базового 2024 року);

Π_0 – основний якісний показник, який визначає обсяг діяльності у році після впровадження результатів розробки, грн; $\Pi_0 = 1100$ тисяч грн;

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

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

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати $\rho = (0,2 \dots 0,5)$; візьмемо $\rho = 0,35$;

ν – ставка податку на прибуток. У 2024 та наступних роках $\nu = 18\%$.

Тоді можливе зростання чистого прибутку $\Delta \Pi_1$ для потенційного інвестора протягом першого року від можливого впровадження нашої розробки (2025 р.) становитиме:

$$\Delta \Pi_1 = [100 \cdot 20 + 1100 \cdot 3] \cdot 0,8333 \cdot 0,35 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 1267,53 \approx 1268 \text{ тис. грн.}$$

Можливе зростання чистого прибутку $\Delta \Pi_2$ для потенційного інвестора від можливого впровадження нашої розробки протягом другого (2026 р.) року становитиме:

$$\Delta \Pi_2 = [100 \cdot 20 + 1100 \cdot 5] \cdot 0,8333 \cdot 0,35 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 1793,67 \approx 1794 \text{ тис. грн.}$$

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

$$\Delta\Pi_3 = [100 \cdot 20 + 1100 \cdot 8] \cdot 0,8333 \cdot 0,35 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 2582,89 \approx 2583 \text{ тис. грн.}$$

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

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

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

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

τ – ставка дисконтування. Прийmemo $\tau = 0,10$ (10%), яка прогнозується в 2024 році та наступних роках;

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

Тоді приведена вартість зростання всіх можливих чистих прибутків $\text{ПП}^{10\%}$ (при 10% інфляції), що їх може отримати потенційний інвестор від комерціалізації нашої розробки, складе:

$$\text{ПП}^{10\%} = \frac{1268}{(1 + 0,1)^1} + \frac{1794}{(1 + 0,1)^2} + \frac{2583}{(1 + 0,1)^3} \approx 1048 + 1348 + 1764 = 4160 \text{ тисяч грн.}$$

Теперішня вартість інвестицій PV , що повинні бути вкладені потенційним інвестором для реалізації нашої розробки: $PV = (1,0 \dots 5) \times B_{\text{заг}}$.

Для нашого випадку $PV = (1,0 \dots 5) \times 107 = 5 \times 107 = 535$ тисяч грн.

Тоді абсолютний ефект від можливих вкладених інвестицій $E_{\text{абс}}$ становитиме:

$$E_{abc} = \text{ПП} - \text{PV}, \quad (5.12)$$

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

PV – теперішня вартість інвестицій PV = 535 тисяч грн.

Тоді:

$$E_{abc} = 4160 - 535 = 3625 \text{ тисяч грн.}$$

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

Далі розрахуємо внутрішню дохідність E_b вкладених інвестицій:

$$E_b = \sqrt[T_j]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (5.13)$$

де E_{abc} – абсолютний ефект вкладених інвестицій; $E_{abc} = 3625$ тисяч грн;

PV – теперішня вартість початкових інвестицій PV = 535 тисяч грн;

T_j – життєвий цикл розробки, роки.

$T_j = 4$ років (2024, 2025, 2026, 2027 роки)

Для нашого випадку отримаємо:

$$E_b = \sqrt[4]{1 + \frac{3625}{535}} - 1 = \sqrt[4]{1 + 6,7757} - 1 = \sqrt[4]{7,7757} - 1 \approx 1,67 - 1 = 0,67 = 67,0\%.$$

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

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

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

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2024 році в Україні $d = (0,15...0,18)$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина

$$f = (0,05...0,40).$$

Для нашого випадку отримаємо:

$$\tau_{\text{мін}} = 0,15 + 0,35 = 0,50 \text{ або } \tau_{\text{мін}} = 50\%.$$

Оскільки величина $E_v = 67,0\% > \tau_{\text{мін}} = 50\%$, то потенційний інвестор у принципі може бути зацікавлений у фінансуванні та комерціалізації розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу.

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

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

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{E_v}. \quad (5.15)$$

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

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{0,67} = 1,49 \text{ років} < 3 \text{ років},$$

що свідчить про потенційну доцільність комерціалізації розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу.

Далі проведено моделювання залежності величини внутрішньої дохідності вкладених інвестицій від рівня інфляції в країні.

При рівні інфляції у 20% отримаємо:

$$\text{ПП}^{20\%} = \frac{1268}{(1+0,2)^1} + \frac{1794}{(1+0,2)^2} + \frac{2583}{(1+0,2)^3} \approx 881 + 1038 + 1246 = 3165 \text{ тисяч грн.}$$

Тоді абсолютний ефект від можливого впровадження нашої розробки складе:

$$E_{\text{абс}} = 3165 - 535 = 2630 \text{ тисяч грн.}$$

Внутрішня дохідність E_v вкладених інвестицій становитиме:

$$E_v = \sqrt[4]{1 + \frac{E_{\text{абс}}}{PV}} - 1,$$

де $E_{\text{абс}}$ – абсолютний ефект вкладених інвестицій; $E_{\text{абс}} = 2630$ тисяч грн;

PV –теперішня вартість початкових інвестицій $PV = 535$ тисяч грн.

Для нашого випадку отримаємо:

$$E_v = \sqrt[4]{1 + \frac{2630}{535}} - 1 = \sqrt[4]{1 + 4,9159} - 1 = \sqrt[4]{5,9159} - 1 \approx 1,56 - 1 = 0,56 = 56,0\%.$$

При рівні інфляції у 30% отримаємо:

$$\text{ПП}^{30\%} = \frac{1268}{(1+0,3)^1} + \frac{1794}{(1+0,3)^2} + \frac{2583}{(1+0,3)^3} \approx 750 + 817 + 905 = 2472 \text{ тисяч грн.}$$

Тоді абсолютний ефект від можливого впровадження нашої розробки складе:

$$E_{\text{абс}} = 2472 - 535 = 1937 \text{ тисяч грн.}$$

Внутрішня дохідність E_v вкладених інвестицій становитиме:

$$E_v = \sqrt[n]{1 + \frac{E_{\text{абс}}}{PV}} - 1,$$

де $E_{\text{абс}}$ – абсолютний ефект вкладених інвестицій; $E_{\text{абс}} = 1937$ тисяч грн;

PV –теперішня вартість початкових інвестицій $PV = 535$ тисяч грн.

Для нашого випадку отримаємо:

$$E_v = \sqrt[4]{1 + \frac{1937}{535}} - 1 = \sqrt[4]{1 + 3,6206} - 1 = \sqrt[4]{4,6206} - 1 \approx 1,46,7 - 1 = 0,467 = 46,7\%.$$

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

Аналіз графіка 5.1 показує, що оскільки при рівні інфляції до 30% величина внутрішньої дохідності інвестицій перевищує 50% або наближається до цього рівня. Тобто потенційний інвестор у принципі може бути зацікавлений у фінансуванні та комерціалізації розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу.

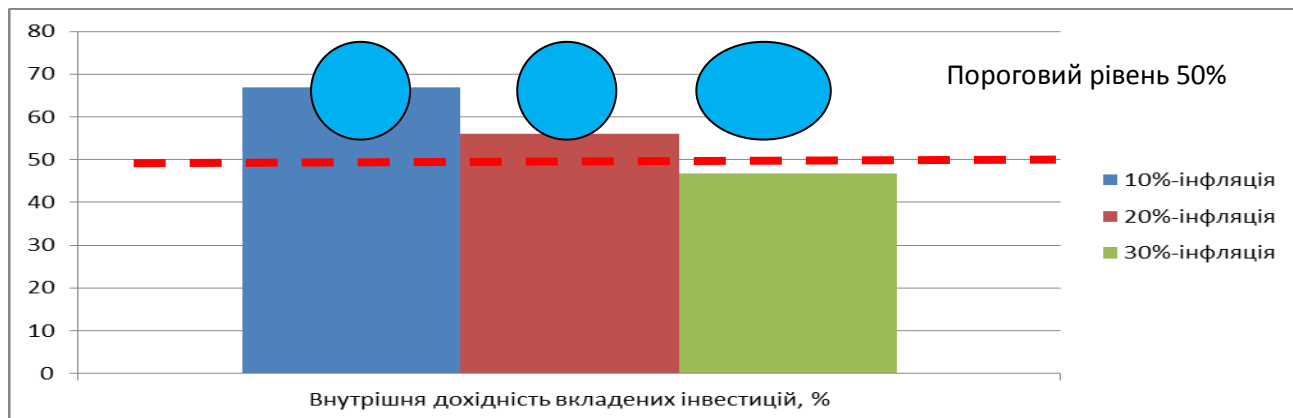


Рисунок 5.1 – Моделювання залежності величини внутрішньої дохідності вкладених потенційних інвестицій від рівня інфляції в країні

ВИСНОВКИ

В результаті виконання досліджень в рамках розділу 1 магістерської кваліфікаційної роботи був виконаний огляд основних напрямків цифрової трансформації сучасного промислового виробництва, яка здійснюється з метою впровадження ідей четвертої промислової революції «Індустрія 4.0». Для подальшого обґрунтування загальної архітектури нового комп'ютеризованого навчального засобу для практичного вивчення студентами процесу цифрової трансформації була досліджена існуюча в комп'ютеризованій навчальній лабораторії реалізація технічного процесу трубопровідної транспортної системи, яка функціонує в рамках «віртуального виробництва» хімічної продукції. Досліджена предметна область цифрової трансформації аналогічних технічних процесів та намічені її напрями, які можуть вивчатися студентами на новому навчальному засобі. Розроблена архітектура нового комп'ютеризованого навчального засобу, яка відображає як його складові частини, так і основні стадії виконання студентами відповідного проєктного практикуму.

В результаті виконання розділу 2 магістерської кваліфікаційної роботи була обґрунтована модель діяльностей стадії «Моделювання існуючого автоматизованого ТП», які виконують актори «Студент» і «Викладач» в ході практичного вивчення цифрової трансформації АТП трубопровідної транспортної системи хімічного підприємства. Зроблений огляд та наведені приклади основних графічних комп'ютерних моделей, що має розробляти актор «Викладач» в рамках навчально-методичного забезпечення практикуму професійної дисципліни. Також зроблений огляд та наведені приклади графічних комп'ютерних моделей, що має розробляти актор «Студент» в ході проходження відповідного практикуму з професійної дисципліни.

В результаті виконання розділу 3 магістерської кваліфікаційної роботи було сформоване загальне бачення процесу виконання стадії «Аналіз

реального автоматизованого ТП» при практичному вивченні цифрової трансформації реального АТП трубопровідної транспортної системи. На основі цього бачення був розроблений детальний алгоритм виконання робіт студентом та викладачем в рамках даної стадії практичного навчання. Для пояснення практичного застосування такого алгоритму наведені приклади виконання порівняльного аналізу деяких фрагментів фізичної реалізації існуючого реального АТП та виявлення існуючих їх недоліків.

В результаті виконання розділу 4 магістерської кваліфікаційної роботи була обґрунтована модель діяльності заключної стадії практичного вивчення цифрової трансформації АТП трубопровідної транспортної системи, які виконують студент і викладач.

На основі запропонованого методу онтологічного дослідження предметної області промислової автоматизації І4.0 була побудована її концептуальна модель та означені способи її використання для цифрової трансформації АТП трубопровідної транспортної системи.

В якості прикладу виконання цієї стадії практичного вивчення цифрової трансформації було розроблене концептуальне рішення нового АТП трубопровідної транспортної системи, який на цифровому «розумному» виробництві обслуговує ТП на основі кількох «розумних» хімічних реакторів малого об'єму.

В економічному розділі магістерської кваліфікаційної роботи доведена висока економічна ефективність можливого впровадження нової методики проведення проєктного практикуму у вузах України.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Стандарт вищої освіти бакалавра за спеціальністю 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" галузі знань 15 "Автоматизація та приладобудування": затверджено і введено в дію Наказом Міністерства освіти і науки України від 4.10.18 р. №1071 [Електронний ресурс]. - Режим доступу : <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/12/21/151-avtomatizatsiya-ta-kompyuterno-integrovani-tekhnologii-bakalavr.pdf>.
2. Стандарт вищої освіти магістра за спеціальністю 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" галузі знань 15 "Автоматизація та приладобудування" [Електронний ресурс]. - Режим доступу : https://mon.gov.ua/storage/app/media/vyshcha/naukovo-metodychna_rada/proekty_standartiv_VO/151-avtomatizacziya-ta-kompyuterno-integrovani-texnologiyi-magistr-22052017-bez-matri.doc..
3. Working and learning [Електронний ресурс]: Festo Corporate. - Режим доступу: <https://www.festo.com/group/ru/cms/10968.htm>.
4. An integrated learning system for Industry 4.0 ?Електронний ресурс?: Festo Didactic. - Режим доступу: <https://www.festo-didactic.com/int-en/highlights/qualification-for-industry-4.0/project-workstation-i4.0-cp-lab/>.
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.
6. Implementing Industrie 4.0: This is how it works! Електронний ресурс : Festo Corporate. URL : <https://youtube/ZCLHojIj7eA>.
7. 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.

8. 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 (<https://oeipt.vntu.edu.ua/index.php/oeipt/article/view/581>).

9. Широков Ю. Інтелектуальні рішення ІЕІ для виробництва / Ю. Широков// Сучасні технології автоматизації. - 2020. - №1. - С.68-75.

10. Рангараджан К. Індустрія 4.0 та ІоТ: поява промислових роботів / К. Рангараджан, Г. Чугала [Електронний ресурс]. URL: <https://www.electronicdesign.com/industrial-automation//article/21216385/infineon-technologies-industry-40-and-iiot-the-rise-of-industrial-robots>.

11. Трубопровідний транспорт: Фловекс Україна [Електронний ресурс]. URL: <https://www.flowex.com.ua/uk/truboprovodnyj-transport>.

12. Pipe2024: KYPipe Overview (Steady-State) | KYPipe [Електронний ресурс]. URL: https://kypipe.com/kypipe/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw17qvBhBrEiwA1rU9w0WzN0NHlKGQCMmGHcWYhSL6eEZu8f23lTbNgNqi4JAqWRbbxD-3zBoCjTgQAvD_BwE.

13. Pipe2024 New Features Overview [Електронний ресурс]. URL: <https://kypipe.com/pipe2024-new-features-overview/>.

14. Software pipeline ecosystem overview [Електронний ресурс]. URL: <https://www.dnv.com/Videos/software-pipeline-ecosystem-overview-169555>.

15. Що Таке Розумне Управління Водою? [Електронний ресурс]. URL: <https://ua.shmeter.com/news/what-is-smart-water-management-65595883.html>.

16. The Digital Twin of Oil and Gas Pipeline System [Електронний ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896321003025>.

17. Використання IoT для прогнозованого обслуговування: передбачення, запобігання, Excel [Електронний ресурс]. URL: <https://www.dusuniot.com/uk/blog/what-is-iot-predictive-maintenance/>.

18. Ключак Б.С., Папінов В.М. комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення цифрової трансформації трубопровідної транспортної системи хімічного підприємства / Матеріали Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)» [Електронне мережне наукове видання] / URL : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/view/21572/18010>.

19. Юрчак О. Цифрова трансформація виробничого підприємства [Електронний ресурс] . URL: <https://industry4-0-ukraine.com.ua/2017/06/>.

20. NX Industrial Electrical Design for Industrial Machinery [Електронний ресурс] . URL: <https://youtu.be/3AeDfiP4zaQ>.

21. Robot Optimization - Stud Welding [Електронний ресурс]. URL: <https://youtu.be/vTu1Ar4pmJg>.

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

23. Автоматизація процесів: навчальний курс [Електронний ресурс]. URL: <http://opiobjektid.tptlive.ee/Automatiseerimine/index.html>.

24. Автоматизація виробництва [Електронний ресурс]. URL: http://opiobjektid.tptlive.ee/Automatiseerimine/4__.html.

25. Технологічний процес [Електронний ресурс]. URL: http://opiobjektid.tptlive.ee/Automatiseerimine/3__.html.

26. Peter Adolphs. RAMI 4.0: An architectural Model for Industrie 4.0/ [Електронний ресурс]. URL : www.plattform-i40.de.

27. 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/>.

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

29. 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>.

30. 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.

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

32. Пупена О.М. Принципи функціонування систем керування основним виробництвом через призму стандарту ІЕС-62264 / О.М. Пупена, О.М. Клименко, Р.М. Міркевич. – К.: НУХТ, 2019. – 49 с.

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

34. Индустрия 4.0 – будущее технического образования [Електронний ресурс]: Ua.Automation.com. URL : <http://ua.automation.com/content/industrija-40-budushhee-tehnicheskogo-obrazovanija>.

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

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

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

38. 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.

39. 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.

40. 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.

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

42. Peter Adolphs. RAMI 4.0: An architectural Model for Industrie 4.0/ [Електронний ресурс]. URL : www.plattform-i40.de.

43. Тривимірна еталонна архітектурна модель RAMI 4.0 / [Електронний ресурс]. URL : https://www.phoenixcontact.com/online/portal/ru?1dmy&urile=wcm:path:/ruru/web/offcontext/insite_landing_pages/1323f37f-e566-4009-8645-661c715cea23/6ddf5dfb-dbc9-47c8-8f1a-dc915d263cd3/605016fb-ed97-4b22-a6fb-de1f93556226/605016fb-ed97-4b22-a6fb-de1f93556226

44. Система управління життєвим циклом створює умови інвестиційної безпеки для виробників та користувачів / [Електронний

ресурс]. URL :
https://www.phoenixcontact.com/online/portal/ua?1dmy&urile=wcm%3apath%3a/ruru/web/offcontext/insite_landing_pages/1323f37f-e566-4009-8645-661c715cea23/6ddf5dfb-dbc8-47c8-8f1a-dc915d263cd3/e3a1dea8-20e3-4e25-a3ba-f9836a1c99a8/e3a1dea8-20e3-4e25-a3ba-f9836a1c99a8).

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

46. CFD (Computational Fluid Dynamics) analysis of a Rushton Turbine by a time accurate simulation and LES (Large Eddy Simulation) turbulence model [Електронний ресурс] : THINK Fluid Dynamix / URL : <https://www.youtube.com/watch?v=i0sRdxpOz00>.

47. Computational Fluid Dynamics (CFD) in the past and today for mixing tanks [Електронний ресурс] : EKATO/ URL : <https://www.youtube.com/watch?v=Dc4zlwXod84>.

48. The Key to the Optimum Mixing Solution [Електронний ресурс] : EKATO/ URL : <https://www.ekato.com/solutions/mixing-tasks/>.

49. AGV technology explained [Електронний ресурс]. URL : <https://m.youtube.com/watch?v=fYbbsq7SNu0>.

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

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

52. RFID basics [Електронний ресурс]. URL : <https://m.youtube.com/watch?v=um8HZlPED-k>.

53. Капілярні насоси [Електронний ресурс]. URL : <https://www.dolomite-microfluidics.com/product/mitos-p-pump-remote-chamber/>

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

ДОДАТКИ

Додаток А
(обов'язковий)

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

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри АІТ

_____ Олег БІСІКАЛО

«__» _____ 2024 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

«Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення цифрової
трансформації трубопровідної транспортної системи хімічного
підприємства»

08-31.МКР.00 .02.000 ТЗ

Керівник роботи:

к.т.н., доц. кафедри АІТ

Владислав КАБАЧІЙ

“__” _____ 2024 р.

Виконавець:

ст.. гр. АКІТ-22мз

Богдан КЛЮЧАК

“__” _____ 2024 р.

Вінниця – 2024 рік

1 Назва і галузь застосування

Комп'ютеризований навчальний засіб (КНЗ) для практичного вивчення цифрової трансформації трубопровідної транспортної системи хімічного підприємства.

КНЗ буде використовуватися як програмно-технічний засіб навчання при підготовці у вищому навчальному закладі фахівців зі спеціальностей 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" та 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка".

2 Підстава для розробки

Робота виконується на підставі наказу по університету №____ від _____, 2024 р. та індивідуального завдання, складеного та затвердженого кафедрою АІТ ВНТУ.

3 Мета та призначення розробки

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є створення на основі даної лабораторної імітації «навчальної фабрики» нового комп'ютеризованого навчального засобу для практичного вивчення студентами спеціальностей 151 та 174 методів та засобів цифрової трансформації її трубопровідної транспортної системи у відповідності до вимог концепції «Індустрія 4.0».

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

Використання КНЗ дозволяє створити умови для індивідуальної когнітивної діяльності студента при рішенні реальних проєктних задач, сприяє більш глибокому вивченню студентом теоретичного матеріалу навчальних дисциплін, а також дає можливість сформулювати у студента відповідні професійно-орієнтовані практичні уміння та навички проєктування.

4 Джерела розробки

1. Папінов В.М. Багатофункціональна комп'ютеризована лабораторія для наскрізної практичної підготовки студентів спеціальності 151 / В.М. Папінов, Я.А. Кулик // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. – 2018. - №2(36). – С. 89-104.
2. Папінов В.М. Лабораторна імітація «навчальної фабрики»: гібридне моделювання матеріальних потоків / В.М. Папінов // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. – 2020. - №2(40). – С.65-81.
3. Папінов В.М. Industrial Internet of Things: практичне вивчення на базі багатофункціональної комп'ютеризованої лабораторії / В.М. Папінов, Я.А. Кулик // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. – 2019. - №2(38). – С.122-137.
4. Папінов В.М. Автоматизований виробничий склад: гібридне моделювання в навчальній комп'ютеризованій лабораторії / В.М. Папінов // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. – 2020. - №1(39). – С.61-77.
5. Пупена О.М. Автоматизовані системи управління виробництвом (MES-рівень): курс лекцій для студ. освіт. ст. "магістр" спец. 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" спеціалізації "Інтегровані

автоматизовані системи управління " денної та заочної форм навчання / О.М. Пупена, Р.М. Міркевич. - К.: НУХТ, 2016. -135 с.

5 Показники призначення

Об'єктом досліджень є навчальний процес підготовки у вищому технічному навчальному закладі фахівців з автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки. Такий об'єкт досліджень зазвичай вивчається в рамках наукової дисципліни "Інженерна педагогіка".

Предметом досліджень є підвищення ефективності практичного вивчення студентами методів та засобів цифрової трансформації існуючого автоматизованого технічного процесу, побудованого за концепцією «Індустрія 3.0», у автоматизований технічний процес «розумного» цифрового виробництва (концепція «Індустрія 4.0») шляхом використання в навчальному практикумі нового КНЗ.

Задачі, що вирішуються в ході розробки:

1. Детальне вивчення існуючої реалізації інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне виробництво».
2. Дослідження методів та засобів цифрової трансформації існуючого виробництва у перспективне «розумне» цифрове виробництво.
3. Техніко-економічне та науково-технічне обґрунтування загального бачення нового КНЗ.
4. Розробка технічного завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.
5. Проєктування програмно-технічного забезпечення нового КНЗ.
6. Розробка навчально-методичного забезпечення нового КНЗ.

Новий КНЗ має будуватися за архітектурою, що описана в розділі 1 та показана на рисунку 1.28. Ця архітектура будується на основі таких моделей, існуючих в лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка» ФПТА:

- на програмно-технічній імітаційній моделі технічного процесу (ТП) трубопровідної транспортної системи;

- на організаційній імітаційній моделі «віртуальне виробництво»;
- на програмно-технічній імітаційній моделі інтегрованої автоматизованої системи управління (ІАСУ) «віртуальним виробництвом» в цілому та окремими його технологічними/технічними процесами.

Архітектура нового КНЗ відображає послідовність практичного вивчення студентом усіх основних стадій процесу цифрової трансформації існуючого автоматизованого ТП (АТП) трубопровідної транспортної системи, яка моделюється в лабораторії, у аналогічний АТП реального «розумного» виробництва, що функціонує в рамках концепції «Індустрія 4.0».

Перша стадія практичного вивчення студентом процесу цифрової трансформації має складатися з двох таких етапів:

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

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

Друга стадія практичного вивчення студентом процесу цифрової трансформації існуючого АТП передбачає виконання таких етапів:

- детальний аналіз комп'ютерних моделей існуючого АТП, розроблених на попередній стадії, з метою визначення тих основних його недоліків, які в подальшому можна буде усунути шляхом його цифрової трансформації у АТП «розумного» виробництва (наприкінці етапу необхідно, щоб студент або викладач вибрав тільки один із знайдених основних недоліків

для продовження практичного вивчення студентом процесу цифрової трансформації);

- пошук того способу вдосконалення існуючого АТП, який дозволить усунути означений основний його недолік (студент може виконувати цей пошук за участі викладача, який надаватиме студенту додаткові консультації та пояснення).

Третя стадія практичного вивчення студентом процесу цифрової трансформації існуючого АТП включає пошук та обґрунтований вибір тієї сучасної цифрової технології або технологій в рамках концепції «Індустрія 4.0», що дозволить реалізувати вибраний вище спосіб вдосконалення існуючого АТП (виконується студентом з використанням доступних інформаційних ресурсів Інтернет та навчально-методичних матеріалів, наданих викладачем).

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

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

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

Умови експлуатації навчального засобу:

- температурний повітря від плюс 10 °С до плюс 35 °С;

- допустима вологість повітря до 90%;
- динамічні удари та вібрація виключені.

6 Економічні показники

До основних економічних показників входять:

- термін окупності інвестицій до 3 років;
- витрати на розробку навчального засобу, тис. грн.. – до 80,0 ;
- абсолютний ефект від впровадження, тис. грн.. – не менше 800,0;
- внутрішня дохідність інвестицій, % – не менше 42 ;

7 Стадії розробки

1. Етап «Науково-технічне та техніко-економічне обґрунтування роботи» та розробка технічного завдання має бути виконаний до 15.03.24 р.
2. Етап «Проектування стадії «Моделювання існуючого автоматизованого ТП»» має бути виконаний до 10.04.24 р.
3. Етап «Проектування стадії «Аналіз реального автоматизованого ТП»» має бути виконаний до 30.04.24 р.
4. Етап «Проектування та реалізація заключної стадії практичного вивчення цифрової трансформації» має бути виконаний до 15.05.24 р.
5. Етап «Економічний розділ» має бути виконаний до 31.05.24 р.

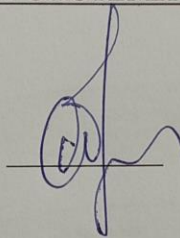
8 Порядок контролю та приймання

1. Рубіжний контроль – 10.06.24 р.
2. Попередній захист – 12.06.24 р.
3. Захист роботи – в період з 14.06.24 р. по 30.06.24 р. за графіком, встановленим кафедрою АІТ.

Додаток Б
(обов'язковий)
ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАСІБ ДЛЯ ПРАКТИЧНОГО
ВИВЧЕННЯ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТРУБОПРОВІДНОЇ
ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ ХІМІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Зав. кафедри АІТ



д-р техн. наук, професор каф. АІТ
Олег БІСІКАЛО

Керівник роботи



канд. техн. наук, доц. каф. АІТ
Владислав КАБАЧІЙ

Тех. контроль



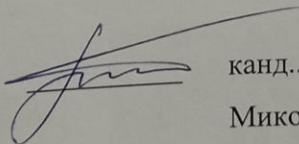
канд. техн. наук, доц. каф. АІТ
Владислав КАБАЧІЙ

Нормоконтроль



канд. техн. наук, доц. каф. АІТ
Владислав КАБАЧІЙ

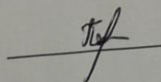
Опонент



канд. техн. наук, професор каф. КСУ
Микола БИКОВ

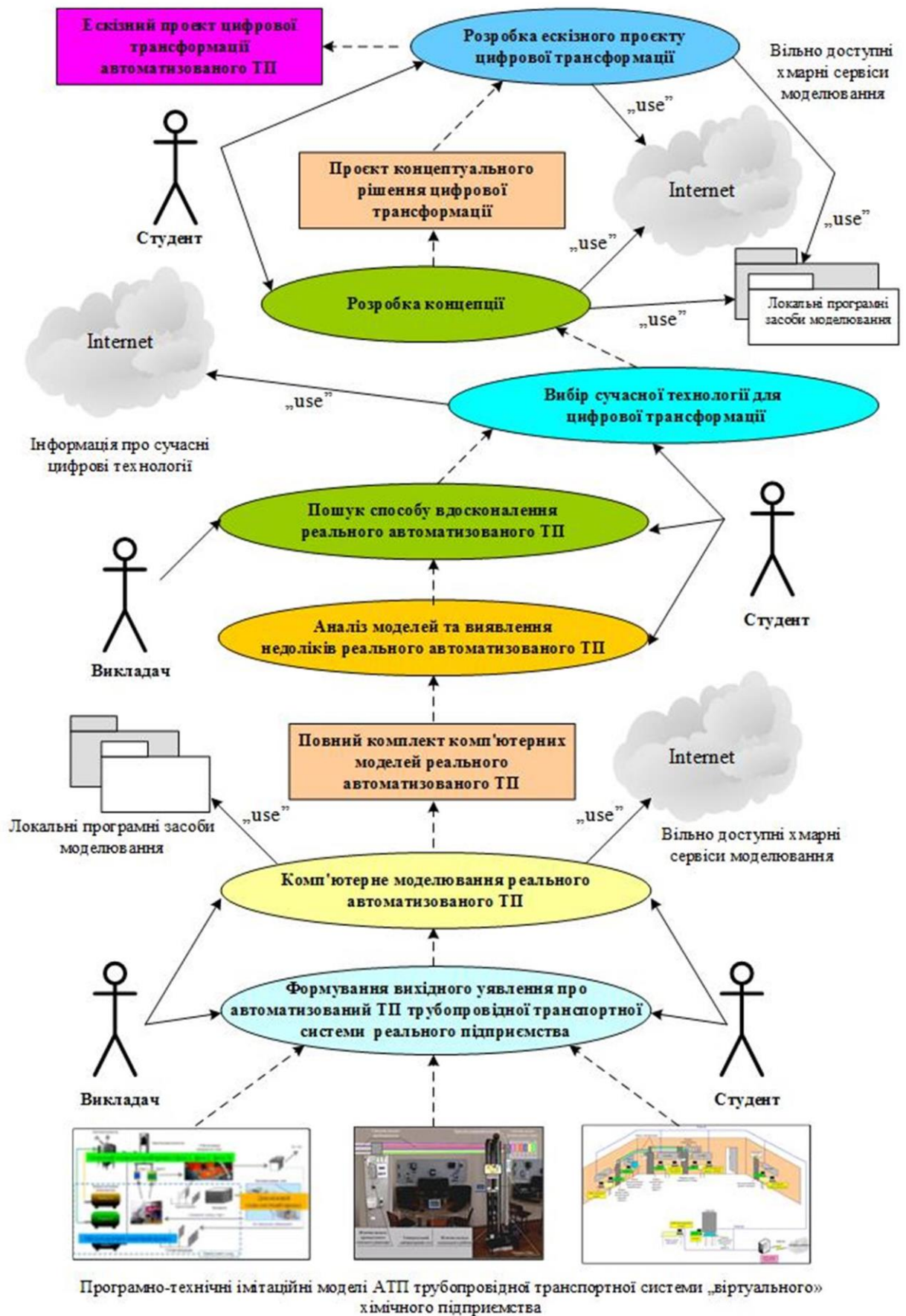
Студент

гр. АКІТ-22мз

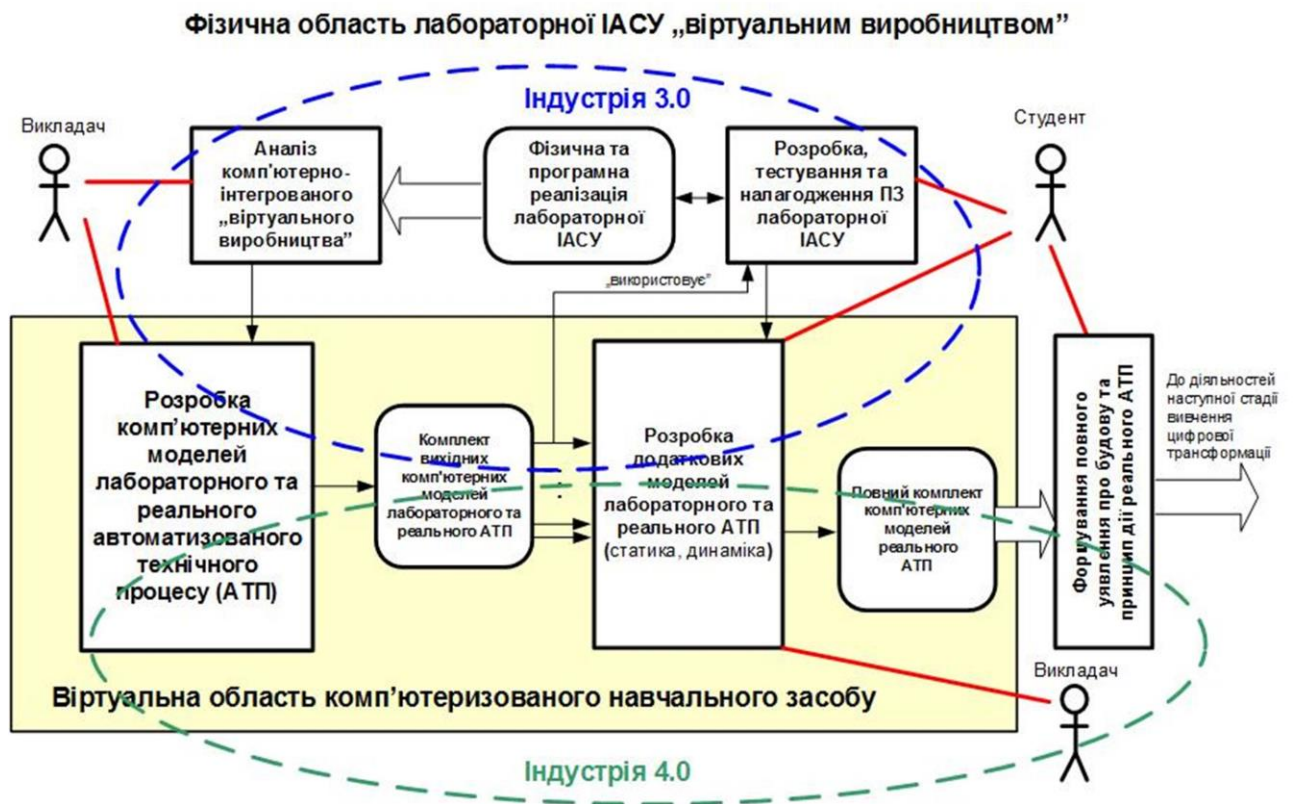


Богдан КЛОЧАК

АРХІТЕКТУРА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАСОБУ

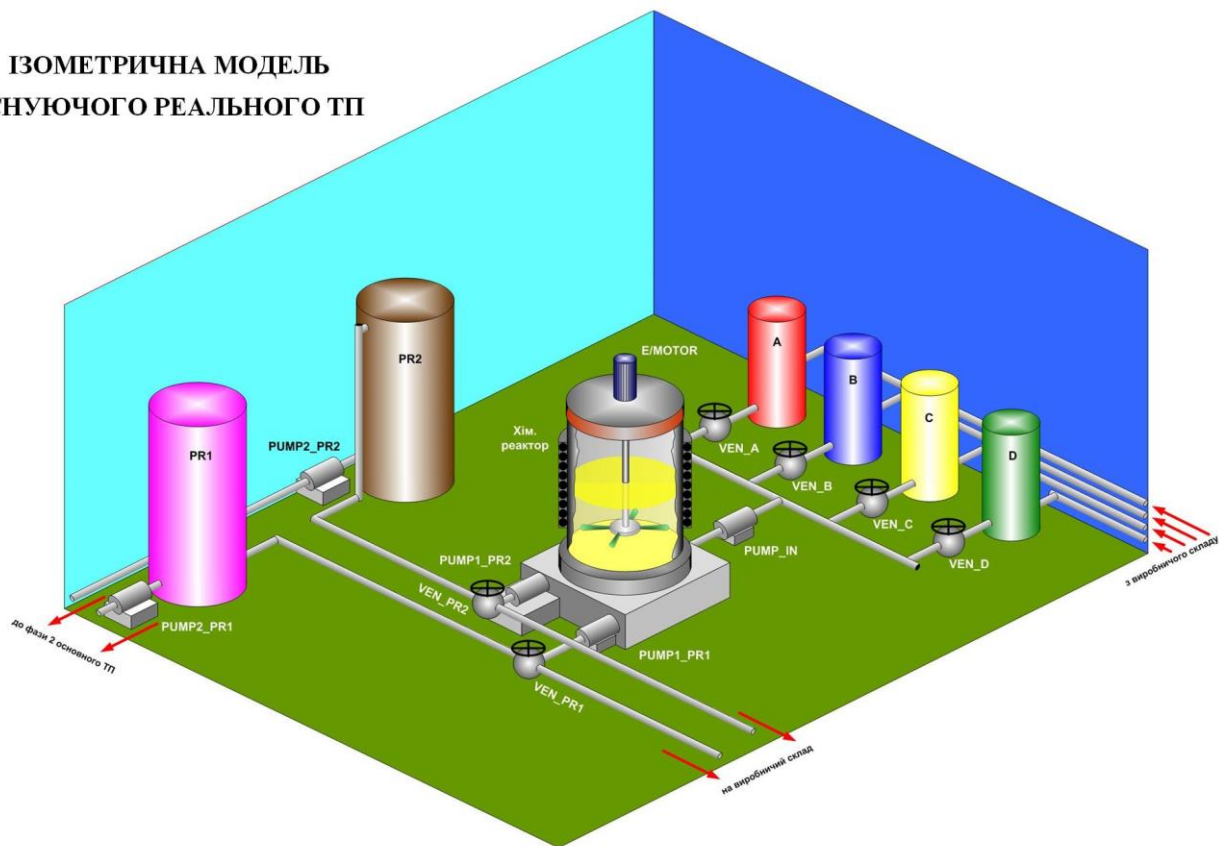


ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ "МОДЕЛЮВАННЯ ІСНУЮЧОГО АТП"

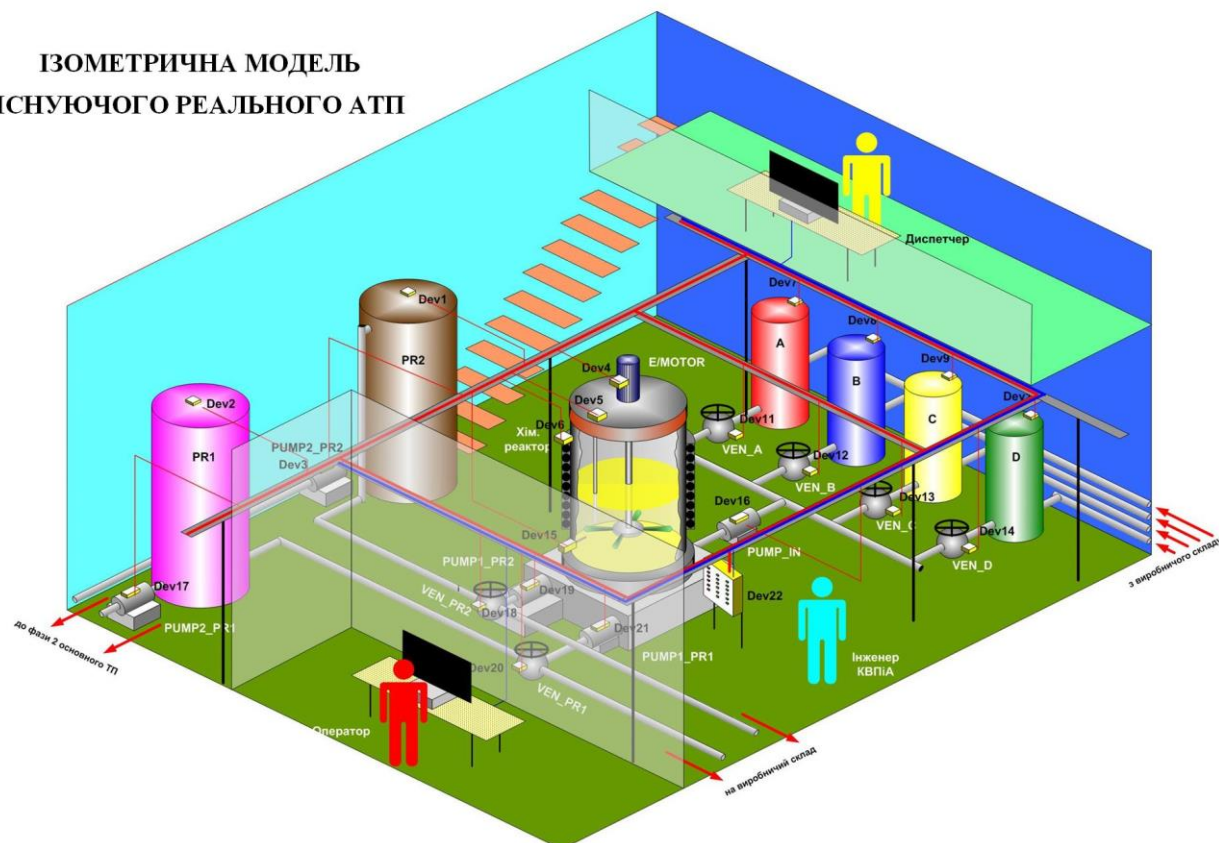


МОДЕЛЮВАННЯ ІСНУЮЧОГО РЕАЛЬНОГО АТП

ІЗОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ
ІСНУЮЧОГО РЕАЛЬНОГО ТП

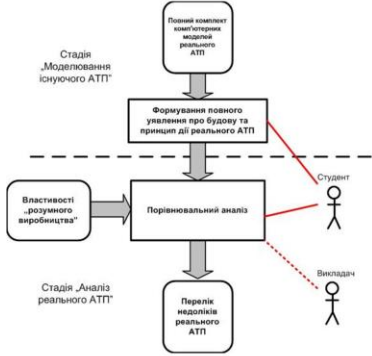


ІЗОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ
ІСНУЮЧОГО РЕАЛЬНОГО АТП

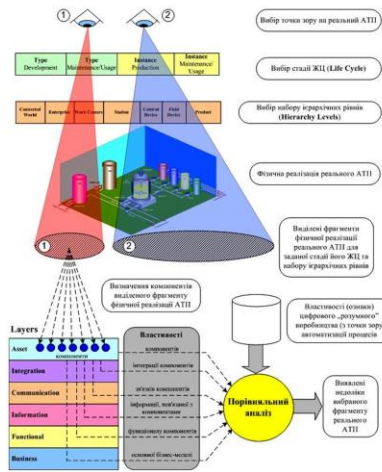


ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ "АНАЛІЗ РЕАЛЬНОГО АТП"

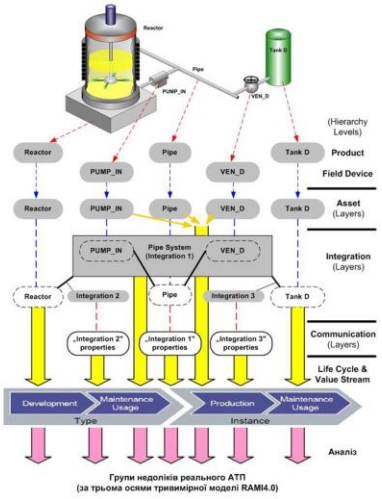
ЗАГАЛЬНЕ БАЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ



АЛГОРИТМ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ



ПРИКЛАДИ ПРАКТИЧНОГО ВИКОНАННЯ СТАДІЇ



ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ ЗАКЛЮЧНОЇ СТАДІЇ ПРАКТИЧНОГО ВИВЧЕННЯ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

МОДЕЛЬ ДІЯЛЬНОСТЕЙ
ЗАКЛЮЧНОЇ СТАДІЇ

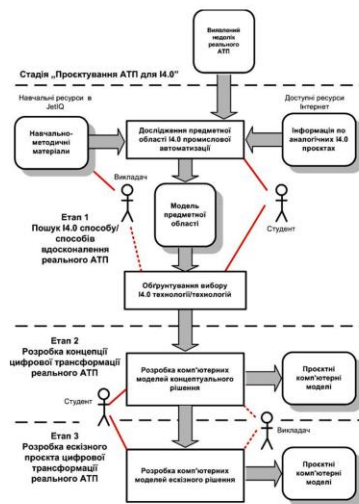
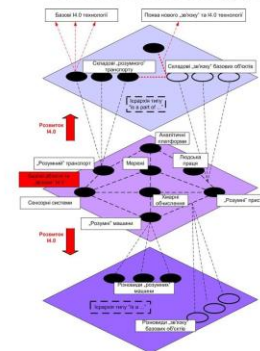


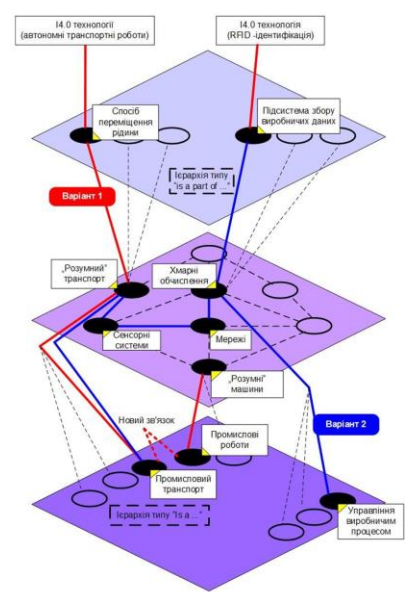
СХЕМА ПРОВЕДЕННЯ
ОНТОЛОГІЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ



ВАРІАНТ ПОБУДОВИ ГРАФІЧНОЇ
ОНТОЛОГІЧНОЇ МОДЕЛІ

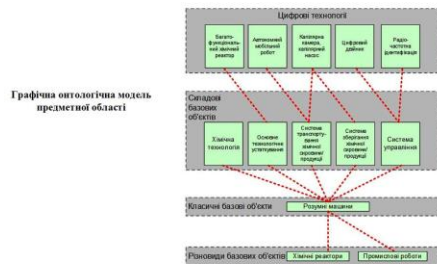


ОЗНАЧЕННЯ КОНЦЕПТУАЛЬНИХ
РІШЕНЬ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

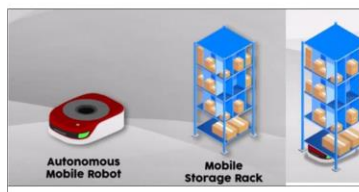


ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ ЗАКЛЮЧНОЇ СТАДІЇ ПРАКТИЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

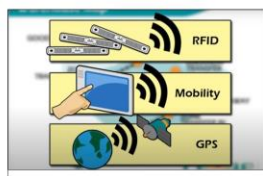
ВИБІР ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ



Система "розумних" хімічних реакторів невеликого об'єму



Автономні мобільні роботи для транспортування матеріальних виробничих ресурсів

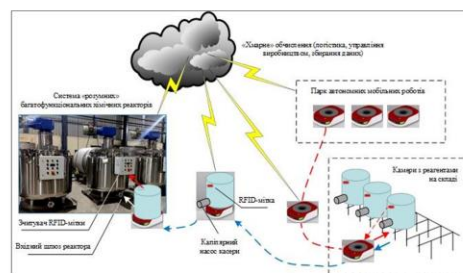


RFID - технології ідентифікації

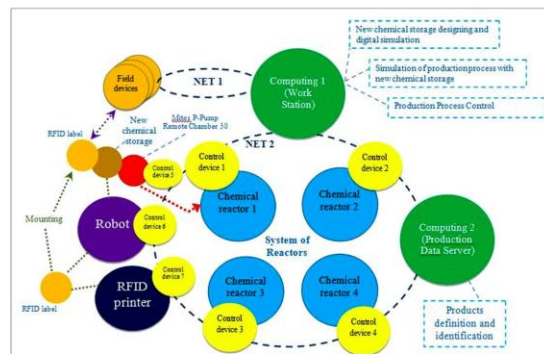


Цифрова технологія точного перерахування хімічних річин

КОНЦЕПТУАЛЬНЕ РІШЕННЯ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ



Загальна ідея цифрової трансформації існуючого АТП



Концепція кібернетичної системи автоматизації ТП

ДОДАТОК В
(довідковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ
НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: *Магістерська кваліфікаційна робота*

*«Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення
цифрової трансформації трубопровідної транспортної системи
хімічного підприємства»*

Тип роботи: кваліфікаційна робота

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

Підрозділ: кафедра АІТ, ФКСА, АКІТ-22мз

(кафедра, факультет, навчальна група)

Науковий керівник: Кабачій В.В., доцент каф. АІТ

(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

<i>Plagiat.pl (StrikePlagiarism)</i>		<i>Unicheck</i>	
КП1	-	Оригінальність	94,6%
КП2	-		
Тривога/Білі знаки	/	Схожість	5,4%

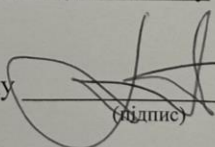
Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

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

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

Автор  Ключак Б.С.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення: Допустити до захисту

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