

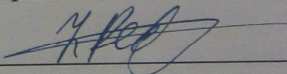
Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

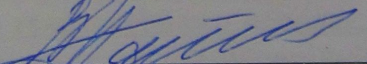
на тему:

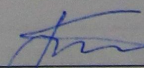
**«Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення
цифрової трансформації хімічного технологічного процесу»**

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

 Педоренко Т.В.

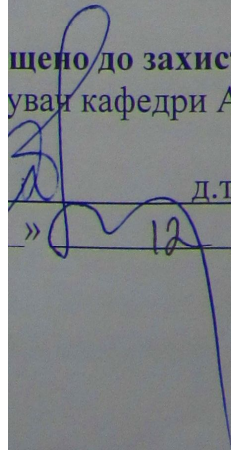
Керівник: к.т.н., проф., кафедри АІТ

 Папінов В.М.
« 16 » 12 2022 р.

Опонент:  проф. каф. КСУ Биков М.І.

« 16 » 12 2022 р.

шено до захисту
уваж кафедри АІТ

 д.т.н., проф. Бісікало О.В.
» 12 2022 р.

Вінниця ВНТУ - 2022 рік

Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)

Галузь знань – 15 «Автоматизація та приладобудування»

Спеціальність-151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма – Інтелектуальні комп'ютерні системи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АІТ

д.т.н., професор

О.В. Бісікало

" 17 " 09 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

Педоренко Тетяни Вікторівни

1. **Тема роботи** Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення цифрової трансформації хімічного технологічного процесу

керівник роботи Папінов Володимир Миколайович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом ВНТУ № 203 від 14.09.2022р

2. **Строк подання студентом роботи** 12 грудня 2022 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 студента при рішенні реальних проєктних задач, сприяти більш глибокому вивченню студентом теоретичного матеріалу вказаних навчальних дисциплін, а також давати можливість сформулювати у студента відповідні професійно-орієнтовані практичні уміння та навички проєктування цифрової трансформації реальних технологічних процесів; КНЗ повинен будуватися на основі трьох існуючих лабораторних моделей: фізичній моделі хімічного технологічного процесу, організаційній моделі «віртуального виробництва» та програмно-технічній імітаційній моделі інтегрованої автоматизованої системи управління (ІАСУ) «віртуальним виробництвом» в цілому та окремими його технологічними процесами.

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

1) Техніко-економічне та науково-технічне обґрунтування роботи. 2) Проєктування процесу виконання стадії «Моделювання існуючого автоматизованого ТП»

3) Проєктування процесу виконання стадії «Аналіз реального автоматизованого ТП». 4) Заключна стадія практичного вивчення цифрової трансформації реального ТП. 5) Економічний розділ

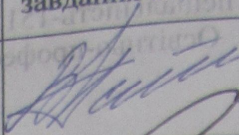
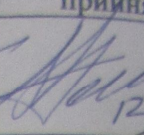
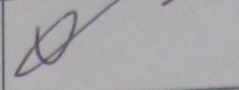
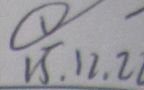
6) Проєктування процесу виконання стадії «Моделювання існуючого АТП»

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

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

7) Проєктування процесу виконання стадії «Моделювання існуючого АТП»

8) Проєктування процесу виконання стадії "Аналіз реального АТП". 5) Проєкт архітектури програмного забезпечення АТП для I4.0. 6). Схеми перехідних інформаційних потоків АТП для I4.0

Консультанти розділів роботи		Підпис, дата	
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Папінов В.М., професор кафедри АПТ		 12.
Економічний розділ	Козловський В.О, к.е.н., професор кафедри ЕПВМ		 15.12.22

Дата видачі завдання 17.09.2022р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студентка


(підпис)

Педоренко Т.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Папінов В.М.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 378.162+681.51

Педоренко Т.В. Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення цифрової трансформації хімічного технологічного процесу. Вінниця: ВНТУ, 2022. ____ с.

На укр. мові. Бібліогр.: 48 назв; рис.: ____; табл. ____.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблено комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення цифрової трансформації хімічного технологічного процесу. 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 або «хмарних» інструментальних засобів моделювання підвищити ефективність практичної підготовки студентів шляхом виконання ескізного проєкту цифрової трансформації існуючого автоматизованого хімічного технологічного процесу.

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

Pedoranko T.V. Computerized educational means for practical studying a digital transformation of chemical technological process. Vinnitsa: BHTY, 2022. ___ p

In the master's thesis the computerized educational means for practical studying a digital transformation of chemical technological process 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 or "cloudy" simulation tools has allowed to increasing an efficiency of practical preparation of students by designing a digital transformation project for the existing automated chemical technological process.

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.

ВІДГУК

керівника магістерської кваліфікаційної роботи

студента (-ки) Педоренко Тетяни Вікторівни.

на тему Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення цифрової трансформації хімічного технологічного процесу.

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

В якості наукової новизни слід визначити запропонований новий підхід до побудови комп'ютеризованого навчального засобу та спосіб організації на його основі наскрізного проектного практикуму студентів спеціальності 151 «Комп'ютерно-інтегровані технології та автоматизація». В основу нового навчального засобу покладено «віртуальне виробництво», що реалізоване в комп'ютеризованій навчальній лабораторії, на якому під управлінням комп'ютерно-інтегрованої системи третього покоління «виготовляється» умовна хімічна продукція. В новому же комп'ютеризованому навчальному засобі з метою підвищення ефективності практичної підготовки студентів до майбутньої цифрової трансформації промислового виробництва запропоновано використовувати локальні та «хмарні» інструментальні засоби моделювання в ході концептуального та ескізного проектування цифрової трансформації хімічного технологічного процесу даного «віртуального виробництва».

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

Результати роботи апробовані шляхом публікації основних її результатів в матеріалах щорічної регіональної науково-практичної Інтернет-

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

Сама магістрантка Педоренко Т.В. на протязі навчання та роботи над магістерською кваліфікаційною роботою зарекомендувала себе як сумлінна студентка, кваліфікований спеціаліст та інтелігентна людина, яка користується повагою серед студентів та викладачів.

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

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

Папінов В.М.

ВІДГУК ОПОНЕНТА

на магістерську кваліфікаційну роботу

студента (-ки) Педоренко Тетяни Вікторівни
на тему Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення цифрової трансформації хімічного технологічного процесу.

Тема магістерської кваліфікаційної роботи, без сумніву, є актуальною. Вона спрямована, по-перше, на підвищення якості практичної підготовки студентів спеціальності за рахунок організації наскрізного проектного практикуму на основі сучасного комп'ютеризованого навчального засобу, а, по-друге, комп'ютерно-інтегровані технології, які є предметом практичного освоєння студентами, є зараз одними з найперспективніших у галузі промислової автоматизації.

Результати проведених в роботі досліджень мають і наукову новизну, так як пропонується новий підхід до створення на основі інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне виробництво» нового комп'ютеризованого навчального засобу для практичного освоєння студентами спеціальності 151 перспективного процесу цифрової трансформації промислового виробництва, побудованого згідно з ідеями концепції четвертою промислової революції «Індустрія 4.0».

Отримані наукові результати достатньо обґрунтовані. Їх достовірність підтверджується коректним проведенням аналізу проблем технічної підтримки навчання фахівців у вищій технічній школі і в провідних компаніях-виробниках систем промислової автоматизації, оглядом існуючих аналогічних рішень цифрової трансформації та вдалою практичною реалізацією нового навчального засобу.

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

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

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

До недоліків магістерської кваліфікаційної роботи слід віднести:

– в роботі занадто багато місця відведено для огляду існуючої реалізації хімічного технологічного процесу в лабораторному «віртуальному виробництві»;

- зміст технічного завдання (додаток А) не впливає логічно з матеріалів першого розділу, а відображає перелік вимог до науково-дослідної роботи, які ніде в записці не означені та не описані;
- в якості моделі інформаційних потоків в ескізному проєкті цифрової трансформації вибрана схема мережних інформаційних потоків, хоча, на мій погляд, ця схема більше відповідає рівню технічного проєкту.

Проте, відзначені недоліки не перешкоджають загальній позитивній оцінці роботи.

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

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

Биков М.М.

ЗМІСТ

ВСТУП	
1 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ТА НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ	
1.1 Цифрова трансформація виробничого підприємства	
1.2 Аналіз існуючого технологічного процесу «віртуального виробництва»	
1.3 Цифрова трансформація аналогічних технологічних процесів	
1.4 Розробка архітектури нового 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 Приклад виконання аналізу	
3.4 Висновки до розділу	
4 ЗАКЛЮЧНА СТАДІЯ ПРАКТИЧНОГО ВИВЧЕННЯ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ РЕАЛЬНОГО АТП	
4.1 Означення основних діяльностей	
4.2 Дослідження предметної області І4.0 промислової автоматизації. ..	
4.3 Ескізний проєкт початкової цифрової трансформації АТП	
4.4 Концепція поглибленої цифрової трансформації АТП	
4.5 Висновки до розділу	

5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

**5.1 Технологічний аудит розробленого комп'ютеризованого
навчального засобу.....**

**5.2 Розрахунок витрат на розробку комп'ютеризованого
навчального засобу.....**

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

ВИСНОВКИ

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

ДОДАТКИ

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

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

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

ВСТУП

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

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

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

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

наукової дисципліни "Інженерна педагогіка".

Предметом досліджень є підвищення ефективності практичного вивчення студентами методів та засобів цифрової трансформації існуючого автоматизованого технологічного процесу у технологічний процес «розумного» цифрового виробництва за рахунок використання в лабораторному практикумі нового комп'ютеризованого навчального засобу.

Задачі досліджень магістерської кваліфікаційної роботи:

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 науково-дослідну роботу.

5. Проєктування програмно-технічного забезпечення нового КНЗ.

6. Розробка навчально-методичного забезпечення нового КНЗ.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження полягатиме в тім, що на відміну від існуючих комп'ютеризованих навчальних засобів, новий засіб будуватиметься на основі інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне виробництво», що дозволить за рахунок використання додаткових локальних або «хмарних» інструментальних засобів моделювання підвищити ефективність практичної підготовки студентів шляхом виконання ескізного проєкту цифрової трансформації існуючого автоматизованого хімічного технологічного процесу (цифрове моделювання, засоби доповненої реальності, прогнозування станів обладнання).

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

Апробація результатів дослідження: основні результати виконання магістерської кваліфікаційної роботи опубліковані в матеріалах щорічної

регіональної науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (Вінниця, ВНТУ, 2022 р.) та у матеріалах щорічної НТК викладачів та студентів ВНТУ (Вінниця, ВНТУ, 2022 р.) [8, 9].

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

1 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ТА НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ

1.1 Цифрова трансформація виробничого підприємства

Загальним трендом у розвитку як окремих виробничих підприємств, так і держав, у цілому у світі на сьогодні є «Четверта індустріальна революція» [6, 10-14]. Так у Німеччині існує державна програма «Індустрія 4.0», у США ініціативи в цій області поєднує «Industrial Internet Consortium». В Україні створений національний рух «Індустрія 4.0 в Україні». Перехід підприємства до цифрової економіки, адаптація до світу де взаємодіють кіберфізичні системи вже не є тільки питання підвищення ефективності - але багато в чому - необхідність. Процес переходу - цифрова трансформація підприємства - це не тільки програма проектів по автоматизації бізнес процесів і технології. У силу високого ступеня автоматизації, наявності й доступності цифрових технологій і систем, трансформації піддаються не тільки й не стільки процеси - скільки основні продукти компаній.

У такий спосіб розмова про «Стратегію цифровізації» і продуктової стратегії підприємства - як про окремі незалежні напрямки (документи, процеси) - ознака недостатнього ступеня готовності підприємства, неповного розуміння всіх аспектів руху 4.0. Пропозиція «цифрових» продуктів сьогодні стає необхідною умовою ефективної взаємодії з партнерами. Причому найбільше виразно цей момент проявляється в підприємств які ідуть стратегією контролю витрат - пропонуючи ринку масові продукти. Ринкові ніші для умовно говорячи «простих» у виробництві продуктів, розрахованих на масове споживання, з низькою собівартістю - стрімко звужуються. Прикладом може служити сегмент «металургії для машинобудування» - явно проглядається зсув попиту від «тонн металопрокату з низькою вартістю» до «високотехнологічних продуктів із супутніми цифровими сервісами». Для підприємств, що вибрали фокусування як основну продуктової стратегію, основними драйверами цифровізації продуктів служать підвищення ефективності процесів адаптації пропозиції під конкретного

клієнта, пропозицію клієнтові доданої цінності за рахунок цифрової складової продукту, зниження витрат на інтеграцію продукту в процеси клієнта. Можна навести ряд прикладів із симетричного сегмента «машинобудування для металургії», а саме, цифровізація інженерно-конструкторських задач; комплектація обладнання цифровими системами обліку, діагностики; забезпечення пропонованого рішення убудованими системами, сумісними із прийнятими на стороні клієнта; забезпечення цифровими сервісами супутніх процесів. Для підприємств, які дотримуються політики диференціації своїх продуктів набір ініціатив по цифровізації спрямований на посилення конкурентних переваг продукту, його якості.

Продуктова стратегія визначає драйвери цінності, які у свою чергу обмежують і диктують набір технологій. Процес формування портфеля проектів по цифровій трансформації - багато в чому класичний: ті ж показники, ті ж способи досягнення ефективності. Відмінність на мій погляд полягає, по-перше, в доступності великих обсягів даних для аналізу, що дозволяє виявляти й оцінювати вплив факторів, які раніше не піддавалися прямим методам виміру. По-друге, поява нових економічних моделей і підходів, таких як венчурне фінансування, енерго-сервісні контракти, різні грантові програми технологічного розвитку й підтримки. Ці інструменти впливають як на процеси обґрунтування, так і на джерела забезпечення фінансуванням програм. Як результат слід зазначити факт, що сьогодні дві, серед найпоширеніших, причини відмови від реалізації проектів - «не видний ефект» або «немає засобів» - виглядають скоріше як чиясь недоробка, чим як об'єктивна оцінка ситуації. «Недостатньо знань і мотивації» - набагато більш чесна відповідь про причини повільної цифрової трансформації.

Пропозиція нових цифрових або цифро-візованих продуктів і сервісів, хоч і формує основу цифрової стратегії підприємства, однак не єдиний напрямок проектів типової дорожньої карти цифрової трансформації. Другим, не менш значимим, є цифрова трансформація активів, обладнання у виробничому процесі. Ну й звичайно цифровізація усіх основних бізнес-процесів компанії є необхідним компонентом для повної картини. Мається на увазі не ініціативу в області впровадження ERP систем (класичний проект на стадії розвитку 3.0), а реалізація

концепції Connected Enterprise - створення цифрових каналів взаємодії, цифровізація процесів роботи з основними постачальниками, підрядниками й іншими контрагентами підприємства. Ці три напрямки охоплюють перелік проектів і програм, але також необхідно не забувати про два аспекти цих програм - це застосування нових економічних моделей і наявність відповідним чином підготовленого персоналу.

Процеси кастомізації пропозиції, розробки нових видів продукції - цифровізація всіх етапів життєвого циклу продуктів спрямована на підвищення ефективності взаємодії із клієнтами. Прикладом рішень у цій області можуть служити процеси в металургійному комплексі Voestalpine у Лінці, Австрія. У рамках однієї території зосереджені як сталеплавильні потужності й стани листового прокату, так і пресувальні потужності підрозділу, що обслуговує автомобільну промисловість. Заявки від автомобільних заводів надходять у цифровій формі, під них формується технологічний процес, адаптуються виробничі графіки, видаються завдання на підготовку інструмента й т.п. Другий схожий приклад - цех сортового прокату в Катовіце, Польща. Завдяки повній автоматизації прокатного стану, «розумним клітям» і іншим цифровим технологіям відбувається автоматична адаптація режиму роботи до нових вимог замовлення. Здавалася б класична інтеграція систем ERP, MES, CAD - нічого революційно нового. Але, по-перше, результат впровадження змінив істотно сам процес - немає традиційного освоєння нового виду продукції з його інженерною підготовкою, дослідними партіями, витратами на ці етапи. Все відбувається у віртуально-цифровому просторі. За словами директора прокатного підприємства в Польщі - необхідні параметри якості досягаються на середині першої заготівки, що для українських прокатних потужностей недосяжно навіть для серійного виробництва вже освоєної продукції. По-друге - акценти цінності зміщені із самих систем ERP, MES, CAD - на їхню інтеграцію й взаємодію. Технологічна відмінність рішень 4.0 від 3.0, на мій погляд, полягає саме в цьому - ефективність досягається не за рахунок впровадження «єдиної системи керування» і централізації прийняття рішень у ній на цифровій основі, а за рахунок організації взаємодії систем. Математично алгоритми оптимізації ті ж

самі, джерела економічної ефективності такі ж як і в рішеннях 3.0, але реалізація за допомогою сервіс-орієнтованих архітектур у розподіленому середовищі дозволяє добиватися більшого повернення на інвестиції від організації взаємодії систем, чим від їхньої уніфікації й централізації прийняття рішень. Останнє не завжди буває можливо по організаційних причинах. Резюмуючи, можна сформулювати відмінну рису рішень 4.0 - «Ефективність від взаємодії». Саме ця фраза часто є відправною точкою для оцінки готовності/відповідності підприємства або продукту рівню 4.0. Здатність взаємодіяти з іншими учасниками системи - швидко інтегруватися в... або адаптуватися під ... (оточення, що змінюється), відкритість до такого роду взаємодіям стають істотними факторами конкурентоспроможності продукту або підприємства. Із цієї причини однією із ключових тем при просуванні технологій 4.0 є тема стандартів взаємодії й комунікацій. Підтримка того або іншого стандарту робить продукт, послугу, систему, підприємство відкритим до взаємодії для інших учасників. Останнє є не тільки джерелом ефективності, але й часом новою пропозицією цінності на ринку.

Аналогічна ситуація спостерігається й в області керування активами підприємства - кожний OEM виробник, інтегратор та й будь-який підрядник у рамках ремонтної або інвестиційної діяльності, додає до існуючих активів не тільки пряму обумовлену цінність у рамках контракту, але й свою компетенцію в предметній області, причому останнім часом все частіше у цифровій формі - у вигляді цифрової інженерної документації, убудованих в обладнання систем автоматизації технологічного процесу, убудованих систем моніторингу, діагностики; систем забезпечення безпеки. У такий спосіб підприємство опиняється в ситуації коли будь-яка, навіть мала модернізація, не говорячи про великі капремонта або інвестиційні проекти, приводить до необхідності реалізації проекту по інтеграції нового обладнання в систему EAM. Немає можливості не виконувати цю роботу, тому що EAM, як правило, є частиною ERP системи й неповне відображення параметрів нового обладнання в системі приведе до його фактичної зупинки. Рішення цього завдання самотужки недешево, вимагає участі висококваліфікованих фахівців, знання специфіки обладнання й технології. Часто виникає ситуація коли повний функціонал обладнання й убудованих систем не

використовується, а утилізується конфігурація мінімально відповідним вимогам. Передача цього обсягу робіт постачальникові обладнання або третій стороні ніяк не підвищує ефективність його реалізації, і не приводить до зниження витрат. У силу цих обставин рішення з областей, наприклад, таких як Predictive Maintenance, Virtual Commissioning, Machine2Machine Interaction сприймаються із сумішшю ентузіазму й розчарування. З однієї сторони очевидні вигода й практична корисність технології в дії, з іншої сторони очевидна їхня практична неможливість застосування на заданому виробничому контексті. На цьому прикладі найбільш явно видні переваги технологій 4.0 - виходом служить приведення EAM системи у відповідність ряду стандартів обміну даними з наступною вимогою їхнього дотримання всіма постачальниками обладнання. Витрати на інтеграцію замість багаторазових при кожній інсталяції стають одноразовими - при розробки нового виду продукту, обладнання або системи. Кінцевий замовник заздалегідь впевнений у відсутності додаткових витрат на інтеграцію, що дозволяє організовувати більш гнучкі технологічні процеси й вести більш ефективну інвестиційну діяльність. На цьому прикладі ми бачимо як переплітаються стратегія цифрової трансформації й технічна політика підприємства (політика в області обладнання).

Третім напрямком цифрової трансформації є перехід до концепції Connected Enterprise. Дійсно, поєднуючи інформаційні системи свого підприємства із системами контрагентів, по яких кількість транзакцій максимальна, можна домогтися підвищення ефективності не тільки за рахунок зниження витрат, але й за рахунок гнучкості й оперативності. У цій області явно видні ефекти від своєчасного надходження інформації, що дозволяє грамотне планування. Інтеграція з Укрзалізницею тому гарний приклад. Практично всі сучасні системи ERP підтримують стандарти інтеграції, прийняті в цій області. Відповідно, у цьому напрямку основною перешкодою є готовність контрагента до взаємодії в цифровому форматі. Цей аспект містить у собі дві складові – це внутрішній рівень цифрової зрілості контрагента й питання довіри між партнерами. Питання довіри багато в чому нівелюється застосуванням технологій на базі Blockchain - Smart Contracts.

Познайомившись із можливостями й визначивши цілі й пріоритети по кожному з напрямків можна приступати до оцінки застосовності технологій 4.0 до процесів конкретного виробничого підприємства. Наприклад, в останні місяці активно популяризується концепція Digital Twins - цифрові двійники продуктів і сервісів. Її застосування можливо практично у всіх напрямках - від цифровізації процесів розробки нових видів продукції й далі в процесі виробництва - формування електронного паспорта продукту; застосування Digital Twins у процесах ЕАМ; використання відкритих форматів для створення цифрових двійників і обміну інформацією із клієнтами, постачальниками. Також варто відзначити окреме від енергетичної ефективності напрямок інтегрованої енергетики. Під цю концепцію звичайно пропонують технології 4.0 в області енергетики - з «ефектом від взаємодії». Концепція Cobots - Collaborative Robots - технології забезпечення безпечної й ефективної взаємодії людини й машин - відповідь на переживання про повну автоматизацію ручної праці.

Одним з міфів або стереотипів епохи 3.0 є теза про неможливість інтеграції й високих витрат на неї. Устояними негативними мемами в практиці є такі як «Зоопарк обладнання», «Зоопарк програмного забезпечення», «Клаптева автоматизація» і т.п. Навпроти меми «єдина система», «уніфікація обладнання», сприймаються як позитивні, незважаючи на очевидні ризики залежності від одного виробника або підрядника. Рішення класу 4.0 звичайно розробляються з вимогами по відкритості взаємодії й сумісності зі стандартами індустрії. У цій ситуації розмова про витрати на інтеграцію й спроби обґрунтувати уніфікацію обладнання технічними причинами, багато в чому сприймається як невідповідність пропонованого рішення вимогам.

У такий же приблизно ситуації перебуває концепція ієрархічної архітектури мереж. Мова йде не тільки про інформаційні мережі, але й про мережі систем АСУТП, у деяких випадках і про електромережі. Реальні умови ведення бізнесу диктують не просто перетинання, але переплетення ієрархій різних юридичних осіб і їхніх систем. Відповідно мова йде про «мережні архітектури», «шини даних підприємства», «інтернет речей» і сервіс-орієнтовані рішення. У цих умовах логічно виникають питання забезпечення безпеки. Технології її

забезпечення існують і досить розвинені в тому числі й для мереж АСУТП, однак їхнє застосування зіштовхується з однієї сторони з недоліком кваліфікації в силу їхньої новизни на ринку, з іншої з деякими протиріччями при імплементації з «попереднім досвідом».

Сьогодні говорять про четверту індустріальну революцію, саме як про нову революційну модель, у тому числі й економічних відносинах. Це економіка сервісів, широкого використання схем аутсорсінгу. Наприклад у напрямку експлуатації обладнання можлива схема коли експлуатація інтелектуальних систем лягає на плечі виробника обладнання, підприємство - кінцевий замовник одержує тільки результати роботи систем діагностики, моніторингу й безпеки. Назвати подібного роду модель взаємодії можна як «Diagnostic As Service» - за аналогією з розповсюдженими сьогодні в ІТ послугами PaaS, SaaS, IaaS. Пропозиція такого роду послуг сьогодні присутня з боку великих вендорів систем АСУТП - Siemens, Schneider Electric, GE. В ідеальному випадку ця модель перетворюється в модель «Product As Service» - коли клієнтові пропонується результат роботи системи, а всі питання експлуатації й технічного обслуговування бере на себе постачальник. Прикладом такого підходу є пропозиція з боку німецького постачальника компресорного обладнання Kaeser Kompressoren - послуга Sigma Air, по якій маєте можливість придбати кубометри стисненого повітря в необхідному вам місці по заздалегідь погодженому графіку. Моніторинг і діагностика, керування роботою компресора відбувається віддалено в «хмарі» - у штаб квартирі компанії в Німеччині. Періодично інженер компанії проводить ТО, організований також ServiceDesk, який усуває інциденти в роботі обладнання й забезпечує взаємодію із клієнтом. Даний приклад - класика застосування цифрових технологій і зміни бізнес моделі в компанії. Іншими подібними прикладами є продаж «Годин роботи двигуна» від Rolls-Royce і «кілометрів пробігу» від Michelin.

Останнім, але мабуть першим по важливості, є питання доступності персоналу необхідної кваліфікації як для реалізації програми цифрової трансформації, так і для наступної операційної діяльності в умовах цифрового оточення. У сьогоднішніх реаліях просто найняти необхідний персонал практично

неможливо, тому багато компаній ідуть по шляху самостійної його підготовки. Процес підготовки також перетерпів зміни - у першу чергу в області керування контентом і оцінки. Прикладів онлайн-курсів, тестів, симуляторів на сьогодні досить. Цифрове керування компетенціями й планування навчання не так поширено в готових рішеннях - але активно обговорюється на рівні концепцій і форматів. У такий спосіб з питанням «як буде організоване навчання 4.0» усе загалом очікувано й зрозуміло. Набагато складніше питання «чому необхідно навчати» в епоху 4.0, особливо в області Soft Skills, з огляду на те, що диджиталізація стосується не тільки бізнесу, але активно впроваджується у всіх сферах життя, змінюючи соціальні установки й правила. Комплексне бачення яким повинне бути майбутнє суспільство, було представлено в програмі Society 5.0 - анонсованою Японією в 2016 році й активно представленої на СеВІТ 2017.

1.2 Аналіз існуючого технологічного процесу «віртуального виробництва»

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

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

Для управління цими технологічними/технічними об'єктами на них змонтовані усі потрібні промислові засоби автоматизації: датчики та сигналізатори рівня, датчики витрат та температури, безконтактні шляхові вимикачі та імпульсні датчики кута обертання, електромагнітні клапани,

електронасоси, термоелектричний нагрівач, електродвигуни різних типів, частотний перетворювач, зчитувач персональних магнітних карток, спеціалізований контролер управління доступом і т.д.

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

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

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

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

На рисунку 1.1 показана загальна схема даного виробничого процесу, який складається з основного і допоміжного технологічних процесів, а також обслуговуючого технічного процесу промислового складу:

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

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

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

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

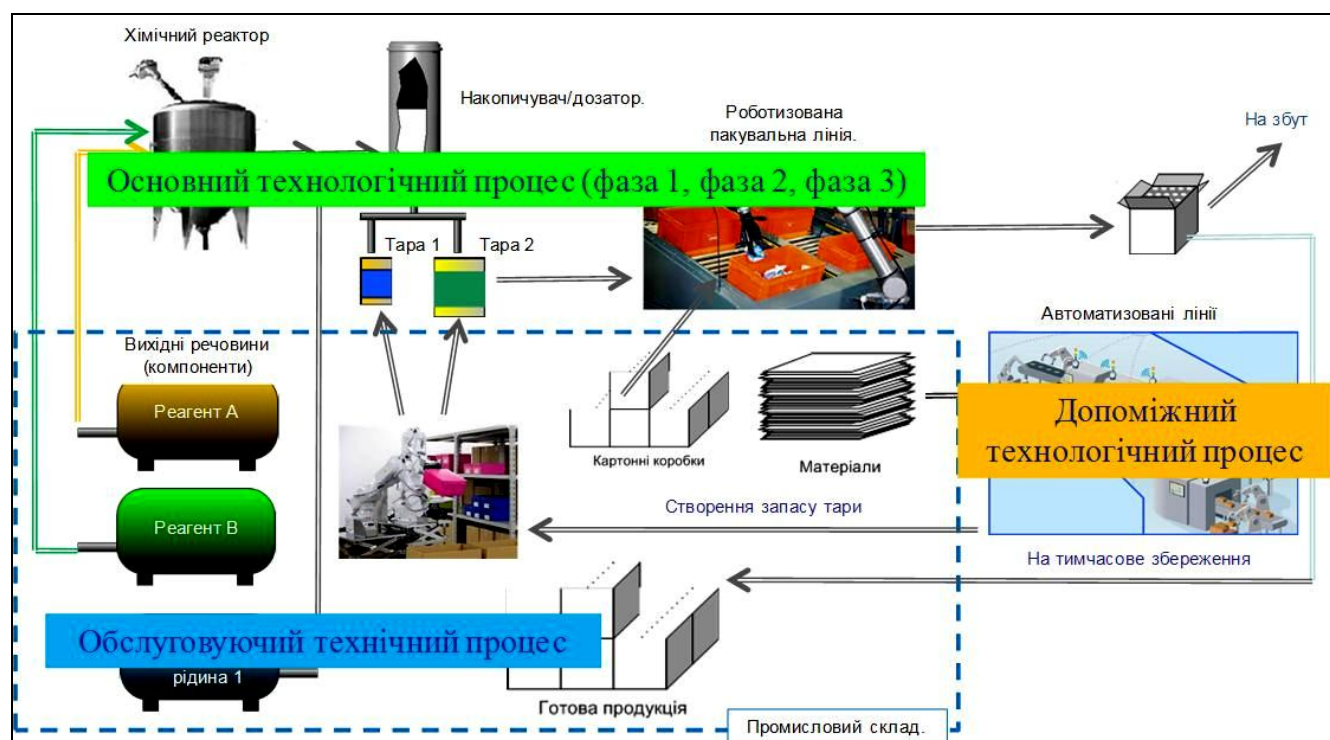


Рисунок 1.1 – Складові процеси «віртуального виробництва» хімічної продукції

На цьому «віртуальному виробництві» імітується виготовлення різних видів рідкої хімічної продукції обмеженими за обсягом партіями у запланований період часу. Таким чином, дане «віртуальне виробництво» організовано у вигляді періодичного виробничого процесу, тобто *batching*-процесу. Основними ознаками такого виробничого процесу є такі [15-17]:

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

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

За темою даної магістерської кваліфікаційної роботи нам цікава фізична модель промислового хімічного реактора, який за наказами автоматизованої системи управління (АСУ), що мають форму електронних рецептів, «виготовляє» порції умовної хімічної рідини. За сценарієм навчальної гри «віртуального виробництва» можна «виготовляти» два види цієї рідини з чотирьох вихідних хімічних реагентів [4, 5]. На рисунку 1.2 показаний вихідний зовнішній вигляд даної фізичної моделі.

Вихідні хімічні реагенти, з яких може «виготовлятися» той чи інший вид хімічної рідини, «подаються» до моделі хімічного реактора з моделі промислового складу. Цей процес відображається на «віртуальному виробництві» за допомогою світлової імітаційної моделі чотирьох трубопроводів, які закріплені справа над моделлю хімічного реактора. Там же, але нижче, змонтована світлова імітаційна модель двох вихідних трубопроводів, по кожному з яких «передається»

свій вид готової хімічної рідини з моделі хімічного реактора до моделі промислового складу. Зліва над моделлю хімічного реактора також змонтована

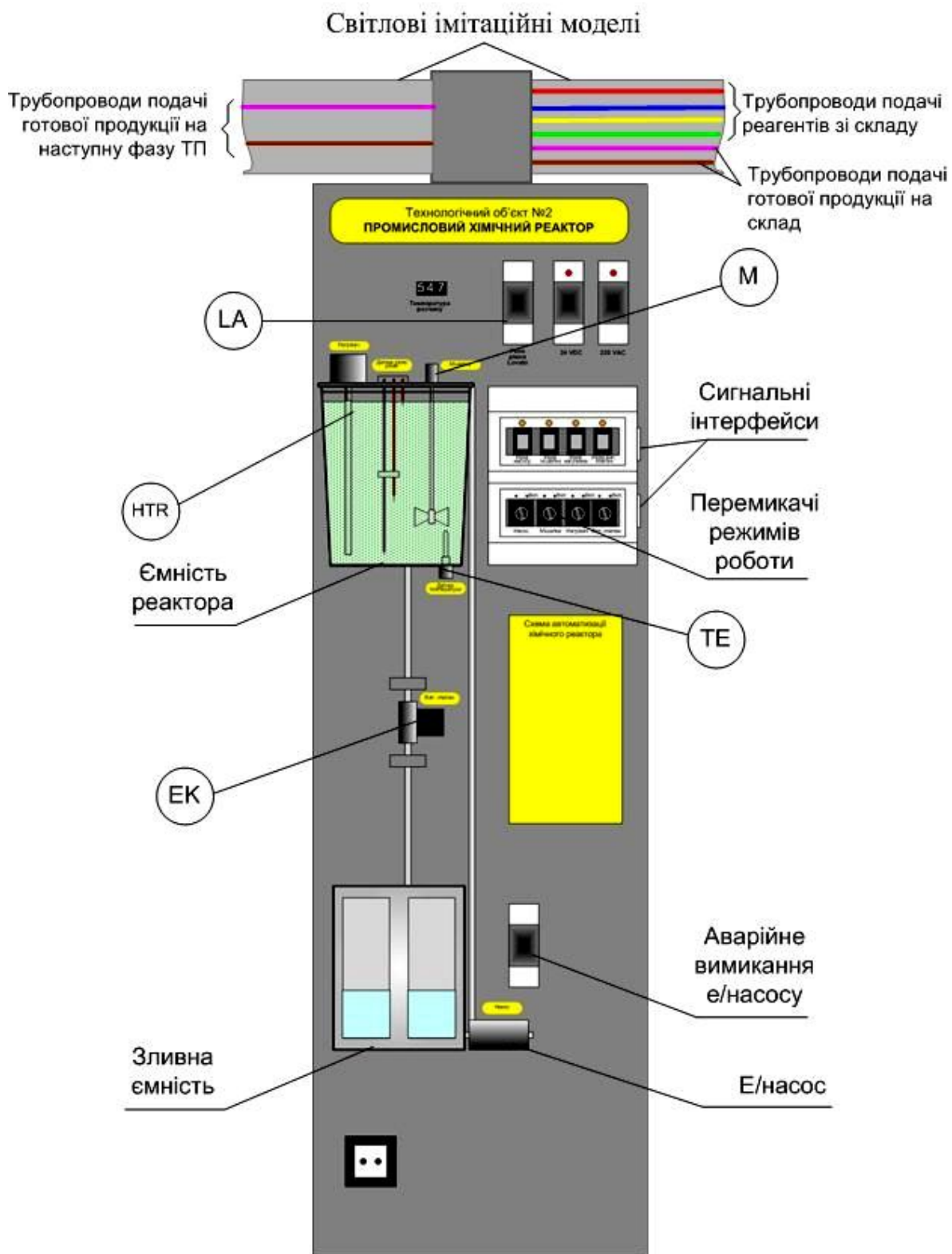


Рисунок 1.2 – Вихідний зовнішній вигляд фізичної моделі промислового хімічного реактора

світлова імітаційна модель двох вихідних трубопроводів, по кожному з яких «передається» свій вид готової хімічної рідини з моделі хімічного реактора до моделі накопичувача/дозатора, який є наступною фазою основного технологічного процесу.

Фізична модель промислового хімічного реактора, що змонтована на центральній металевій панелі, працює наступним чином. Реальна хімічна рідина в цій моделі замінена на звичайну підфарбовану воду, яка електронасосом (на рисунку 1.2 позначений як «Е/насос») закачується в прозору ємність реактора (на рисунку 1.2 позначена як «Ємність реактора») із зливної ємності, що встановлена в нижній частині моделі (на рисунку 1.2 позначена як «Зливна ємність»). Тобто різні вихідні хімічні реагенти, наприклад А та В, в моделі імітуються тією ж самою підфарбованою водою, проте, в ході моделювання роботи хімічного реактора процеси закачування кожного з таких компонентів відбуваються у різні проміжки часу. Наприклад, спочатку закачується завдана кількість підфарбованої води, що моделює процес закачування реагенту А, після чого закачується інша кількість підфарбованої води, що вже моделює процес закачування реагенту В.

Електронасос фізичної моделі може вмикатися трьома способами: або за командою від ПЛК, або за командою від програмованого реле «Relpol», або вручну за допомогою перемикача режимів роботи («Автоматичний/ручний»), встановленого в електромонтажному боксі (на рисунку 1.2 усі наявні перемикачі режимів роботи позначені як «Перемикачі режимів роботи»).

В фізичній моделі передбачено також аварійне відключення електронасосу за допомогою аварійного кнопкового вимикача (на рисунку 1.2 позначений як «Аварійне вимикання е/насосу»). Аварійне вимикання потрібно, наприклад, у випадку, коли програма управління дає збій та треба негайно зупинити електронасос, щоб запобігти переповненню ємності реактора підфарбованою водою.

Рівень підфарбованої води (мінімальне та максимальне значення) в ємності реактора контролюється за допомогою 2-канального реле контролю рівня LA типу LVM20 (на рисунку 9 позначено як «LA»). Його дискретні вихідні сигнали

через з'єднувачі та спеціальний кабель подаються, відповідно, на дискретні входи ПЛК або програмованого реле «Relpol».

Накопичена підфарбована вода в ємності реактора нагрівається за допомогою побутового термоелектричного нагрівача (на рисунку 1.9 позначений як «НТР»). Вмикання нагрівача може здійснюватися трьома способами: або за командою від ПЛК, або за командою від програмованого реле «Relpol», або вручну за допомогою відповідного перемикача режимів роботи.

Температура підфарбованої води всередині ємності реактора вимірюється термометростворювачем опору ТЕ типу ТСП-1-5-Pt100-B-3 фірми ТЭРРА (на рисунку 1.2 позначений як «ТЕ»), аналоговий вихідний сигнал якого подається до аналогового входу ПЛК або програмованого реле «Relpol».

Процес змішування умовної хімічної рідини всередині ємності реактора відтворюється за допомогою мішалки, що приводиться до дії електричним двигуном (на рисунку 1.2 позначений як «М»). Вмикання електродвигуна мішалки може здійснюватися трьома способами: або за командою від ПЛК, або за командою від програмованого реле «Relpol», або вручну за допомогою відповідного перемикача режимів роботи.

Випуск підфарбованої води з ємності реактора до нижньої зливної ємності виконується за допомогою електромагнітного клапану моделі D240 фірми «Jaksa» (на рисунку 1.2 позначений як «ЕК»), який вмонтований у випускну трубку моделі реактора. Відкривання клапану може відбуватися трьома способами: або за командою від ПЛК, або за командою від програмованого реле «Relpol», або вручну за допомогою відповідного перемикача режимів роботи.

Підключення ПЛК або програмованого реле «Relpol» до фізичної моделі промислового хімічного реактора здійснюється за допомогою з'єднувального кабелю та відповідного сигнального інтерфейсу моделі. Такі сигнальні інтерфейси (один для ПЛК, інший для реле «Relpol») зібрані на основі двох кабельних з'єднувачів типу DB-25P, які закріплені з правого боку електромонтажного боксу (на рисунку 1.2 позначені як «Сигнальні інтерфейси»).

Періодична робота моделі хімічного реактора здійснюється у вигляді окремих робочих циклів, в результаті яких «виробляються» порції готової

хімічної рідини. На рисунку 1.3 показаний загальний вигляд такого робочого циклу.

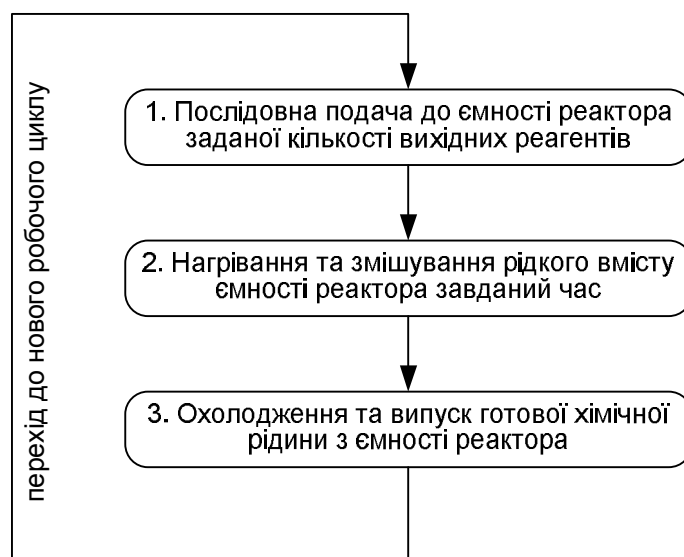


Рисунок 1.3 – Робочий цикл моделі хімічного реактора для «виготовлення» порції готової хімічної рідини

Робочий цикл складається з послідовного виконання таких технологічних операцій:

- «Послідовна подача до ємності реактора заданої кількості вихідних реагентів»;
- «Нагрівання та змішування рідкого вмісту ємності реактора на протязі завданого часу»;
- «Охолодження та випуск готової хімічної рідини з ємності реактора».

Після завершення поточного робочого циклу модель хімічного реактора буде готова до виконання наступного робочого циклу (якщо це вимагається виробничим завданням) з «виготовлення» чергової порції готової хімічної рідини.

У 2022 році було запропонована суттєва модернізація даної фізичної моделі, щоб вона краще відповідала тій ролі, яку відіграє на «віртуальному виробництві». По перше, було запропоновано вдосконалити структуру існуючої локальної системи управління хімічним реактором (рисунок 1.4).

В цій схемі в реле рівня LA використовується лише один електрод, який дозволяє контролювати верхній рівень наповнення ємності реактора. Це робиться для запобігання переливу води через край ємності (електронасос буде вимкнений

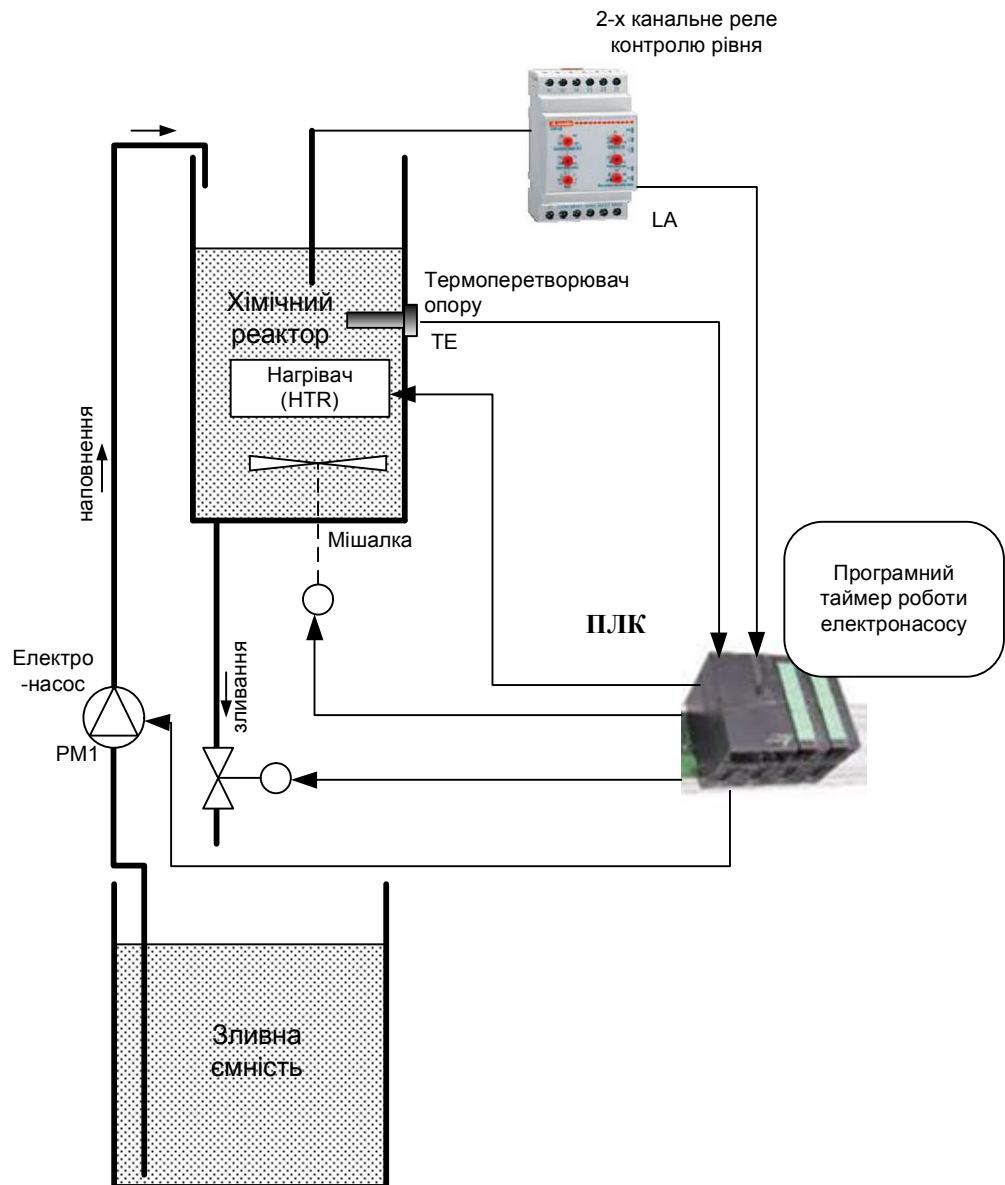


Рисунок 1.4 – Вдосконалення структури локальної системи управління

контролером ПЛК якщо вода в ємності реактора досягне максимального рівня). Також на відміну від попередньої схеми порції умовних вихідних реагентів в цьому випадку буде відмірятися часом роботи електронасосу, який задається програмним таймером, реалізованим у контролері ПЛК. Тому можна процес наповнення ємності реактора поділити на стільки етапів (порцій), скільки

потрібно. Наприклад, можна задати два етапи наповнення, що буде моделювати закачування до реактора двох вхідних реагентів, а можна задати чотири етапи, що моделюватиме закачування чотирьох вихідних реагентів. Тоді кількість варіантів процедури різко збільшується – або готувати хімічну рідину з двох реагентів (6 варіантів), або з трьох реагентів (4 варіанти), або з чотирьох реагентів (1 варіант). Крім того, можна міняти порядок закачування реагентів до реактора – для двох реагентів ще 6 варіантів, для трьох реагентів ще 12 варіантів, для чотирьох реагентів – ще 11 варіантів. Таким чином просте структурне рішення дає суттєве збільшення варіантів навчальних завдань, які можна видавати студентам вхіді роботи на новому КНЗ.

По-друге, було запропоновано ускладнити програмну реалізацію алгоритму управління та посилити реалістичність роботи моделі хімічного реактора. Для цього була модернізована конструкція фізичної моделі реактора шляхом додавання двох світлових імітаційних моделей – моделі запасів реагентів на вході ТП та моделі запасів готової хімічної продукції на виході ТП. Крім того, для підвищення ступеню реалізму роботи фізичної моделі хімічного реактора запропоновано застосувати ще одну світлову імітаційну модель рідкого вмісту ємності реактора. Така імітаційна модель повинна змінювати колір рідини, що закачується в цю ємність, в залежності від кольору вхідних реагентів. Зараз в лабораторії застосовані світлові моделі потоків рідин по трубопроводах, які різняться кольором, а саме, реагент А має червоний колір, реагент В – синій, реагент С – жовтий, реагент D – зелений. Якщо такі реагенти змішувати у реальному реакторі, то колір суміші буде змінюватися в залежності від пропорції реагентів. Саме цей процес змішування різних за кольором реагентів і повинна моделювати запропонована світлова імітаційна модель (рисунок 1.5).

Для зміни кольору рідкого вмісту ємності реактора (звичайна вода) застосовуються яскраві світлодіодні освітлювачі різних кольорів. Кількість освітлювачів певного кольору, які вмикаються контролером ПЛК, повинна залежати від долі (пропорції), яку займає реагент даного кольору у загальній суміші.

Наприклад, якщо для кожного кольору буде встановлено 10 світлодіодних

освітлювачів, а реагент, який ними моделюється, буде складати 25% від загальної суміші, то треба буде ввімкнути 2-3 світлодіоди даного кольору. Якщо буде додано ще 50% реагенту іншого кольору, то треба буде включити ще 5 світлодіодів, які моделюватимуть цей другий реагент.

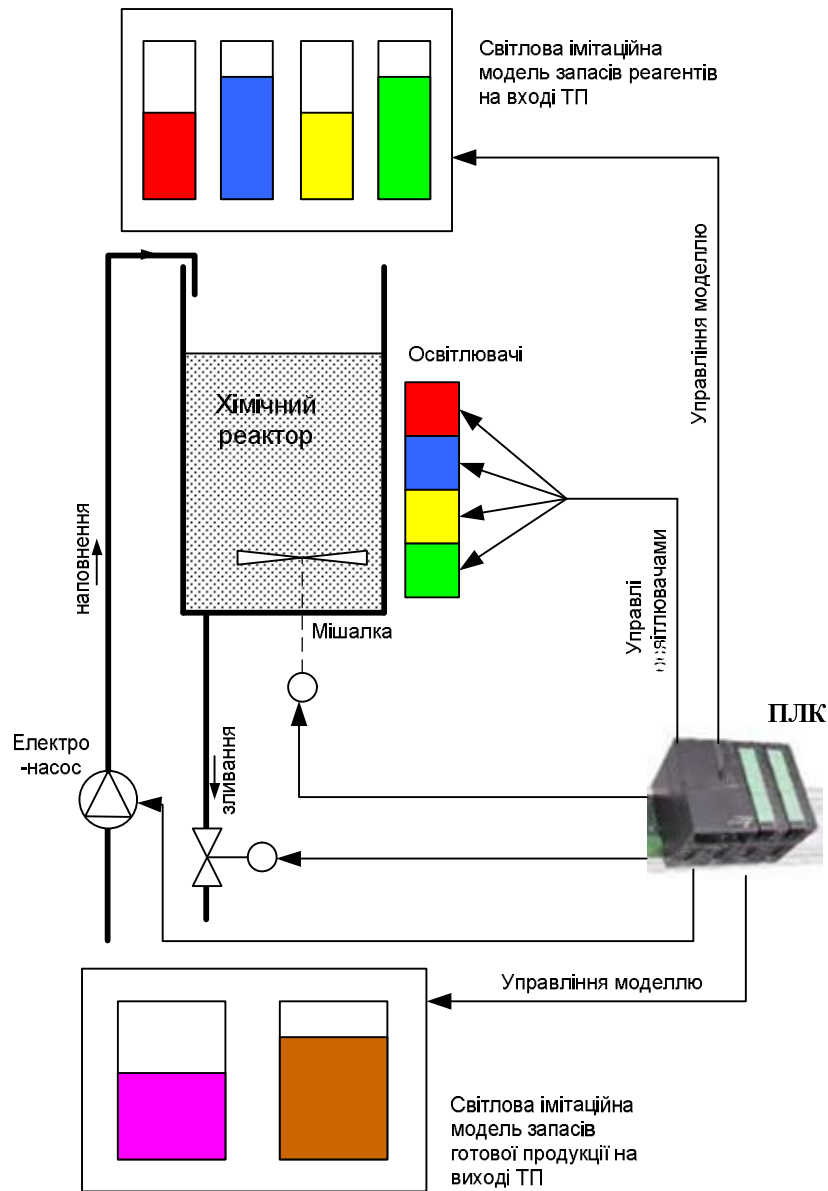


Рисунок 1.5 – Структурне вдосконалення існуючої фізичної моделі хімічного реактора

Світлові імітаційні моделі запасів реагентів на вході ТП та запасів готової продукції на виході ТП можна створити у вигляді світлових стовпчиків, наприклад, зі світлодіодів різних кольорів. Тоді висота світлового стовпчика

моделюватиме наявний запас даної рідини в уявному баку.

Дані про наявні запаси контролер ПЛК отримуватиме з ПК «АРМ оператора» АСУТП, а той, у свою чергу, з сервера інтегрованої АСУ (ІАСУ) періодичним «віртуальним виробництвом», де всі матеріальні запас та потоки моделюються програмним шляхом у режимі реального часу.

1.3 Цифрова трансформація аналогічних технологічних процесів

У світовій практиці вже накопичився великий досвід щодо цифрової трансформації аналогічних технологічних процесів. Основною метою таких змін, як правило, є підвищення ефективності процесу (зменшення витрат, підвищення продуктивності та якості продукту), поліпшення адаптації процесу до швидких змін виробничого завдання, підвищення надійності обладнання та збільшення інформаційної прозорості процесу.

Так, одним з головних факторів, що впливає на ефективність процесу є витрати електрики у кожному циклі роботи реактора та в цілому по партії готової продукції. Тому часто в ході цифрової трансформації вирішують питання економії витрат енергії. Існує два види промислових об'єктів з позицій способу організації контролю й управління промисловим устаткуванням, яке використовує електричну енергію: ті, що оснащені SCADA-системами, й ті, що не мають інтегрованих програмно-апаратних засобів збору, обробки й аналізу інформації (рисунок 1.6, зони промислових об'єктів 1 і 2 відповідно).

Що характерно на сьогоднішній день для об'єктів автоматизації з функціонуючими SCADA-системами, з погляду умов і технологій інформаційного забезпечення? По-перше, орієнтація на стандартні комунікаційні протоколи. По-друге, зниження потреби в організації спеціальних сховищ архівних даних, розроблених і постачених розроблювачами SCADA-систем. До них можна віднести класичні реляційні системи управління базами даних (СУБД) з низькою швидкістю звертання до архівів, а також сучасні СУБД, що володіють значною швидкодією й величезними можливостями по горизонтальному масштабуванню й

захисту даних. По-третє, у наявності очевидний тренд останнього років - прагнення постачальників SCADA-систем розміщати сервери в хмарній інфраструктурі. І, нарешті, створювані платформи SCADA-систем поступово інтегруються в структуру ІоТ за рахунок:

- використання Інтернету як універсальне середовище передачі даних і взаємодії пристроїв;
- застосування як базові формати й стандартів при передачі й поданні даних, властивих розповсюдженим платформам ІоТ;
- забезпечення доступу виконавчих модулів (серверів, АРМ, контролерів, операторських панелей і т.д.) до хмарних сервісів;
- формування для знову розроблювальних SCADA-систем спеціальних додаткових вимог, виконання яких дозволяло б інтегруватися з компонентами ІоТ.

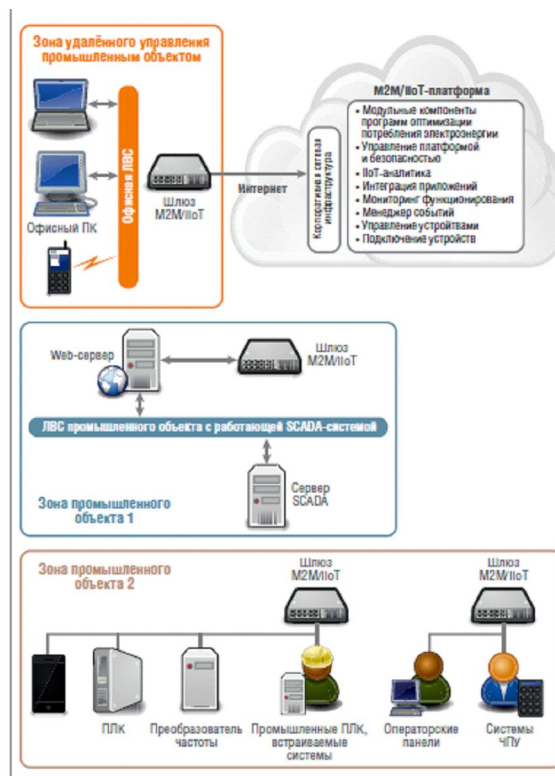


Рисунок 1.6 – Структура системы оптимізації споживання електрики на основі рішень ІоТ

У зоні промислового об'єкта 2, не оснащеного функціонуючою SCADA-системою, інтелектуальні пристрої засобів управління обладнанням (терморегулятори, перетворювачі частоти, програмувальні логічні контролери, промислові комп'ютери, операторські панелі, системи ЧПУ й т.д.) мають 2-направлений зв'язок із хмарним сервісом через шлюз M2M/По, підключений до польових пристроїв за допомогою відомого набору інтерфейсів введення-виведення: CAN, RS-232/422/485, USB (2.0 і 3.0).

Відомо, що більшість класичних методів оптимізації використовують математичні моделі з безперервним часом, які переносяться на рішення завдань оптимізації споживання електрики (ОСЕ), що ставляться до класу динамічних процедур управління в реальному часі з описом процесу через векторні диференціальні рівняння. Цілком очевидно, що будь-яка оптимізаційна задача містить такі етапи, як моделювання розглянутої ситуації з метою ідентифікації математичної функції процесу споживання електроенергії, що підлягає мінімізації, визначення обмежень, підбор найбільш прийнятної процедури мінімізації з урахуванням реальних умов споживання електроенергії, реалізація керуючих впливів, оцінка результатів роботи системи керування.

Завдяки унікальним можливостям хмарних сервісів у рамках ПоТ стали доступними технології реалізації раціонального споживання електроенергії на основі алгоритмів з використанням штучного інтелекту по таких напрямках, як:

- локальні пристрої й системи автоматичного збору знань про реальний процес енергоспоживання;
- засоби, засновані на використанні бази знань про процеси споживання електроенергії в різних технологічних комплексах;
- системи із застосуванням генетичних алгоритмів;
- експертні системи на основі відпрацьованих або пройдених ситуацій зі споживанням електроенергії;
- апаратно-програмні засоби нечіткого керування режимами роботи технологічного обладнання;
- моделі нейронних мереж.

За результатами аналізу потенційних можливостей хмарних технологій IoT, з одного боку, і ступеня затребуваності їх для реалізації наведених алгоритмів ОСЕ, з іншого боку, на рисунку 1.7 показана діаграма орієнтовного розподілу потенційно задіяних функцій хмарних сервісів залежно від напрямку.

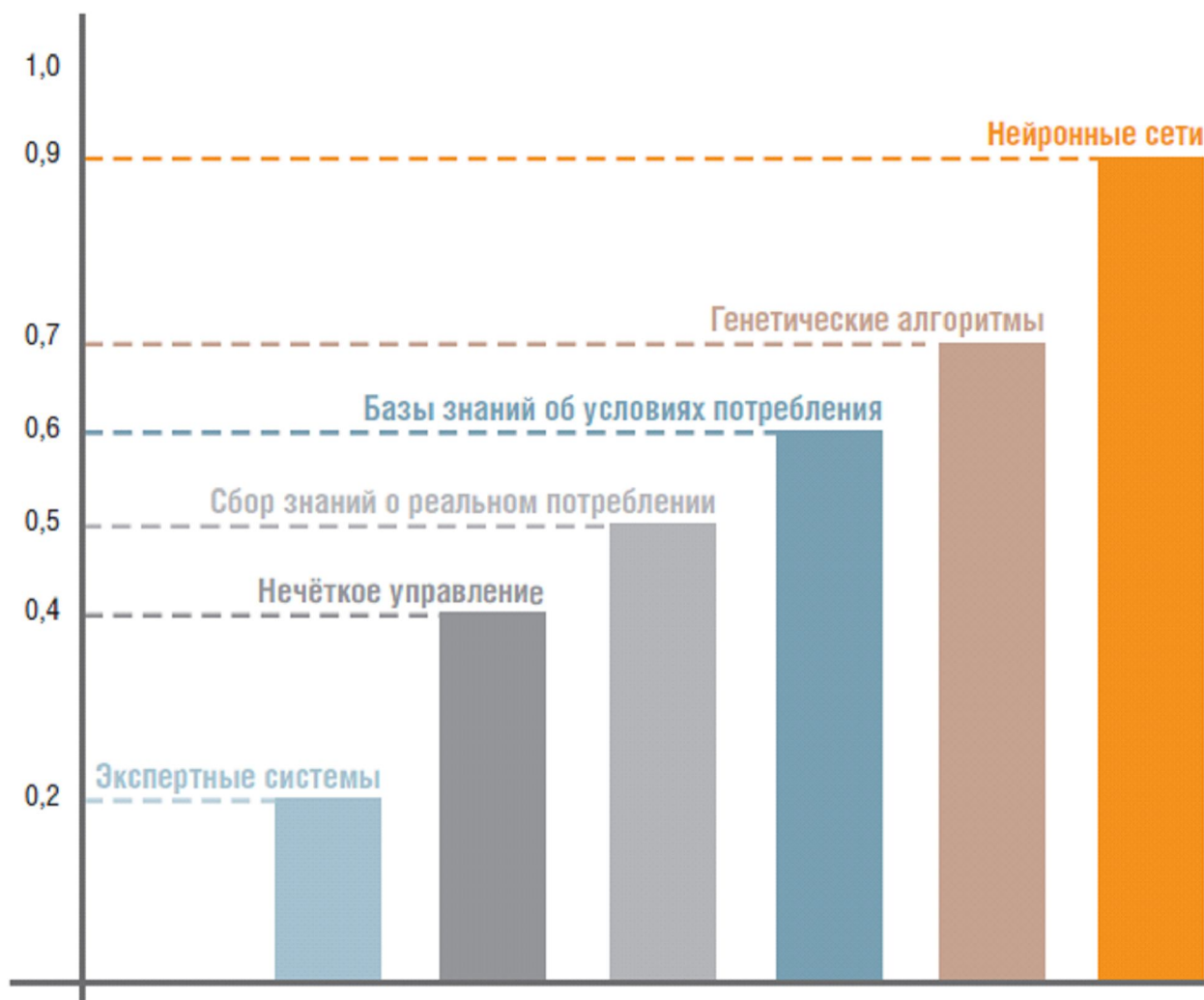


Рисунок 1.7 – Розподіл хмарних сервісів

При реалізації алгоритмів на основі апарата нейронних мереж необхідні:

- інтенсивна процедура обробки безперервних і дискретних даних;
- висока здатність спілкування між убудованими засобами управління й додатками хмарних сервісів;
- відтворення аналогій із чисельною моделлю мозку практично в режимі реального часу;

– занесення й обробка точних знань про умови споживання електроенергії з наступним апробуванням на моделі керування.

Відомо, що генетичні алгоритми засновані на створенні імовірнісних моделей оптимізації. Перспектива їхнього використання - складні енергетично насичені технологічні комплекси з великою кількістю параметрів, де потрібен ефективний пошук глобального оптимуму споживаної електроенергії в умовах відсутності структурованих специфічних знань про процес. У цей час на цій основі створюються додатки, що вимагають для функціонування значних обчислювальних ресурсів, характерних для хмарних сервісів середовища ПоТ.

Використання бази знань про умови споживання електроенергії в завданні ОСЕ передбачає створення й зберігання набору прикладів, що характеризують певні сценарії споживання електроенергії в конкретних групах технологічного обладнання, кожна з яких містить деякі значення атрибутів і специфікації класів, до яких вони належать. У цьому випадку комунікаційні можливості ПоТ дозволять ефективно орієнтувати керуючі програми об'єктів на пошук таких груп атрибутів, які є загальними для прикладів у своєму класі при формуванні деяких правил в алгоритмах управління обладнанням.

Збір знань про реальне споживання електроенергії за допомогою відповідної експертної системи підтримується комплексом комп'ютерних програм, що дозволяють інтегрувати цільові знання, необхідні для виконання функцій управління технічною системою за критерієм мінімізації споживання електроенергії. Реалізація механізму прийняття рішень на основі накопичених знань здійснюється модулем програми, що на базі сервісів ПоТ буде виробляти алгоритм виконання завдань за допомогою певних методів маніпуляції з даними, отриманими від окремих компонентів обладнання технологічної системи.

При реалізації алгоритмів нечіткого управління комунікаційні ресурси ПоТ дозволять консолідувати в межах виробничого комплексу виняткові можливості для обробки аномалій, що виникають через неповноту або часткову втрату даних у нечітких масивах інформації. Безпосереднє управління об'єктами на принципах оптимізації споживання електроенергії буде здійснюватися приблизно на 60% за

допомогою систем, що вбудовуються, (промислових комп'ютерів, контролерів, інтелектуальних пристроїв і т.д.).

Алгоритми з використанням експертних систем на базі історії пройдених ситуацій, по суті, є деяким розширенням систем, що функціонують на основі накопичених знань або правил, з тією лише різницею, що прийняття рішень про характер управління будується винятково на аналізі й наступному підборі ситуації, що максимально аналогічна виниклому випадку. Реалізація управління при цьому покладає в 80...90% на можливості локальних систем із запозиченням інформаційної підтримки бази знань за допомогою хмарних сервісів.

Також дуже розповсюдженим підходом до цифрової трансформації аналогічних ТП є застосування різноманітних цифрових моделей фізичних процесів, що відбуваються в технологічному обладнанні. Ці моделі можуть бути застосованими як для оптимізації проєктування ТП, так і для оптимізації ходу ТП у режимі реального часу («цифровий двійник»). На наступних рисунках показані приклади цифрового моделювання фізичних процесів, пов'язаних з рухом рідин.

Так в [18] описана цифрова платформа моделювання фізичних процесів, до якої є вільний доступ для студентів (рисунок 1.8).

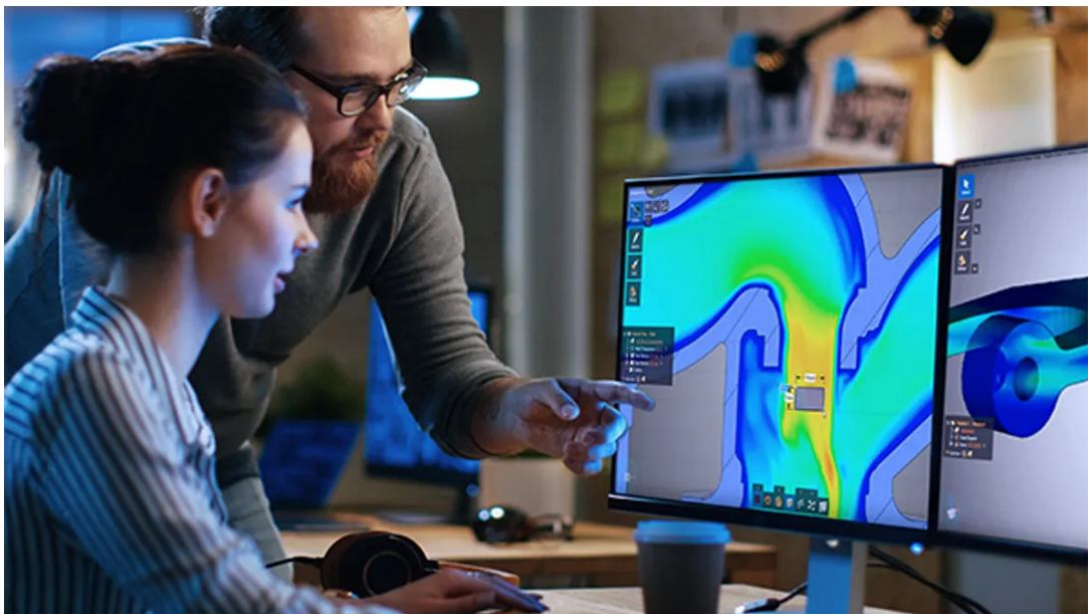


Рисунок 1.8 – Відкрита цифрова платформа моделювання фізичних процесів

Ця платформа дозволяє, зокрема, здійснювати цифрове моделювання у режимі реального часу потоків рідин в середині трубопроводів (рисунки 1.9, 1.10).

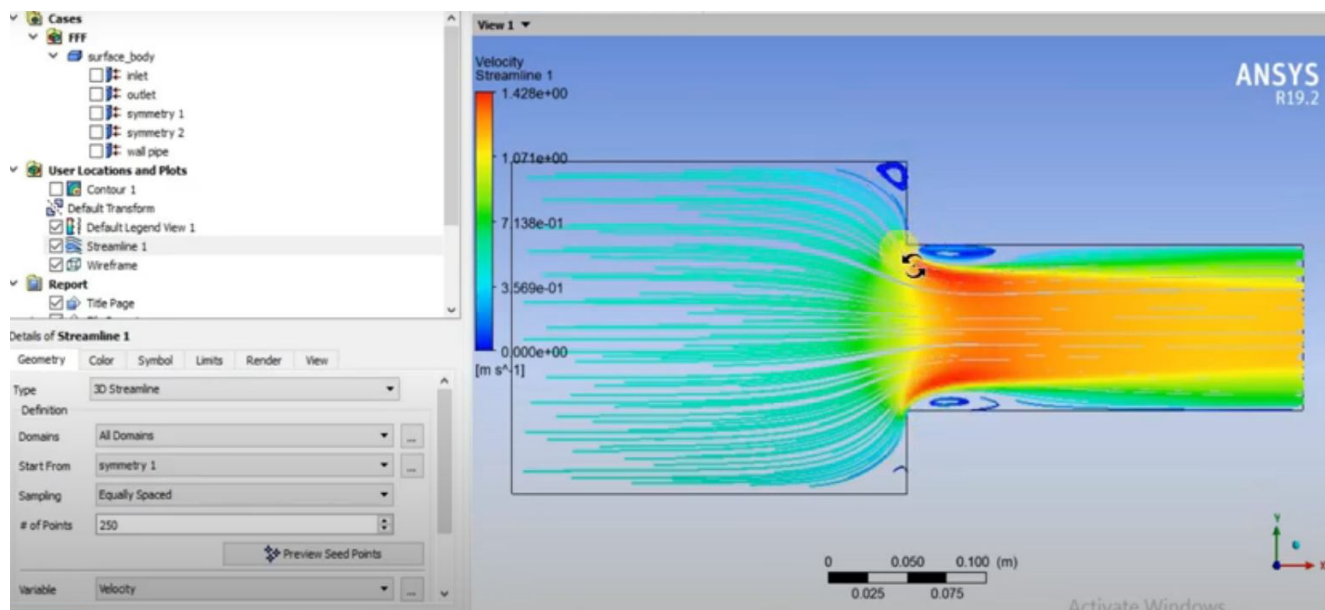


Рисунок 1.9 – Приклад моделювання потоку рідини

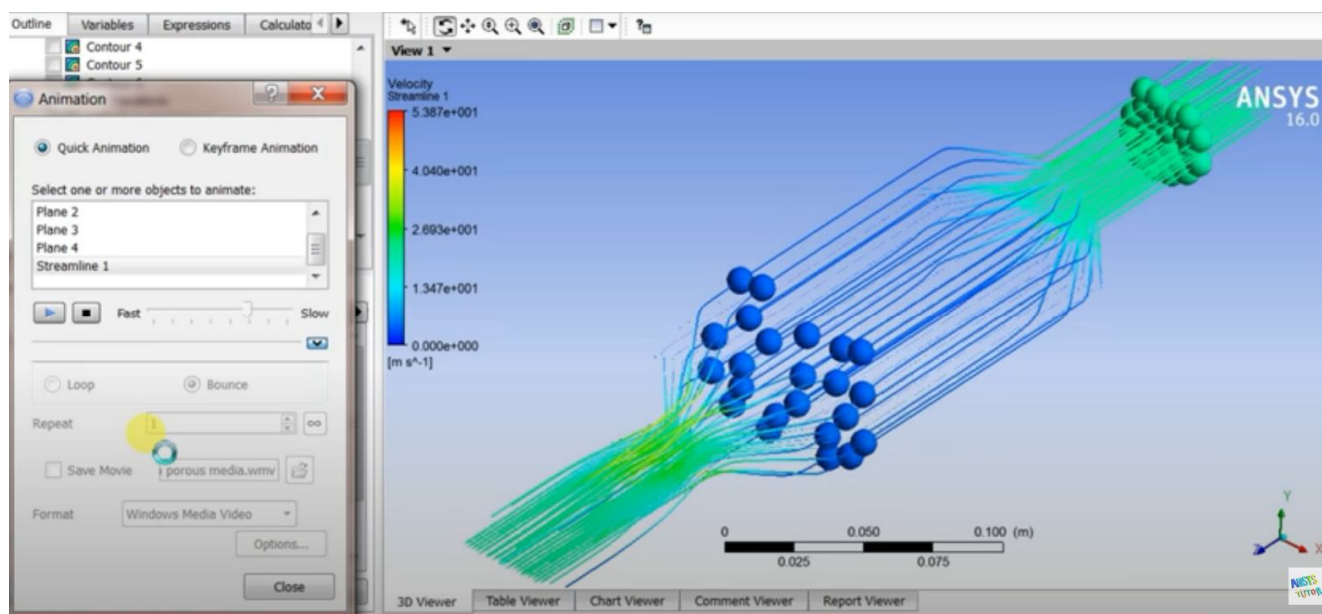


Рисунок 1.10 – Інший спосіб моделювання потоку рідини

В [19] описана цифрова платформа моделювання, що має вільний доступ та дозволяє ефективно моделювати процеси переміщення рідини у резервуарах довільної форми (рисунки 1.11, 1.12).

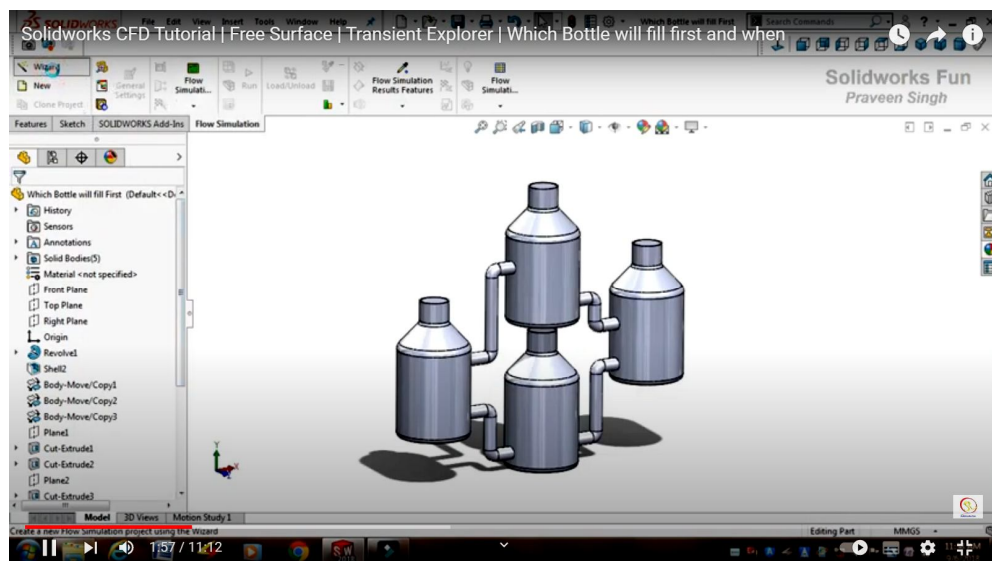


Рисунок 1.11 – Цифрове тривимірне моделювання системи резервуарів

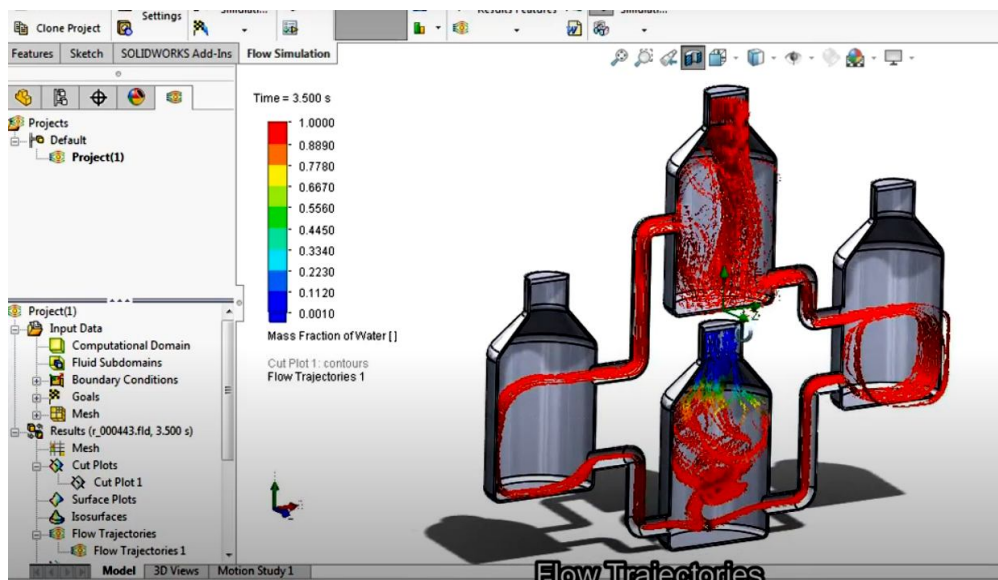


Рисунок 1.12 – Цифрове тривимірне моделювання перетікання рідини

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. Вже сформоване загальне бачення тих цілей, які ставлять виробники на шляху вдосконалення своїх підприємств (рисунок 1.13) [20].



Рисунок 1.13 – 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 1.14):

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

The top 5 major goals for digital transformation



Рисунок 1.14 – Основні очікування виробників від цифрової трансформації

Проте, на шляху впровадження нових цифрових рішень у виробництво зараз існує декілька основних завад (рисунок 1.15):

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

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

На рисунку 1.16 показані ті сучасні цифрові технології, які можуть зробити виробництво набагато ефективнішим. На цьому рисунку показаний відсоток передових компаній, які вважають ту чи іншу технологію дуже важливою для своєї цифрової трансформації.

Major challenges/barriers in the area of digital transformation



Рисунок 1.15 – Основні причини гальмування цифрової трансформації

Which technologies are considered relevant

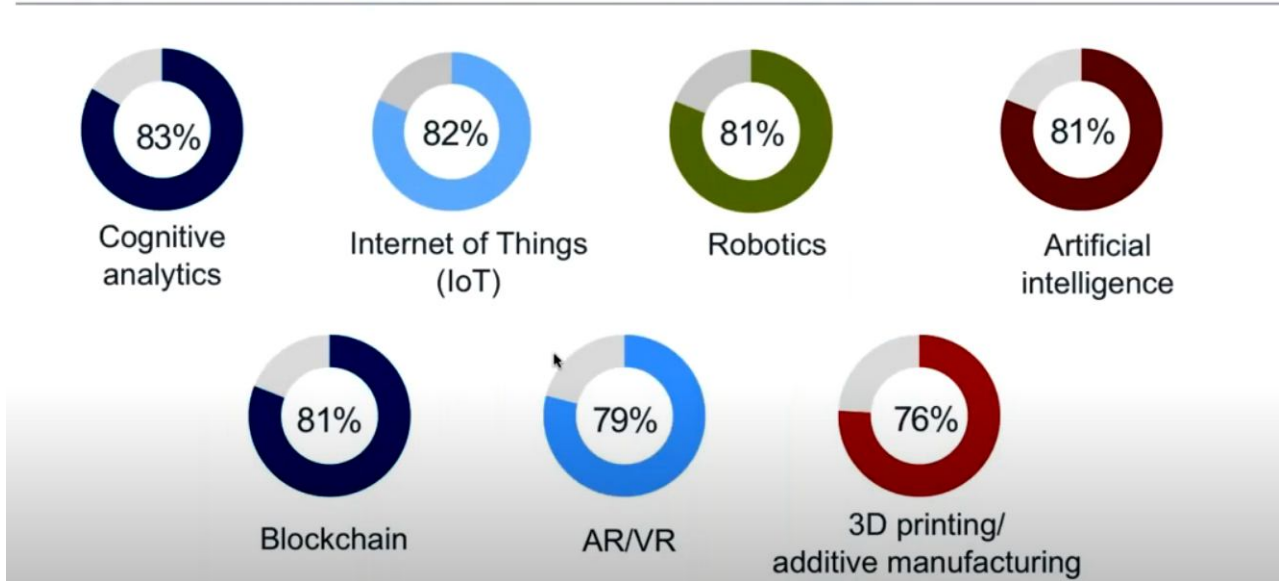


Рисунок 1.16 – Основні цифрові технології для вдосконалення виробництва

Яка ж повинна бути загальна стратегія зазначено цифрової трансформації виробництва? На рисунку 1.17 показаний рекомендований шлях цифрової

трансформації, який означає основні її стадії:

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

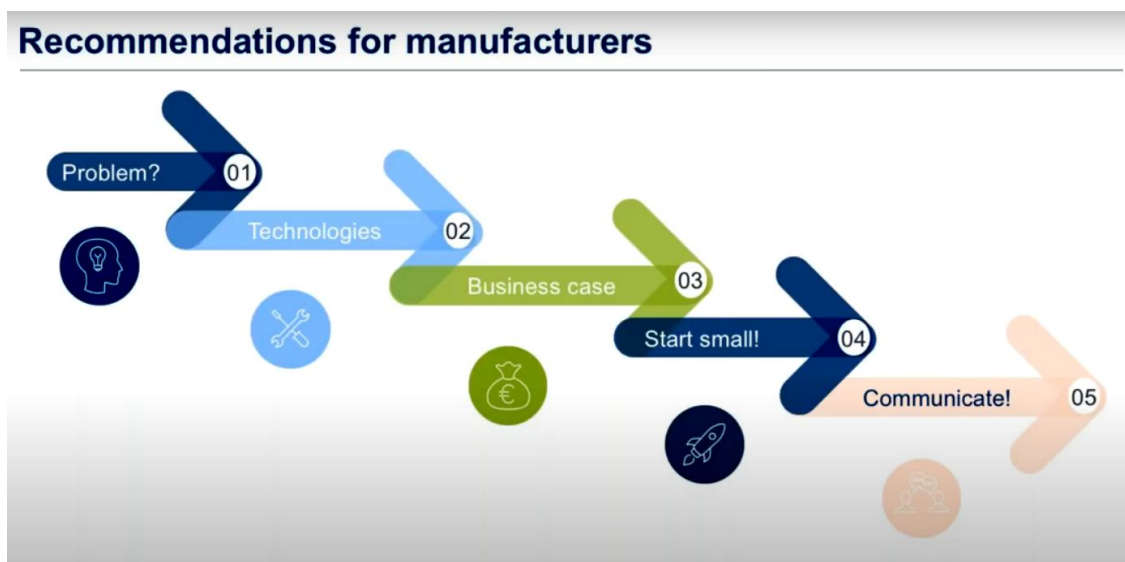


Рисунок 1.17 – Оптимальна стратегія цифрової трансформації виробництва

Саме ця стратегія була покладена в основу розробки архітектури нового комп'ютеризованого навчального засобу (КНЗ) для практичного вивчення цифрової трансформації автоматизованого хімічного технологічного процесу (рисунок 1.18).

Основою архітектурного рішення нового КНЗ є фізична модель технологічного процесу (ТП), яка вбудована у імітаційну модель «віртуального

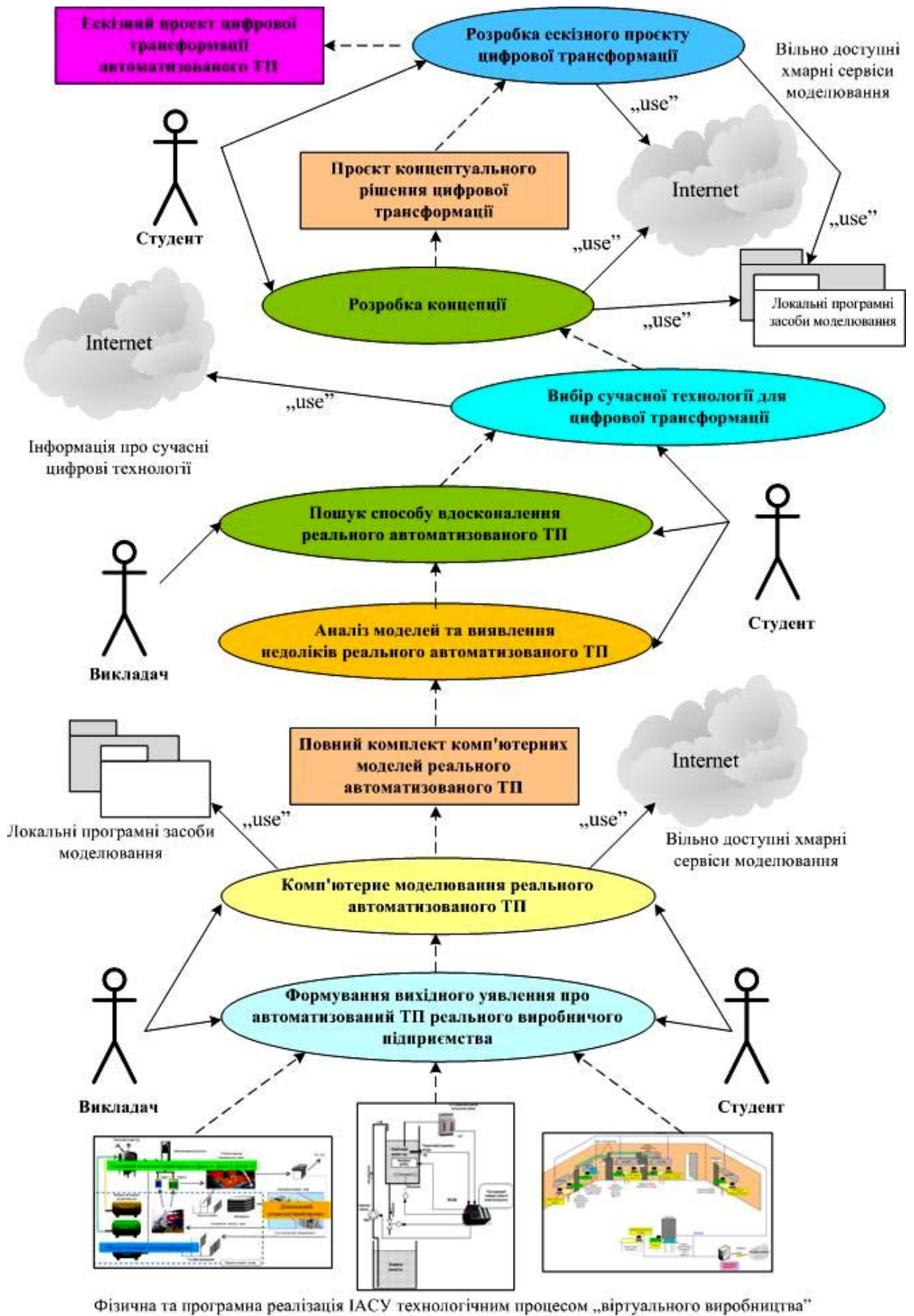


Рисунок 1.18 – Архітектура нового комп'ютеризованого навчального засобу

виробництва» лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка» ФІПА, а також програмно-технічна імітаційна модель інтегрованої автоматизованої системи управління (ІАСУ) «віртуальним виробництвом» в цілому та окремими його технологічними процесами.

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

Після того, як сформоване це вихідне уявлення, можна виконувати наступний етап першої стадії цифрової трансформації – комп'ютерне моделювання статичної та динамічної реального АТП з метою формування більш повного та детального уявлення щодо його реалізації в умовах виробничого підприємства. При комп'ютерному моделюванні застосовуються як наявні локальні програмні засоби моделювання, так і доступні хмарні сервіси цифрового моделювання. Розробка цих комп'ютерних моделей здійснюється як студентом за індивідуальним завданням в рамках окремих професійних дисциплін чи проєктного практикуму, так і викладачем при підготовці навчально-методичних матеріалів з цих професійних дисциплін або проєктного практикуму. В результаті таких дій розробляється повний комплект комп'ютерних моделей реалізації АТП на реальному виробничому підприємстві. При виконанні наступних стадій цифрової трансформації цей комплект моделей має бути доступним для перегляду студентом як на комп'ютерах лабораторії, так і на домашньому комп'ютері.

Після цього студент переходить до наступної стадії цифрової трансформації, під час якої він аналізує комплект комп'ютерних моделей реалізації АТП на реальному виробничому підприємстві (реальний АТП) з метою визначення тих чи інших його недоліків, які в подальшому можна буде усунути шляхом його цифрової трансформації. З усіх знайдених недоліків студент (або викладач) обґрунтовано вибирає найбільш важливий і переходить до наступної стадії – пошук способу вдосконалення реального АТП на основі І4.0.

Пошук способу вдосконалення реального АТП шляхом його цифрової трансформації у АТП на основі концепції «Індустрія 4.0» (I4.0) студент виконує самостійно, проте викладач має обов'язково надавати йому відповідний навчально-методичний матеріал, консультації та додаткові роз'яснення. Після того, як будуть намічені шляхи вдосконалення реального АТП, студент має обгрунтовано вибрати ту I4.0 цифрову технологію (або технології), яка дозволить реалізувати намічене вдосконалення реального АТП. При цьому студент обов'язково здійснює дослідження відповідної предметної області, використовуючи як ресурси Інтернет, так і навчально-методичні матеріали, підготовлені викладачем в рамках відповідної професійної дисципліни або проєктного практикуму.

Коли потрібна технологія (технології) цифрової трансформації знайдені, студент переходить до виконання розробки концепції цифрової трансформації реального АТП, використовуючи при цьому як доступні хмарні сервіси цифрового моделювання, так і наявні локальні програмні засоби моделювання. Готовий проєкт, що відображає запропоноване концептуальне рішення цифрової трансформації реального АТП, є першим результатом практичного освоєння студентом процесу цифрової трансформації. Цей результат може бути отриманий на рівні бакалаврської підготовки студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», наприклад, в рамках дисципліни «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва».

На основі даного концептуального рішення цифрової трансформації студент може продовжити проєктування на новому КНЗ і перейти до наступного 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 (наприклад з технічною анімацією динаміки трансформованого АТП), так і наявних програмних засобів моделювання. Результатом робіт цієї стадії є ескізний проєкт цифрової трансформації реального АТП, який представлений, наприклад, у вигляді відповідної комп'ютерної моделі його реалізації на реальному «розумному» підприємстві. Бажано, щоб

функціонування цієї моделі можна було переглядати або на комп'ютері лабораторії, або через доступні хмарні додатки цифрового моделювання, або через локальні програмні засоби моделювання.

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

На основі описаного загального бачення архітектури нового комп'ютеризованого навчального було розроблене технічне завдання на науково-дослідну роботу для означення основних вимог до подальшої його розробки (додаток А),

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 хімічного технологічного процесу в рамках «віртуального виробництва» уявної хімічної продукції. Досліджена предметна область цифрової трансформації аналогічних технологічних процесів, та намічені ті її напрями, які можуть вивчатися на новому навчальному засобі. Розроблена архітектура нового комп'ютеризованого навчального засобу, яка відображає і складові його частини, і основні стадії виконання проєктного практикуму.

2 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «МОДЕЛЮВАННЯ ІСНУЮЧОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ТП»

2.1 Розробка моделі діяльностей

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

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

- додаткове комп'ютерне моделювання статички та динаміки даного реального АТП.

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

Проте, крім згаданих моделей, в основі архітектури нового КНЗ лежать ще дві інші моделі (див. рисунок 1.18), з дослідження яких і починається весь процес практичного вивчення студентом цифрової трансформації існуючого АТП:

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

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

Таким чином, аналізуючи вищесказане, можна зробити такі висновки:

- в процесі виконання першої стадії 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 її діяльностей, яка показує взаємний зв'язок усіх робіт з моделювання, що мають виконувати обидві ролі, та їх 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 закругленими кутами. У цій моделі актор «Викладач» є ініціатором початку виконання всієї послідовності діяльностей даної стадії практичного вивчення цифрової трансформації існуючого АТП.

Фізична область лабораторної ІАСУ „віртуальним виробництвом”



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

На самому початку актор «Викладач» аналізує комп'ютерно-інтегроване «віртуальне виробництво», яке існує в лабораторії у вигляді програмно-технічної імітаційної моделі ІАСУ всім цим виробництвом в цілому та окремою фізичною моделлю хімічного технологічного процесу, тобто лабораторний АТП. Така модель комп'ютерно-інтегрованого виробництва складається з фізичної та програмної частин. Фізична частина містить фізичну модель ТП та реальні промислові засоби його автоматизації. Програмна частина містить як програмні моделі деяких процесів (наприклад транспортування) та пристроїв (наприклад окремих насосів для кожного вхідного реагенту), так і прикладні програми управління даним ТП та виробничим процесом в цілому.

На основі проведеного аналізу актор «Викладач» за допомогою доступних комп'ютерних додатків розробляє вихідний комплект моделей, що описують устрій лабораторного АТП та принцип його дії на «віртуальному виробництві». Після цього цей комплект моделей, оформлених у вигляді електронних навчально-методичних матеріалів, використовує актор «Студент», який на

практичному курсі відповідної професійної дисципліни, чи кількох дисциплін, вивчає ІАСУ «віртуальним виробництвом», розробляючи та тестуючи її програмне забезпечення (ПЗ). Для бакалаврського рівня підготовки такими дисциплінами можуть бути «Технічні засоби автоматизації», «Інтегровані системи управління» та «Проектування систем автоматизації».

Актор «Викладач» може аналізувати результати практичної роботи, виконаної актором «Студент», після чого вносити потрібні корективи у вихідний комплект моделей існуючого АТП. Наприклад, за цим сценарієм була вдосконалена фізична модель хімічного реактора та, відповідно, і його комп'ютерна модель в електронному навчально-методичному матеріалі. Крім того, в модель «віртуального виробництва» були також введені додаткові імітаційні моделі промислового транспорту – конвеєрного та трубопровідного, а значить і розроблені їх комп'ютерні моделі у навчально-методичному матеріалі.

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» [21, 22], що і ІАСУ за концепцією «Індустрія 4.0» [23]. 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 надати йому, в першу чергу, вихідні моделі реального ТП, постачені текстовими поясненнями.

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

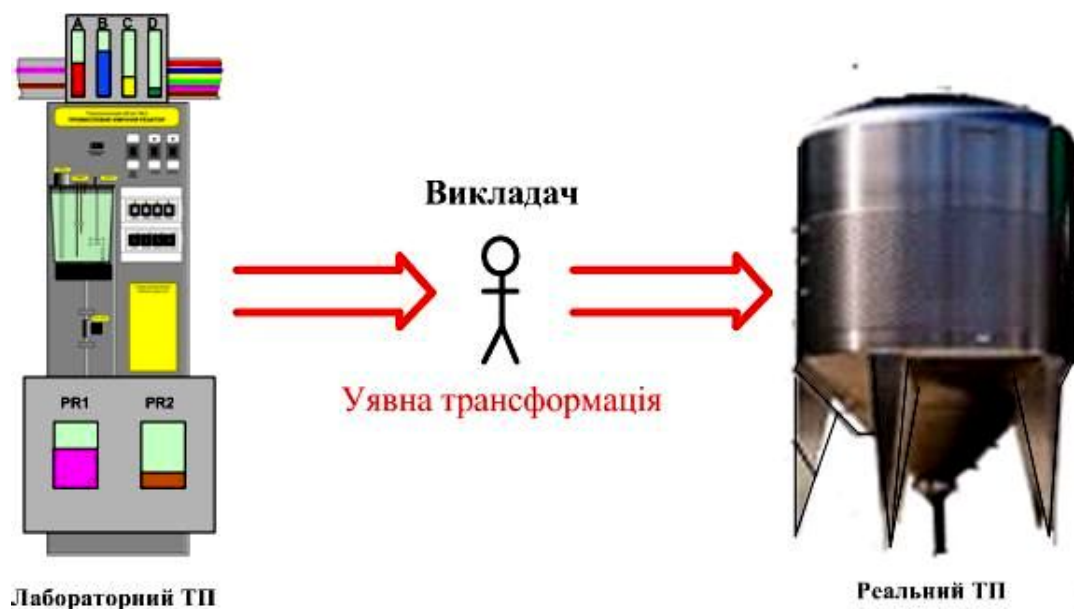


Рисунок 2.2 – Суть уявної трансформації лабораторного ТП

Такі моделі актор «Викладач» розроблює за допомогою доступних комп'ютерних графічних та текстових редакторів (локальних чи хмарних), використовуючи і їх додаткові функції, наприклад, вбудовані мови програмування для технічної анімації моделі реального ТП. Якщо ці функції відсутні, то «Викладач» може застосувати доступні промислові програмні засоби автоматизації, в яких функція технічної анімації графічних об'єктів є штатною.

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

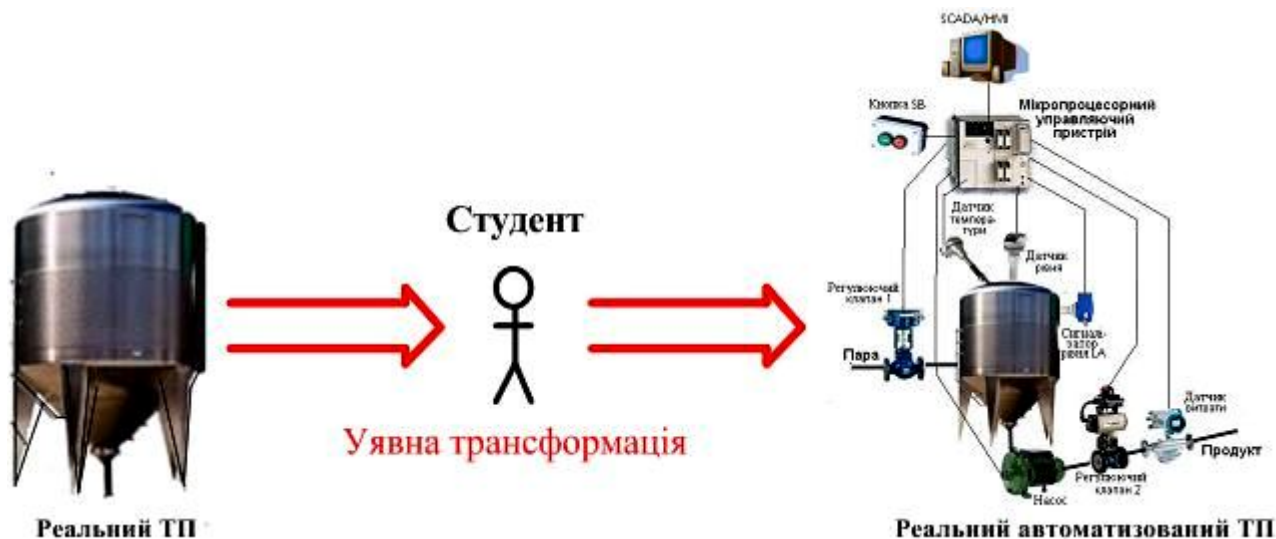


Рисунок 2.3 – Суть уявної трансформації реального ТП в реальний АТП

В якості додаткових моделей статичної та динамічної реального АТП «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). 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 реального промислового хімічного реактора, щоб студент зміг краще зрозуміти його конструкцію та ґрунтовніше вибрати засоби автоматизації, що мають монтуватися на ньому.

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 донесення навчального матеріалу від викладача до студента, так і самостійного вивчення студентом цього об'єкту [24]. 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 хімічного АТП повинен розробляти різні комп'ютерні моделі, які можна згрупувати у такі групи – «Моделі існуючого лабораторного АТП» та «Моделі існуючого реального АТП». У першу групу входять моделі, які надають достатніх вихідних знань для актора «Студент» щоб він зміг здійснювати діяльність «Розробка, тестування та налагодження ПЗ лабораторної ІАСУ» в рамках практичного курсу однієї чи кількох професійних дисциплін. Усі такі моделі включаються у відповідні навчально-методичні матеріали, які доступні для актора «Студент» через навігатори навчальних дисциплін системи JetIQ [7, 25, 26]. По-перше, ці моделі повинні пояснювати ідею лабораторного «віртуального виробництва», по-друге, будову та принцип дії лабораторної ІАСУ цим виробництвом, по-третє, конструкцію фізичної моделі та принцип дії лабораторного АТП.

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

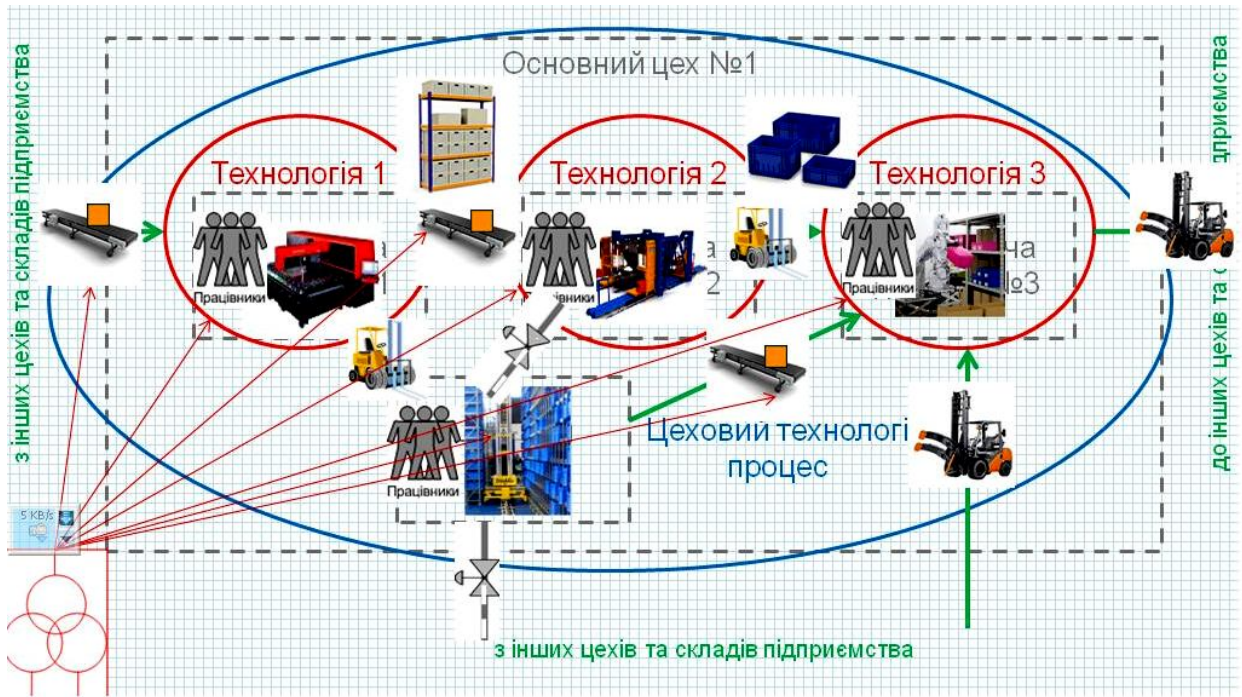


Рисунок 2.4 – Комп’ютерна модель основного ТП «віртуального виробництва»

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

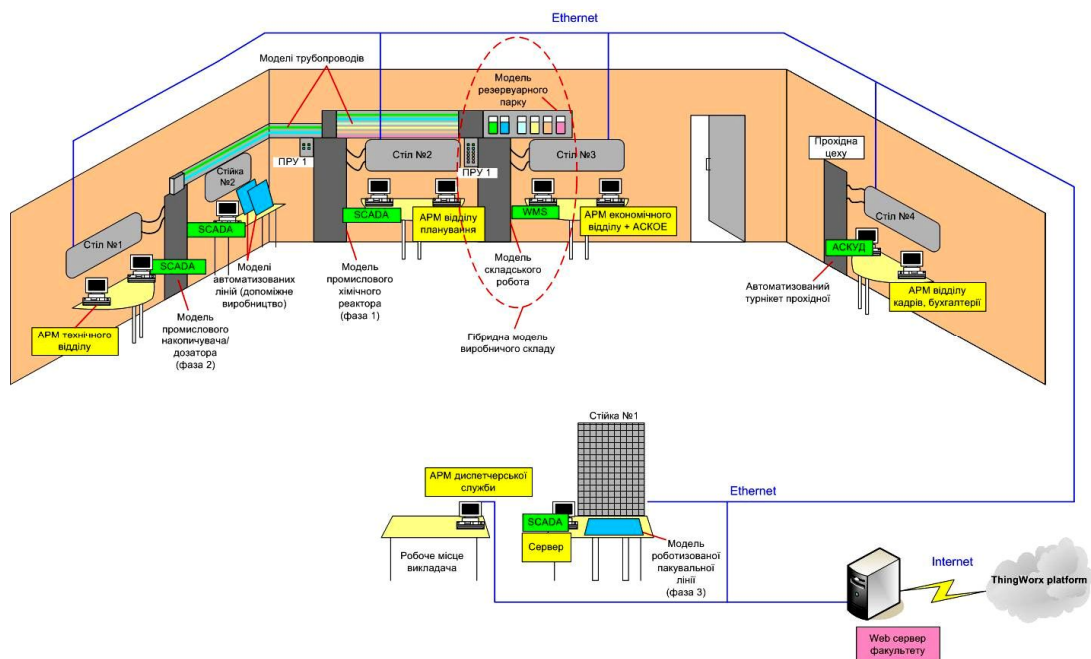


Рисунок 2.5 – Комп’ютерна модель організації ІАСУ у приміщенні лабораторії

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

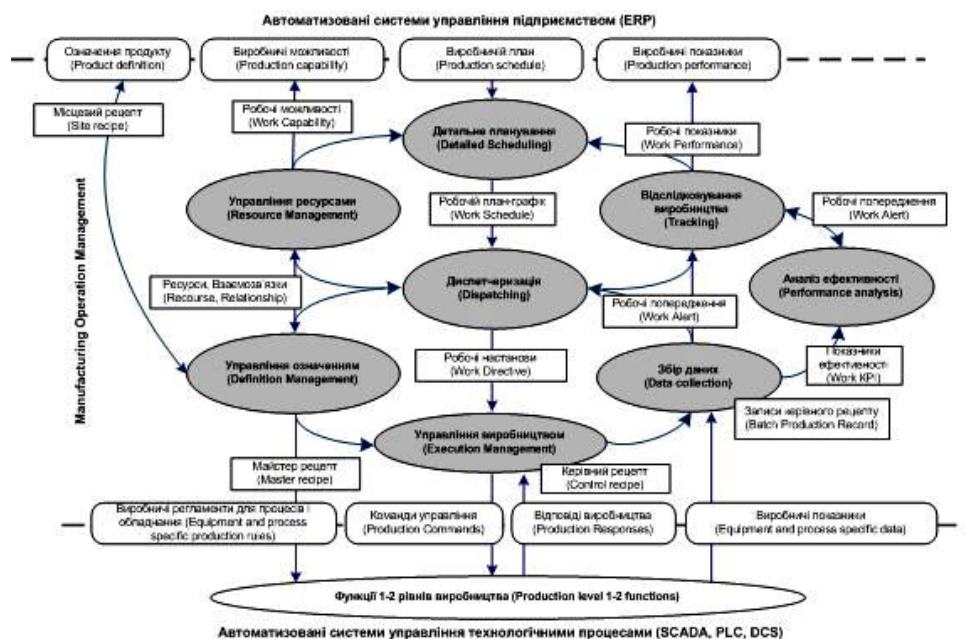


Рисунок 2.6 – Графічна модель функціональної структури лабораторної ІАСУ

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

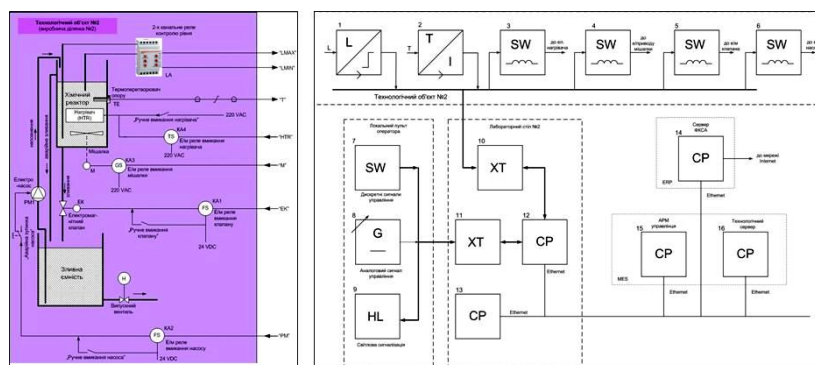


Рисунок 2.7 – Комп'ютерні графічні моделі лабораторного АТП

Тепер розглянемо моделювання, що здійснює актор «Викладач» при розумовій трансформації існуючого лабораторного ТП у реальний ТП (див. рисунок 2.2). Ця модель реального ТП повинна бути достатньо інформативною, щоб актор «Студент» зміг на її основі здійснити розумову трансформацію реального ТП у реальний АТП (див. рисунок 2.3). Тому кращим варіантом є використання 3D-моделювання реального ТП з можливістю застосування в цій моделі засобів технічної анімації. На рисунку 2.8 показаний варіант такої 3D-моделі реального ТП, розробленої засобами графічного редактора «Visio», доступного на хмарному сервісі [27].

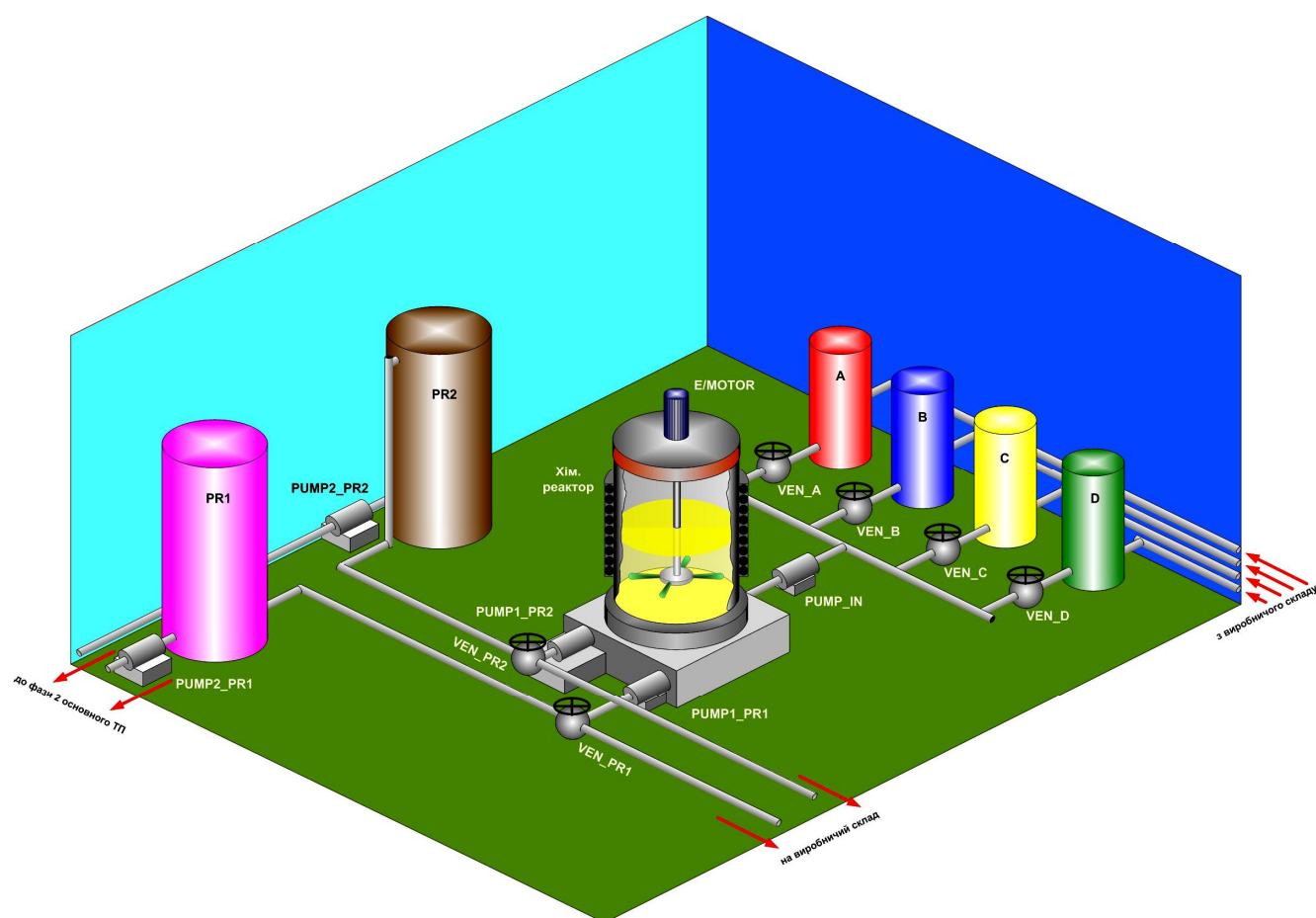


Рисунок 2.8 – Тривимірна графічна модель реального ТП

На цій моделі відображено реальне приміщення деякого промислового підприємства, де змонтований хімічний реактор та усе інше обладнання, що забезпечує його роботу. Така модель описується актором «Викладач» у

супутньому текстовому документі, де означається не тільки конструкція цього реального ТП та його принцип дії, але і надається повний перелік встановленого промислового обладнання та основні його конструктивні/технічні характеристики. У таблиці 2.1 показаний зразок такого переліку.

Таблиця 2.1 – Промислове обладнання реального ТП

Позначення	Призначення	Характеристики
Хім. реактор	Хімічний реактор	Розміри, матеріал, привод змішувача, тип нагрівача
A	Ємність для локального зберігання реагенту A	Розміри, матеріал
B	... B	- « -
C	... C	- « -
D	... D	- « -
PR1	Ємність для локального зберігання готового продукту PR1	Розмір, матеріал, властивості продукту
PR2	... PR2	- « -
VEN_A	Вентиль подачі реагенту A 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	- « -

Продовження таблиці 2.1

PUMP1_PR2	... PR2 ...	- « -
PUMP2_PR1	Електричний насос подачі готового продукту PR1 з ємності локального зберігання до наступної фази основного ТП	- « -
PUMP2_PR2	... PR2 ...	- « -

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

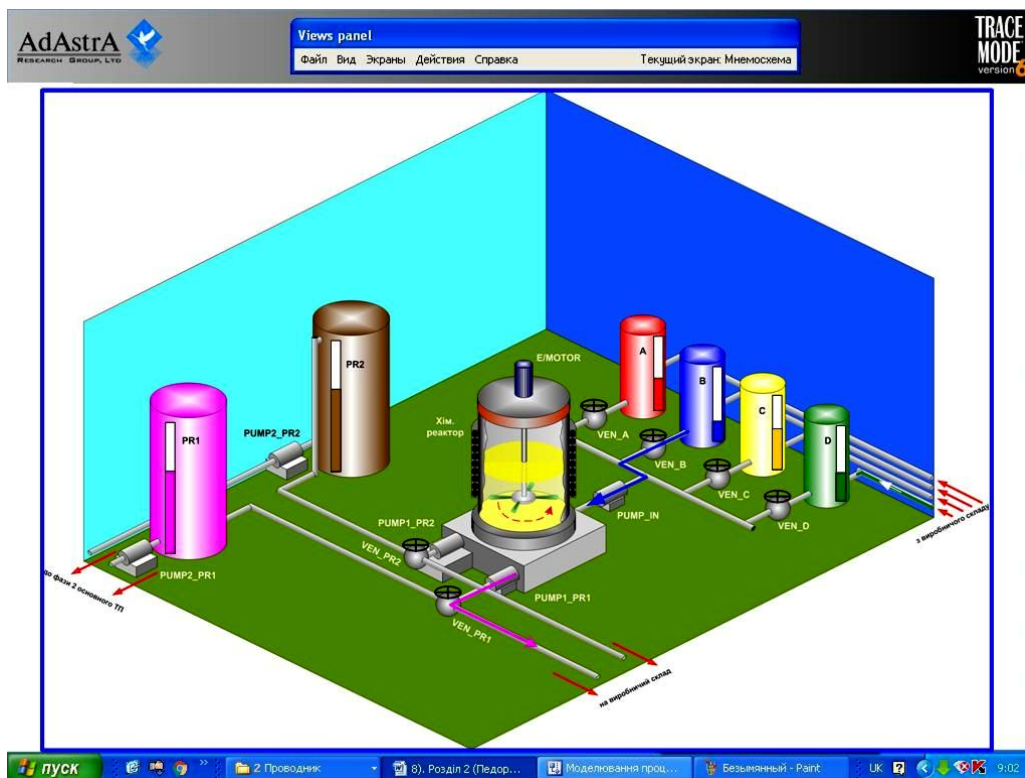


Рисунок 2.9 – Додавання засобів технічної анімації у 3D-модель реального ТП

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, вентиля та насоси (потоки відображаються також штатними засобами анімації таких об'єктів). Змішувач всередині хімічного реактора також можна «примусити» обертатися, а нагрівач реактора візуально «нагріватися» та «охолоджуватися».

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

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

2.3 Розробка моделей існуючого АТП актором «Студент»

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

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

– потім, отримавши від актора «Викладач» комплект вихідних комп'ютерних моделей реального ТП в рамках іншої професійної дисципліни (наприклад «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва»), поступово

формує у себе вихідне уявлення про реальний АТП (реальний ТП та реальна ІАСУ), який функціонує на основі тих же принципів, як і лабораторний АТП.

На другому етапі актор «Студент» в рамках тієї ж професійної дисципліни, використовуючи окремі проектні 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. На рисунку 2.10 показана модель виконання лабораторним ТП одного робочого циклу «виготовлення» порції хімічного продукту з двох вхідних реагентів А та В.

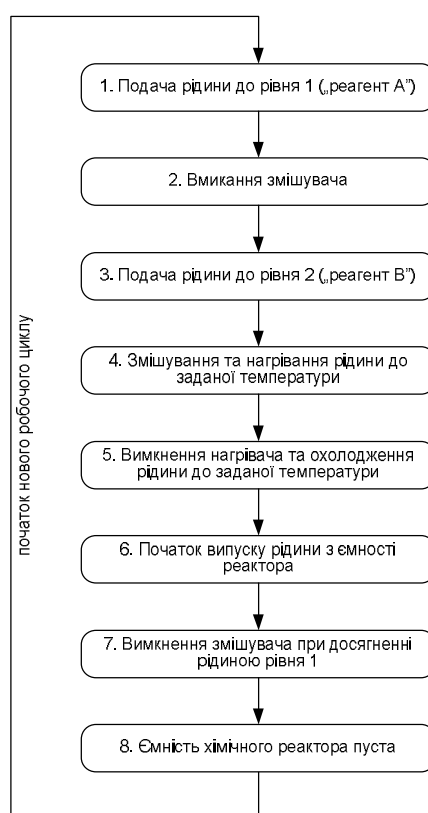


Рисунок 2.10 – Графічна модель робочого циклу лабораторного ТП

Ця модель показує послідовність технологічних операцій, які повинен здійснювати лабораторний хімічний реактор, щоб «виготовити» порцію умовного хімічного продукту за конкретним Керівним рецептом. На рисунку 2.11 показана графічна модель, яку розробляє актор «Студент», проектуючи прикладне ПЗ промислового контролера лабораторного АТП.

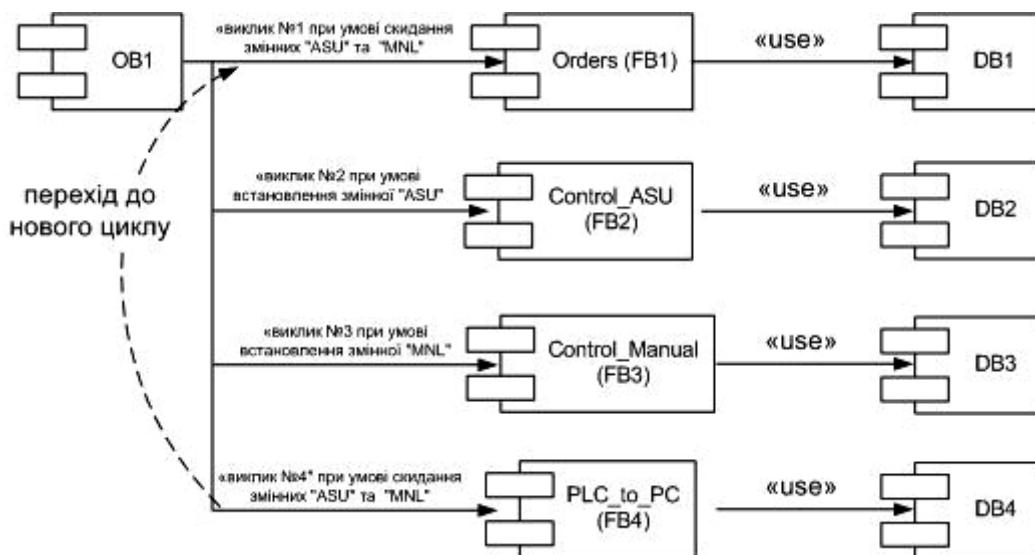


Рисунок 2.11 – Блочна структура прикладної програми ПЛК лабораторного АТП

Ця модель показує, як доцільно побудувати цю програму, щоб можна здійснювати управління лабораторним ТП відповідно до конкретної моделі його робочого циклу (див. рисунок 2.10). Обидві ці моделі актор «Студент» розробляє в рамках практичного курсу відповідної професійної дисципліни, наприклад «Технічні засоби автоматизації».

На рисунку 2.12 показана графічна модель архітектури ПЗ лабораторної ІАСУ, яка реалізує стандартні принципи управління періодичним технологічним процесом [28]. Ця модель розробляється актором «Студент» у практичному курсі іншої професійної дисципліни, наприклад «Інтегровані системи управління». Модель показує усі інструментальні програмні засоби, що мають бути встановленими на обчислювальних ресурсах лабораторної АТП, а також усі прикладні програми, які мають виконуватися на кожному з цих обчислювальних ресурсів для управління лабораторним АТП.

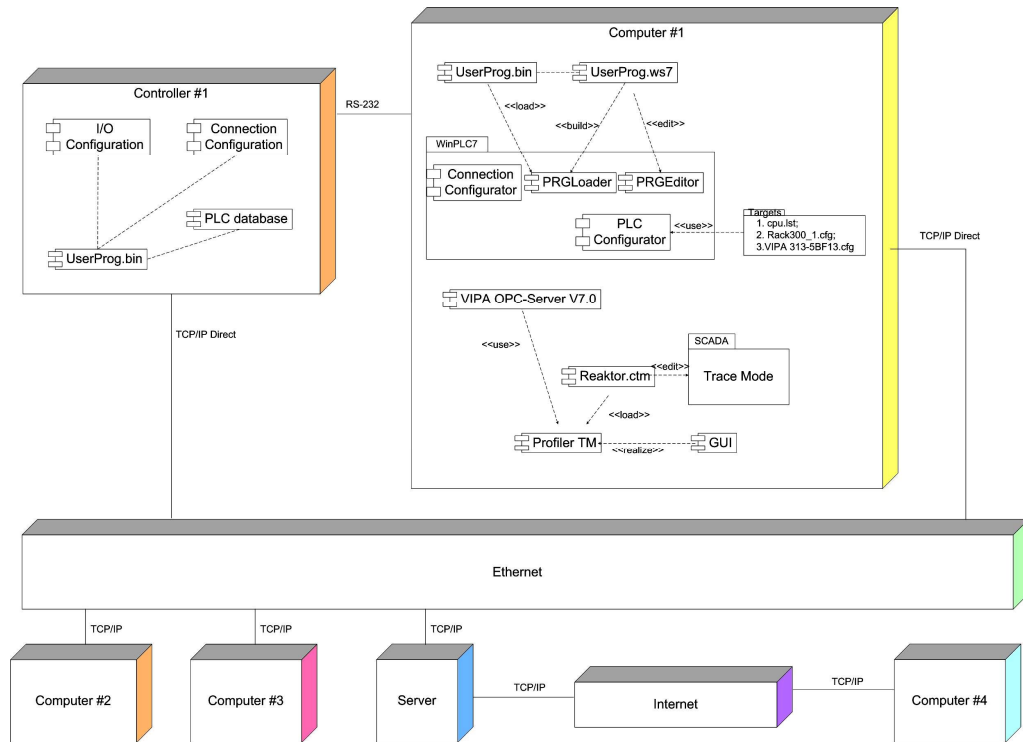


Рисунок 2.12 – Архітектура ПЗ лабораторної ІАСУ хімічним ТП

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

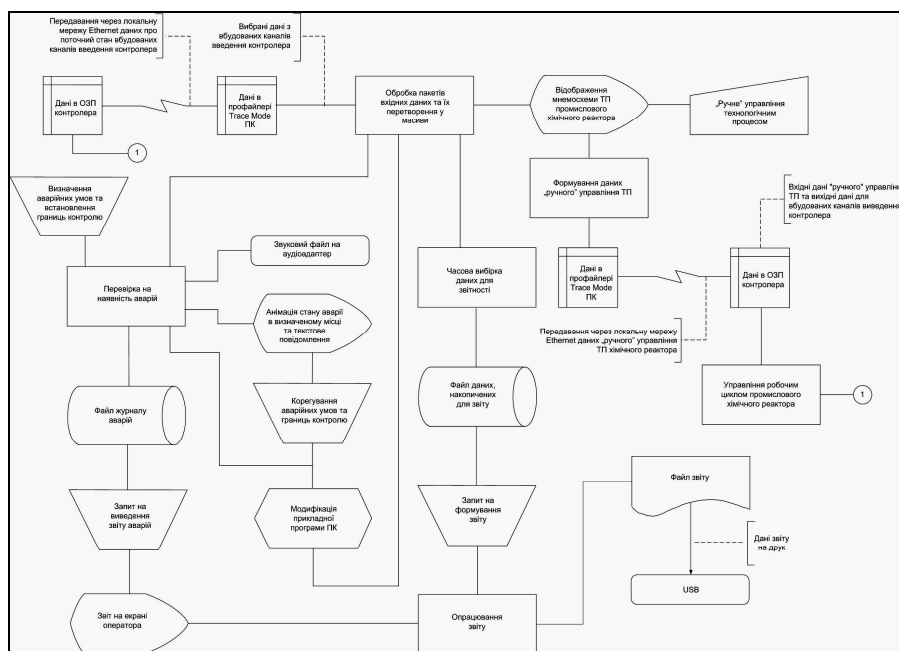


Рисунок 2.13 – Схема даних прикладного ПЗ лабораторної ІАСУ

В рамках практичного курсу професійної дисципліни «Проектування систем автоматизації» актор «Студент» також розробляє низку графічних моделей прикладного ПЗ хімічного АТП. Наприклад, на рисунку 2.14 показана графічна модель шаблону головного екрану НМІ оператора даного АТП, яка далі реалізується за допомогою інструментальної системи промислової автоматизації IDE «SCADA Trace Mode 6».

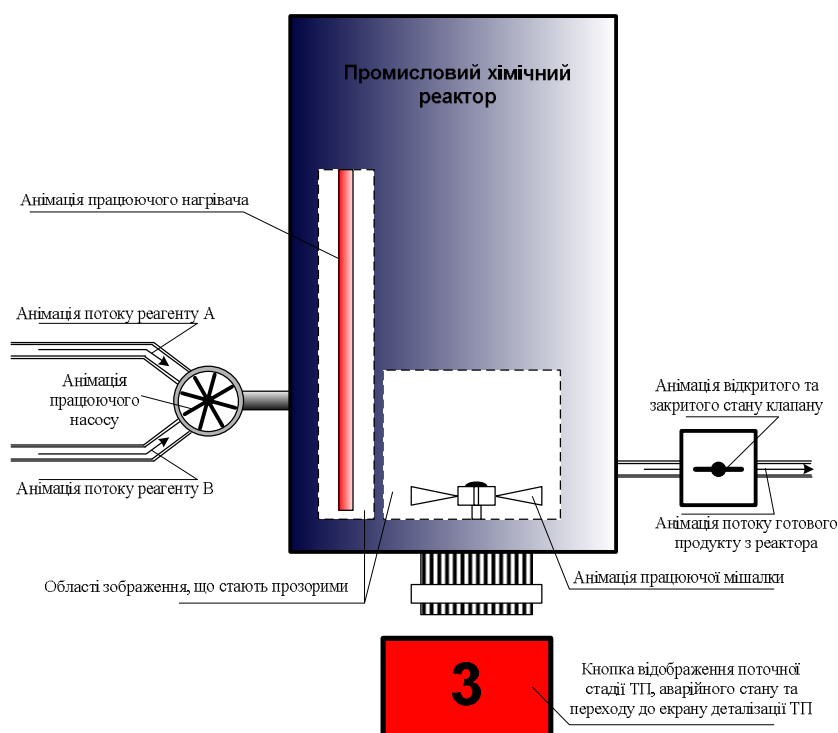


Рисунок 2.14 – Графічна модель шаблону головного екрану НМІ оператора

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

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

різних професійних дисциплін (див. рисунки 2.10 – 2.14).

На даному етапі актор «Студент» повинен розробити модель реальної ІАСУ, яка відображає, по суті, варіант реалізації лабораторної ІАСУ в умовах реального промислового підприємства. Ці умови, без сумніву, відрізняються від тих умов, які є в лабораторії. На підприємстві 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 і розмістити їх на тривимірній моделі реального ТП (рисунок 2.15).

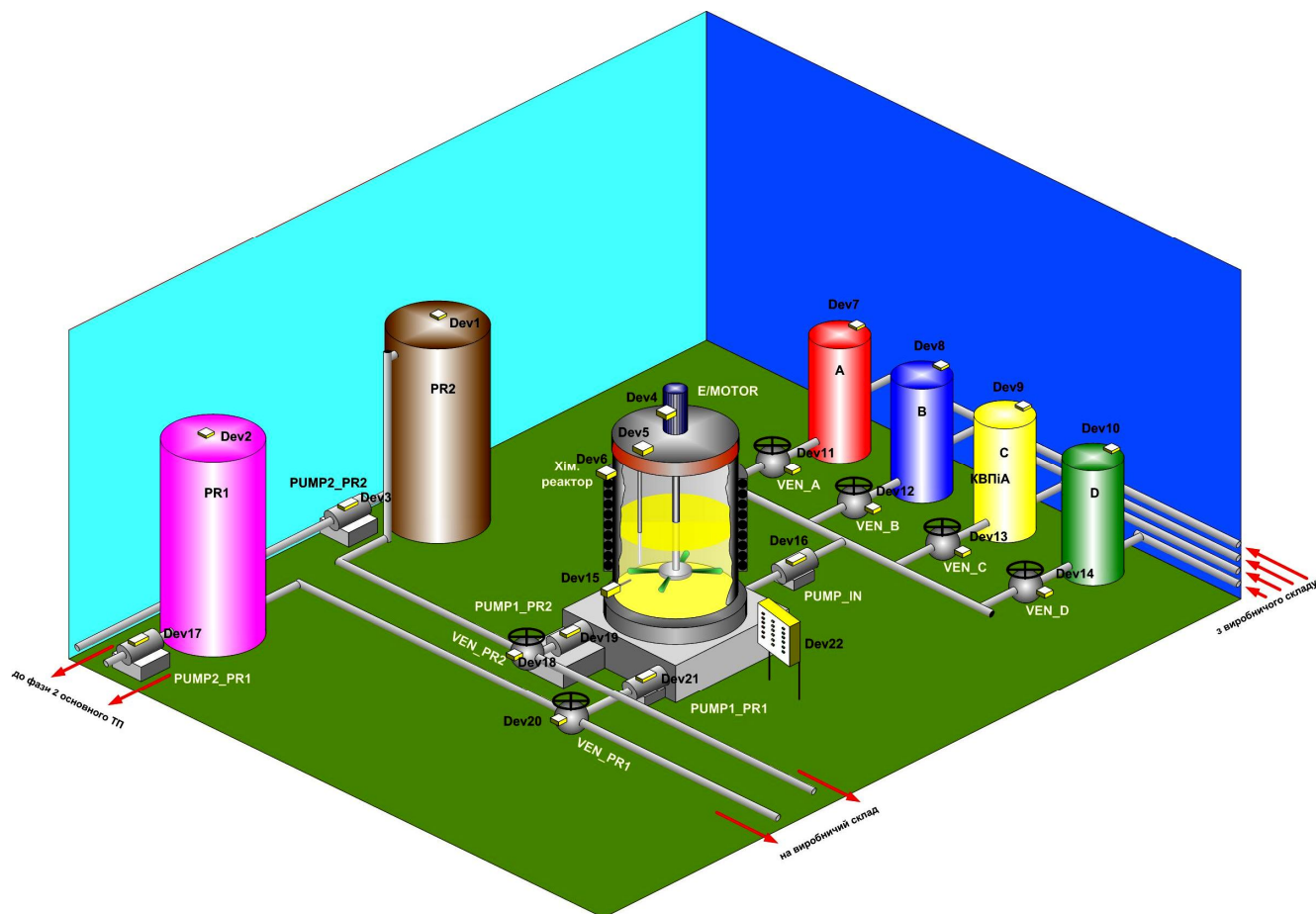


Рисунок 2.15 – Розміщення на тривимірній моделі реального ТП
технічних засобів автоматизації

На рисунку кожному технічному засобу автоматизації (ТЗА) привласнене позиційне позначення «Dev#», де # - позиційний номер. Ці ТЗА обґрунтовано вибираються актором «Студент» з відповідних каталогів промислової автоматизації, враховуючи конструктивно/технологічні характеристики промислового обладнання реального ТП, які наведені в таблиці 2.1.

Ця модель постачається текстовим переліком усіх вибраних ТЗА з означенням їх призначення, типу та основних конструктивно/технічних характеристик (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Технічні засоби автоматизації реального ТП

Поз. позначення	Призначення	Тип	Характеристики
Dev1	Рівнемір ємності з готовим продуктом PR2	...	...
Dev2	Рівнемір ємності з готовим продуктом PR1	...	...
Dev3	Контролер насосу PUMP2_PR2	...	...
Dev4	Контролер е/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	...	...
Dev12	Контролер вентиля VEN_B	...	...

Продовження таблиці 2.2

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 2.16 показаний варіант розміщення цієї арматури у приміщенні реального ТП. Ця арматура являє собою монтажні профілі, що встановлені на вертикальних опорах. Всередині цих профілів при монтажі укладаються сигнальні кабелі, що йдуть від/до промислового контролера. Біля місця розміщення відповідного ТЗА потрібний сигнальний кабель опускається з монтажного профілю і підключається до цього ТЗА. В результаті прокладки усіх сигнальних кабелів актор «Студент» отримає тривимірну модель електричного монтажу ТЗА на реальному ТП (рисунок 2.17).

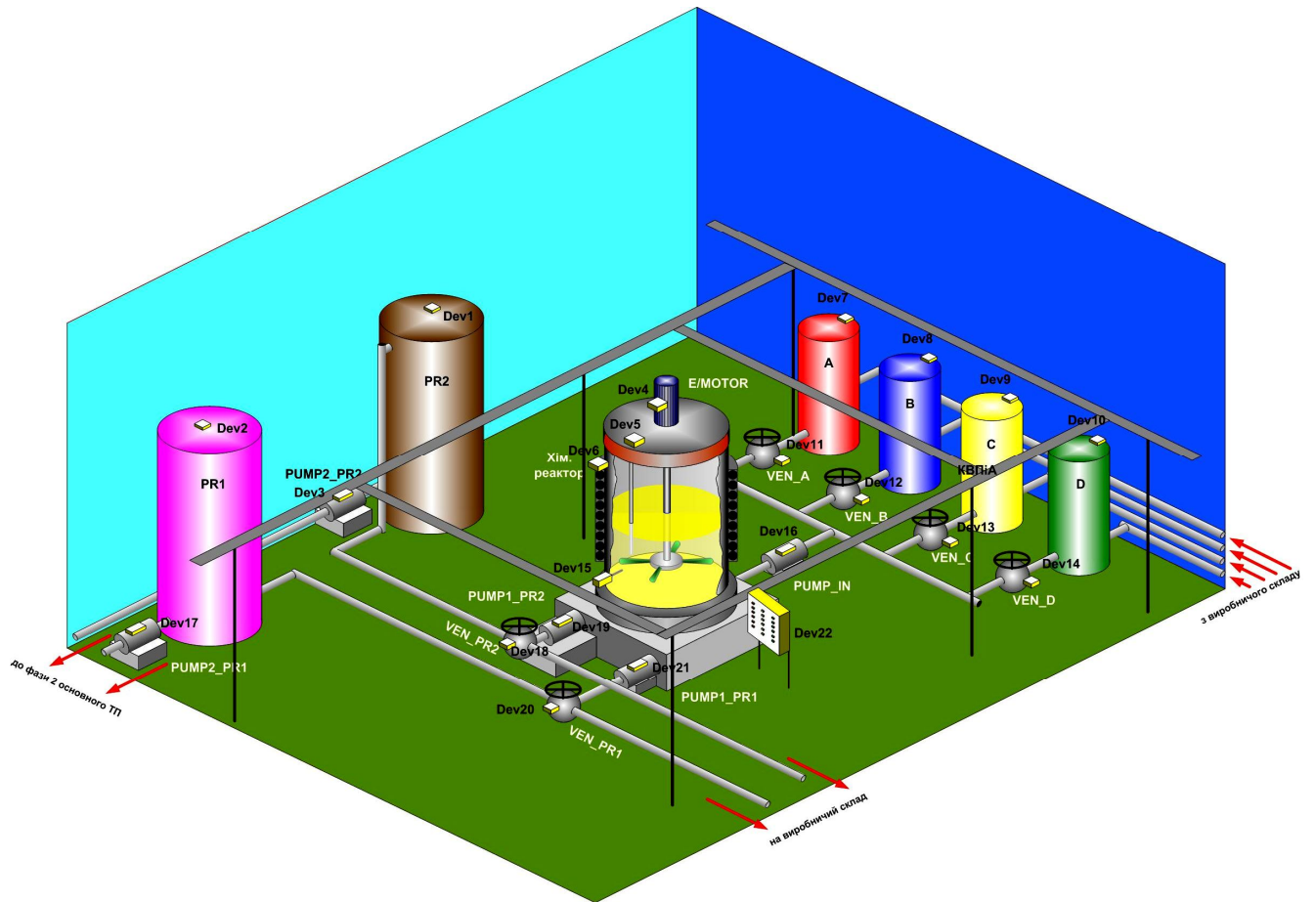


Рисунок 2.16 – Розміщення монтажної арматури на реальному ТП

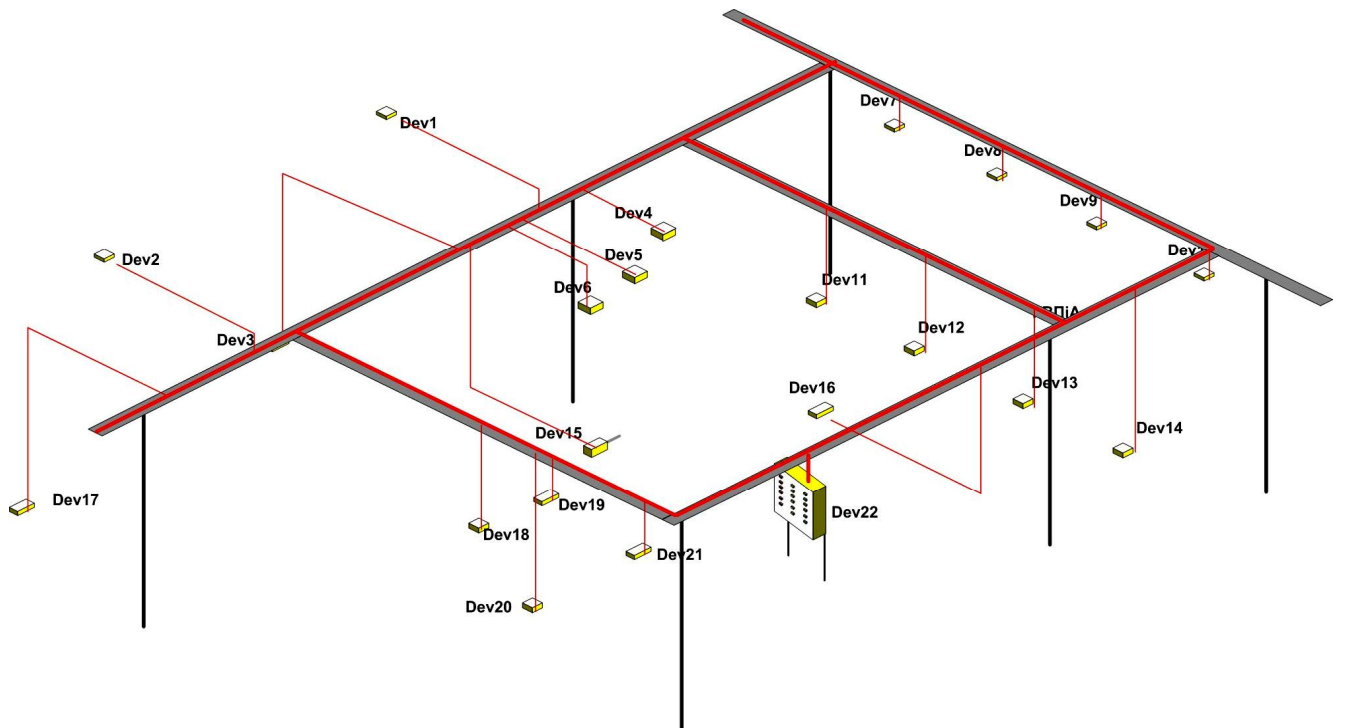


Рисунок 2.17 – Тривимірний електричний монтаж ТЗА на реальному ТП

Далі актор «Студент» доповнює тривимірну модель реального АТП програмно-технічними засобами оперативного та диспетчерського управління. Оперативне управління має здійснюватися через автоматизоване робоче місце оператора АТП, яке розташовується у окремому приміщенні. Диспетчерське управління періодичним виробництвом реального АТП має здійснюватися через автоматизоване робоче місце диспетчера виробництва, яке також повинно розміщуватися у окремому приміщенні. На рисунку 2.18 показані відповідні доповнення тривимірної моделі реального АТП.

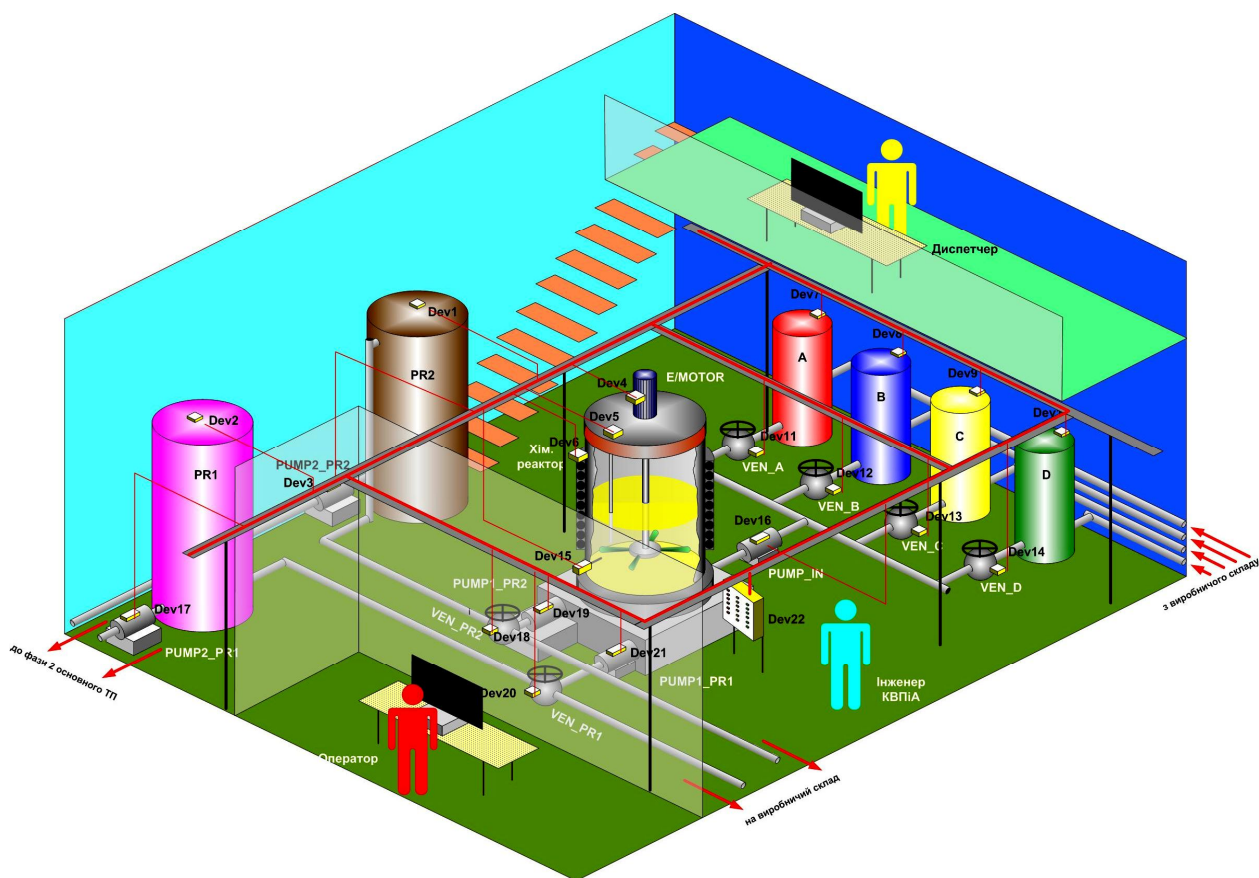


Рисунок 2.18 – Відображення на тривимірній моделі реального АТП автоматизованих робочих місць оператора та диспетчера

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

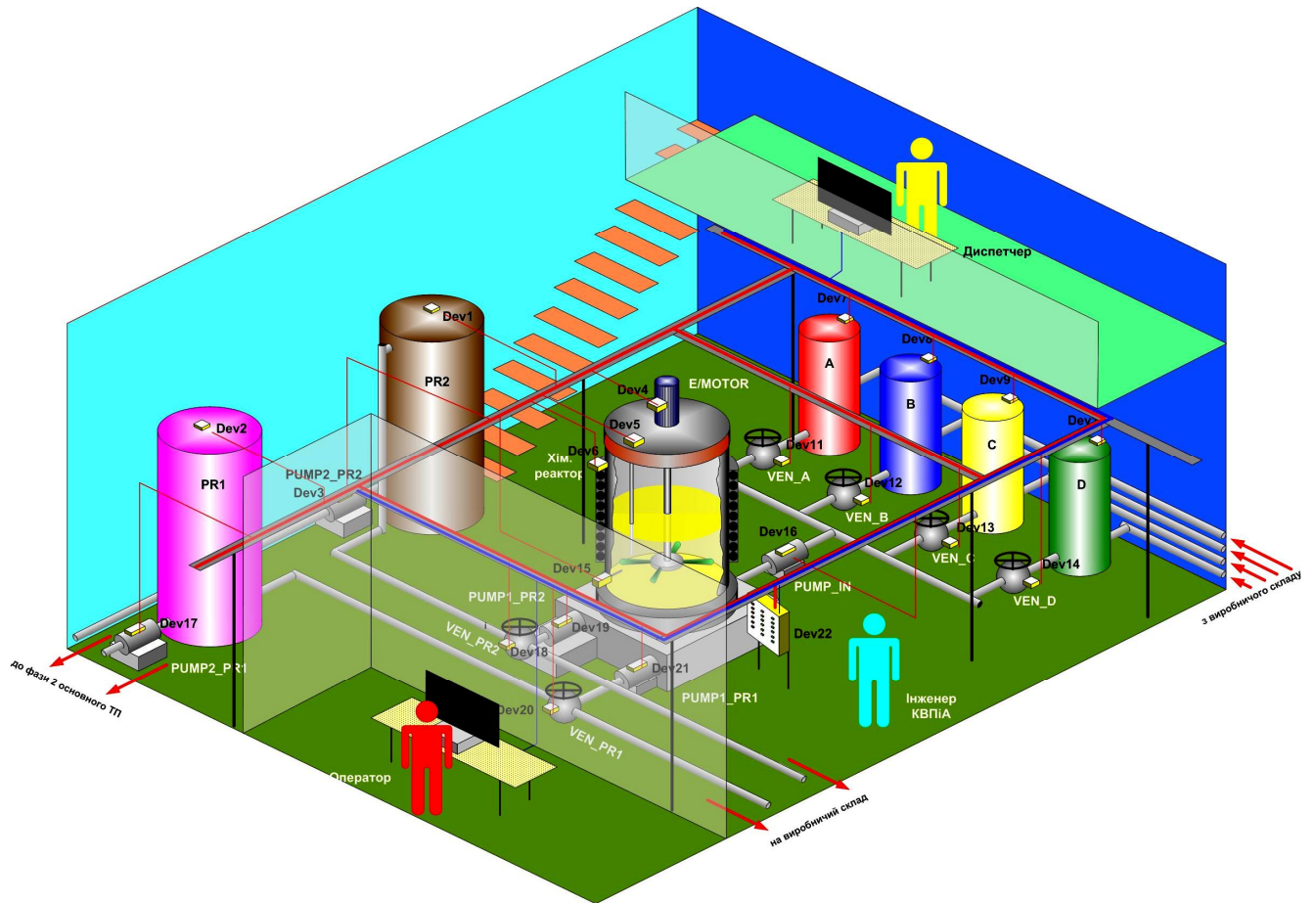


Рисунок 2.19 - Монтаж в приміщенні підприємства корпоративної цифрової мережі

На рисунках 2.18 та 2.19 показаний також обов'язковий працівник реального АТП – інженер з контрольно-вимірювальних пристроїв та автоматики (КВПіА), який має спостерігати за роботою ТЗА та всієї системи управління в цілому, а також виконувати їх ремонт та налаштування.

2.4 Висновки до розділу

В результаті виконання дослідницьких та проектних робіт у даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи була обґрунтована модель діяльності стадії «Моделювання існуючого автоматизованого ТП», які виконують і студент, і викладач, в ході практичного вивчення цифрової трансформації хімічного ТП.

Зроблений огляд та наведені приклади основних комп'ютерних моделей, що має розробляти викладач для навчально-методичного забезпечення практичного навчання. Зроблений огляд та наведені приклади комп'ютерних моделей, що має розробляти студент в ході практичного навчання.

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

3 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «АНАЛІЗ РЕАЛЬНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ТП»

3.1 Загальне бачення

Як зазначено в розділі 1, цифрова трансформація існуючого хімічного технологічного процесу, що вивчається на новому КНЗ, являє собою процес поступового перетворення студентами існуючого реального АТП, побудованого за рекомендаціями концепції комп'ютерно-інтегрованого виробництва «Індустрія 3.0» (I3.0), у досконаліший варіант даного АТП, що відповідає рекомендаціям перспективної концепції цифрового виробництва – «Індустрія 4.0» (I4.0).

У розділі 1 була також запропонована архітектура нового КНЗ, яка відображає стадії цього процесу цифрової трансформації, кожна з яких складається з обов'язкових дій студента та викладача, виконуваних у певному порядку та з залученням відповідних програмно-технічних засобів.

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

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

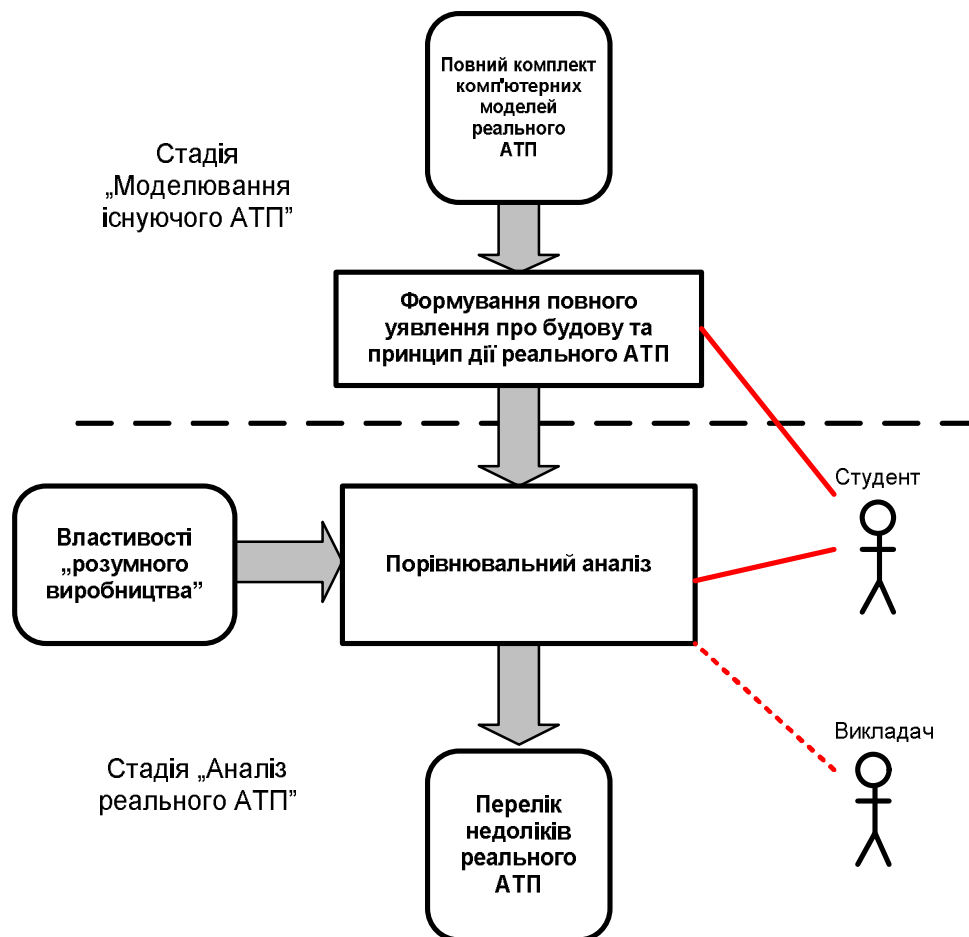


Рисунок 3.1 – Загальне бачення процесу виконання стадії

Порівнювальний аналіз може виконуватися за участі викладача, наприклад, при наданні студенту відповідних консультацій або у підготовці інформації про властивості «розумного виробництва» (у вигляді навчально-методичних матеріалів). На жаль, на сьогодні ще не сформоване остаточне визначення поняттю «розумне виробництво», де б перелічувались усі його основні властивості. Тому цю інформацію треба формувати шляхом відповідного дослідження предметної області «розумного виробництва. Це дослідження має самостійно виконувати студент, що сприятиме кращому розумінню ним процесу цифрової трансформації. Проте, готувати таку інформацію може і викладач, хоча це буде зменшувати ефективність навчання. У будь-якому випадку, після проведених досліджень властивості «розумного виробництва» (з точки зору автоматизації) можна представити у вигляді переліку його основних ознак. Складемо такий перелік.

В основі організації виробничих підприємств Індустрії 4.0 типу «розумна фабрика» лежать [29-31] 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.

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

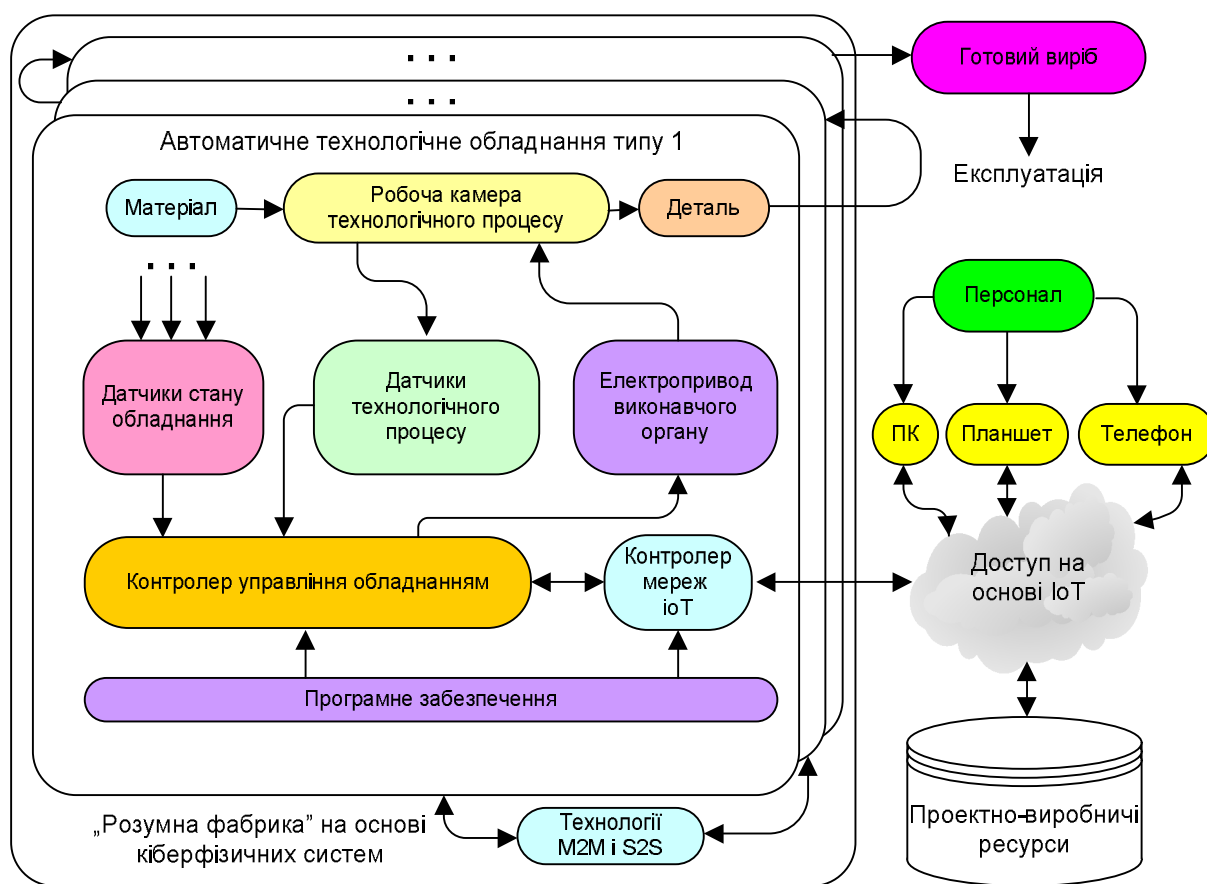


Рисунок 3.2 – Схема взаємодії персоналу й кіберфізичних систем на підприємствах І4.0 типу «розумна фабрика»

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 (металева пудра, 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.

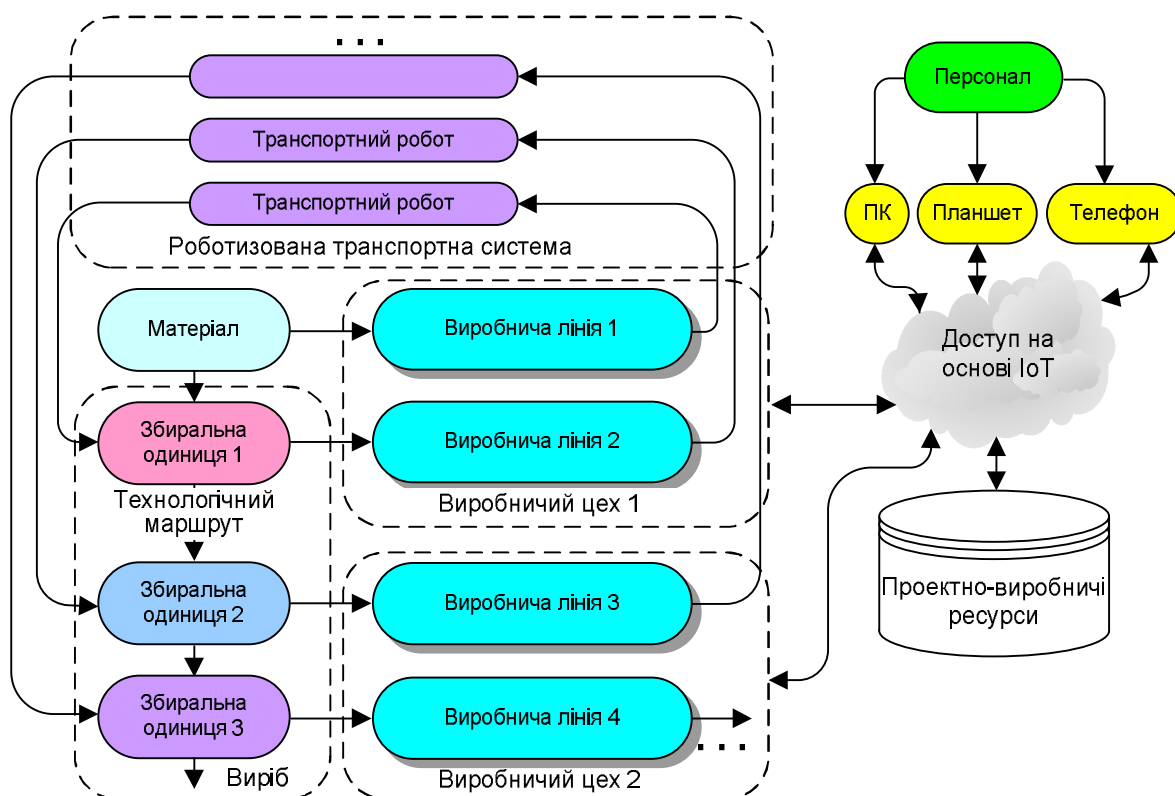
Попередню обробку даних від датчиків стану технологічного обладнання й датчиків виконання технологічних операцій забезпечує убудований контролер управління, що здійснює інформаційний обмін з контролером IoT.

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 [32], 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.



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

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

транспортною системою.

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

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

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

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

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

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

Аналізуючи цю систему автоматизації «розумного виробництва» підприємства I4.0, можна виділити основні його ознаки (таблиця 3.1).

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

Ознака	Коротка характеристика
1	2
Економічні ознаки	
Висока виробнича ефективність (КПЕ)	Конкуренція й споживчий попит впливають на показники ефективності та продуктивності виробництва. Одне з "простих" рішень підвищення ефективності – ощадливе виробництво, або швидкий вивід нової продукції на ринок. Більш складні рішення – зниження ризиків, удосконалення процесів і прогнозування показників продуктивності за допомогою об'єднання потужних можливостей віртуального середовища й реального світу, де люди використовують машини для трансформації виробництва. Тобто для безперервного вдосконалення виробництва потрібна постійна його оптимізація. При цьому недостатньо самого прагнення до безперервного вдосконалення, а необхідні ресурси й технології для досягнення цієї мети.
Нові бізнес-моделі управління виробництвом	Засновані на тім, що цінність визначається не тільки самим виробом, але й знаннями й ноу-хау, які пов'язані із цим виробом. Успішними стають ті компанії, які оперативно впроваджують знання й ноу-хау серед своїх співробітників і в ланцюжках створення цінності. При цьому ці ланцюжки мають розгортатися у мережі, які об'єднуюватимуть можливості реального й віртуального світів для розробки, впровадження й спільного використання стійких інновацій, а також для безперервного вдосконалення цих можливостей за допомогою аналітики користувальницького досвіду (горизонтальна інтеграція структурної моделі бізнесу – value networks).
Висока якість продукції	Комплексне управління якістю в реальному часі в масштабі всього підприємства. Цифрова підтримка забезпечення якості, відстеження й доступу до історичних цифрових даних про деталі, процеси й ресурси. 3. Забезпечення швидких дій по усуненню неполадок і проблем з якістю.
Технічні/функціональні ознаки	
Цифрова виробнича система	Поєднує обладнання, системи, площадки, клієнтів і партнерів. В ній зібрані цифрові дані про розробку, навчання, виготовлення й торгівлю. Вона охоплює всі галузі економіки й суспільства. Цифровізація – це засіб одержання бажаного результату, а саме гнучкого виробництва, що приносить клієнтам відмінний результат, а власникам – більш високий прибуток. Наприклад, аналіз цифрових даних (поточних чи накопичених в системі) алгоритмами штучного інтелекту (AI) веде до поглиблення знань про виробничу систему та, як наслідок, до її подальшого вдосконалення.

Продовження таблиці 3.1

1	2
Віртуалізація виробничого середовища	Віртуальне виробниче середовище, як правило, створюється й управляється на основі інфраструктури спеціальної віртуальної платформи. Ця інфраструктура дозволяє візуалізувати і контролювати у віртуальному середовищі те, що неможливо фізично побачити в реальному світі, - єдину промислову екосистему. При цьому новітні цифрові технології забезпечують можливість ефективної роботи у віртуальному виробничому середовищі.
Абсолютна гнучкість виробничих процесів	Споживчий попит може раптово змінитися, нові технології миттєво стають революційними і тому виробничі процеси повинні бути більш гнучкими й такими, що налаштовуються у відповідності зі змінами. При цьому оперативність - локальна або глобальна - стає вкрай важливою. Наприклад, швидкий вивід нової продукції на ринок є запорукою отримання максимальних прибутків. Знання типових потреб користувача й можливість адаптації до них продуктів і потоків операцій у реальному часі дають чимало переваг.
Децентралізація (Decentralization)	Перенесення децентралізованого та автономного прийняття рішень до машин та кіберфізичних систем, в тому числі, і до автономних системних елементів (модулі, системи обробки матеріалу та продукту), що розміщені де завгодно на рівні виробництва. Головною метою є надати кіберфізичним системам можливість приймати рішення без втручання централізованого управління (людини чи машини).
Здатність до взаємодії (Interoperability)	Означає можливість розповсюдження технічної інформації поза (або між) системними компонентами «розумного виробництва». Така бізнес інформація може бути далі розповсюджена між виробничими підприємствами, постачальниками та покупцями (споживачами). Таким чином, «розумне виробництво» повинно легко підключатися до глобальної мережі аналогічних виробничих систем та цифрових ланцюгів поставок.
Висока стійкість (надійність)	Розвинені функції раннього попередження аварійних/нештатних виробничих подій та й прогнозного обслуговування виробничих активів.
Здатність до безперервної й нескінченної самооптимізації	Розвивається з метою адаптації до змінюваних бізнес-цілей організації. Наприклад, впроваджує адитивне виробництво, яке дає можливість самостійно виробляти унікальні компоненти й деталі, з меншими витратами. Кіберфізичні системи (Cyber-physical systems, CPS) відіграють ключову роль в цій постійній зміні технології і процесу. Вони надають додаткових можливостей фізичним системам завдяки злиттю можливостей комп'ютерних обчислень і зв'язку з фізичними процесами. Наприклад, вони дають можливість реалізувати у фізичному світі значно складніші виробничі процеси.

Продовження таблиці 3.1

1	2
Функціональна безпека	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 безпека	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 безпека	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 «розумного виробництва» дає достатнє уявлення про його переваги перед виробництвом І3.0 в цілому. Тобто на основі цих ознак можна вже виконувати загальний порівняльний аналіз обох видів виробництв. Але для навчального порівнювального аналізу треба розробити такий його алгоритм, який би враховував структурну будову виробництв, яка включає різні компоненти – процеси, обладнання, функції, дані тощо.

3.2 Розробка алгоритму виконання аналізу

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 «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 «розумного виробництва» ідеально суміщаються саме з цією структурою, по-друге, відсутність якогось компонента структури І4.0 у складі структури існуючого реального АТП можна зразу вважати його недоліком, тобто у цьому випадку процес аналізу значно спрощується.

На даний час структурну будову «розумного підприємства» І4.0 та його «розумного виробництва» регламентують декілька стандартних моделей, які називаються референтними [33-36]. Розглянемо одну з них, що орієнтована саме на 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 (ІоТ), аналітику великих даних та інші технологічні новації у виробничих процесах і які відомі зараз під назвою «розумне виробництво», «інтелектуальне виробництво» та просто «Індустрія 4.0» (І4.0) [33]. Референтна модель надає загальну структуру та мову для пояснення та специфікації системної архітектури, що, відповідно, сприяє поліпшенню загального розуміння та системної взаємодії. При архітектурному описі цифрових виробничих платформ рівняння на референтну модель є дуже корисним, бо вона надає каркас для стандартизації відповідних технічних систем, від їх розробки, подальшої інтеграції і до їх дії.

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

подальшої розробки концепцій та технологій в рамках І4.0.

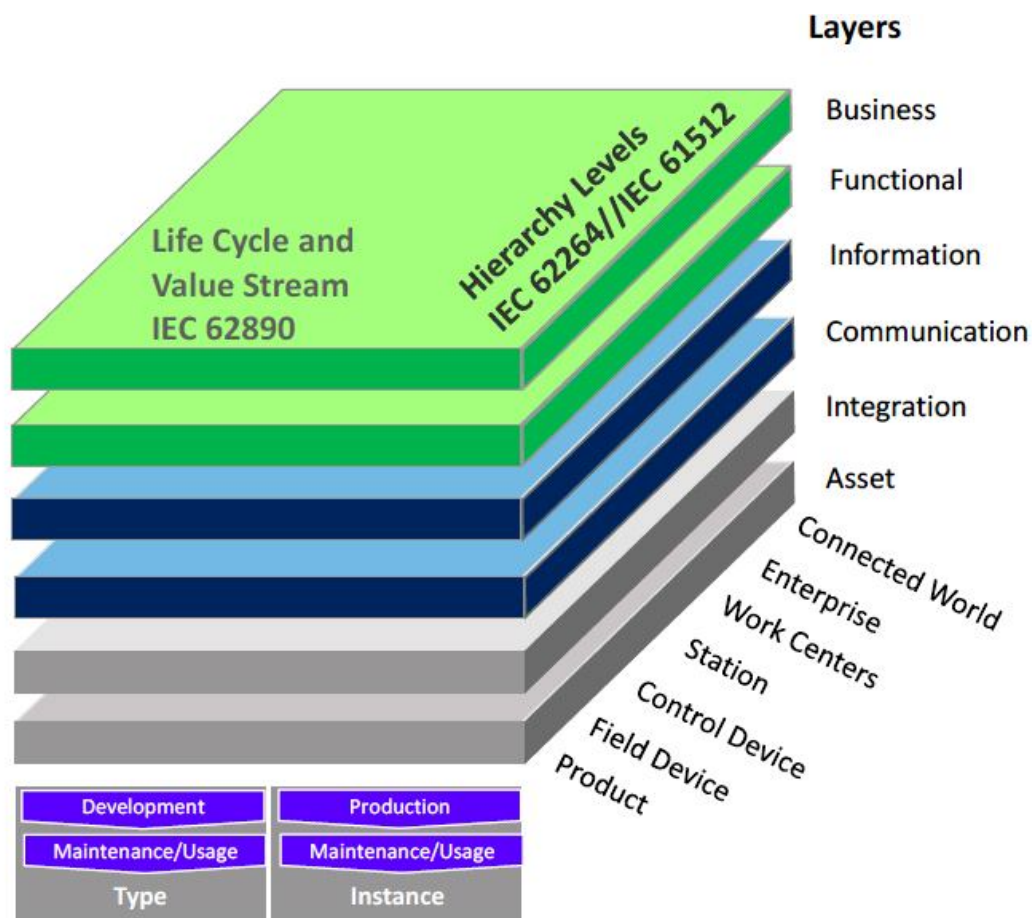


Рисунок 3.4 - Референтна архітектурна модель RAMI 4.0

Ця модель представляє будь-який технічний актив (ресурс) «розумної фабрики», що може бути відображений у цифровому світі, як компонент І4.0. Компонент І4.0 це є компонент виробничої системи, навіть у вигляді цифрових даних, здатний взаємодіяти з іншими компонентами І4.0 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 І4.0, яка містить відповідну інформацію для означення конкретного активу (ресурсу) та його технічної функціональності. В результаті, компоненти І4.0 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».

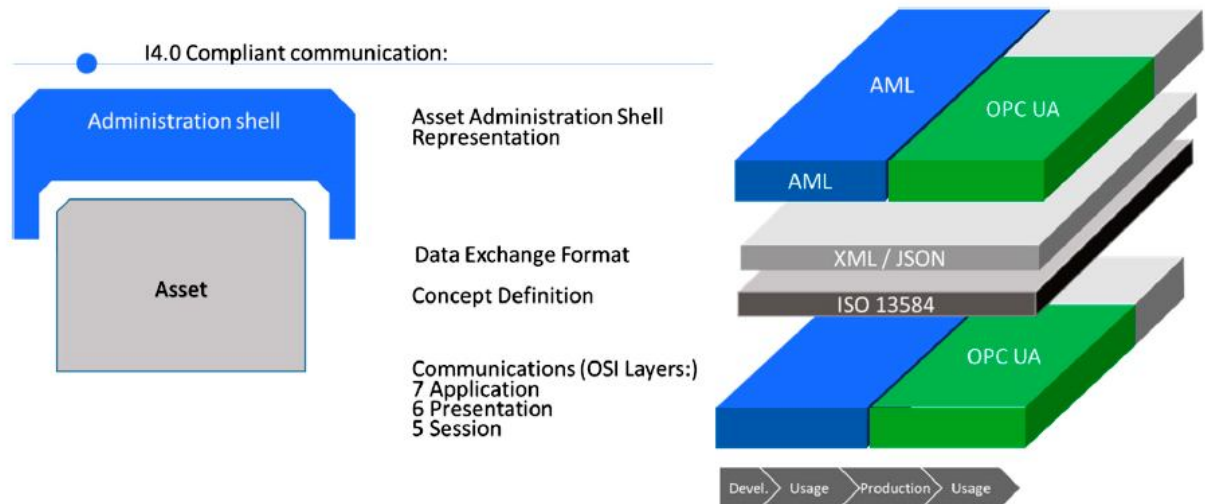


Рисунок 3.5 – Стек комунікаційного протоколу для компонента I4.0

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 (ІТ) проекту конкретного І4.0 рішення.

Кожний шар збирає в собі різні частини системи, що призначені для виконання управління (схеми даних, комунікації, апаратні засоби і т.д.), забезпечуючи сервіси для верхнього шару та об'єднуючи дії сервісів нижнього шару. В архітектурній моделі різні шари означені так:

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

2). Функціональний шар (Functional): забезпечує середовище виконання та

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

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

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

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

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

Таким чином, в процесі цифрової трансформації 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 починає виконувати дану стадію цифрової трансформації, маючи повний комплект комп'ютерних моделей реального АТП та сформоване особисте уявлення про його будову та принцип дії.

В першу чергу студент повинен згрупувати усі наявні в реальному АТП архітектурні компоненти по двом висям архітектурної моделі RAMI4.0 – «Ієрархічні рівні» (Hierarchy Levels) та «Шари» (Layers). В результаті він отримає комплект груп компонентів існуючого реального АТП, кожна з яких має своє призначення (роль) у системі автоматизації, тобто забезпечує потрібну її властивість (властивості).

Далі студент має розглядати кожний компонент у кожній групі послідовно на різних стадіях його життєвого циклу та потоку формування цінності (Life Cycle & Value Stream). При цьому на кожній стадії виконується порівняння або властивості самого компоненту, або властивості, що цей компонент надає існуючому реальному АТП, з властивостями «розумного виробництва» (в цілому або його відповідного компонента).

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

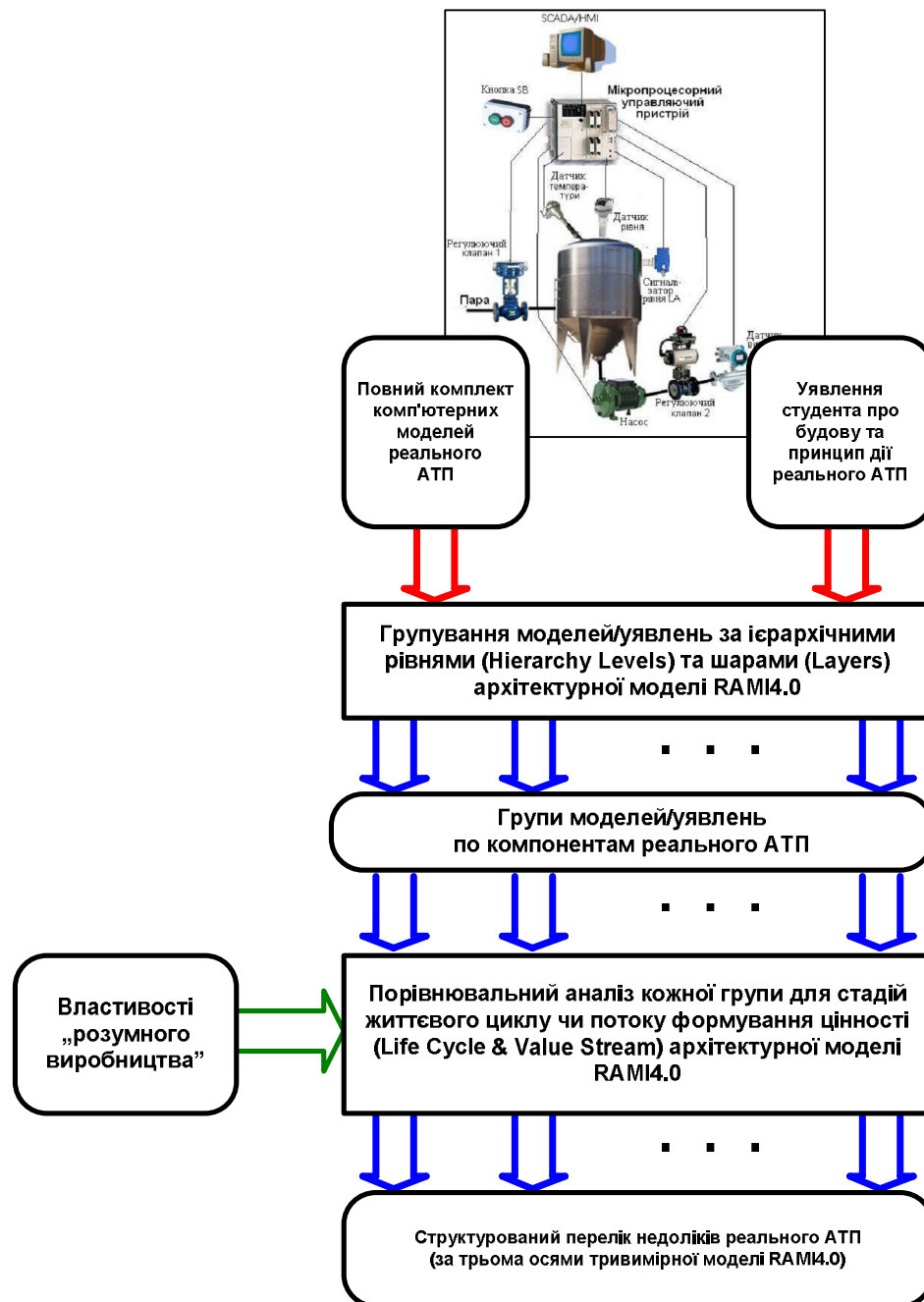


Рисунок 3.6 – Алгоритм виконання стадії «Аналіз реального АТП»

3.3 Приклад виконання аналізу

Розглянемо приклад використання запропонованого алгоритму. Візьмемо довільну частину існуючого реального АТП, ізометрична модель якої показана на рисунку 3.7. Вона стосується виконання робочої операції перекачування реагенту D з ємності локального зберігання через вентиль та насос до хімічного реактора.

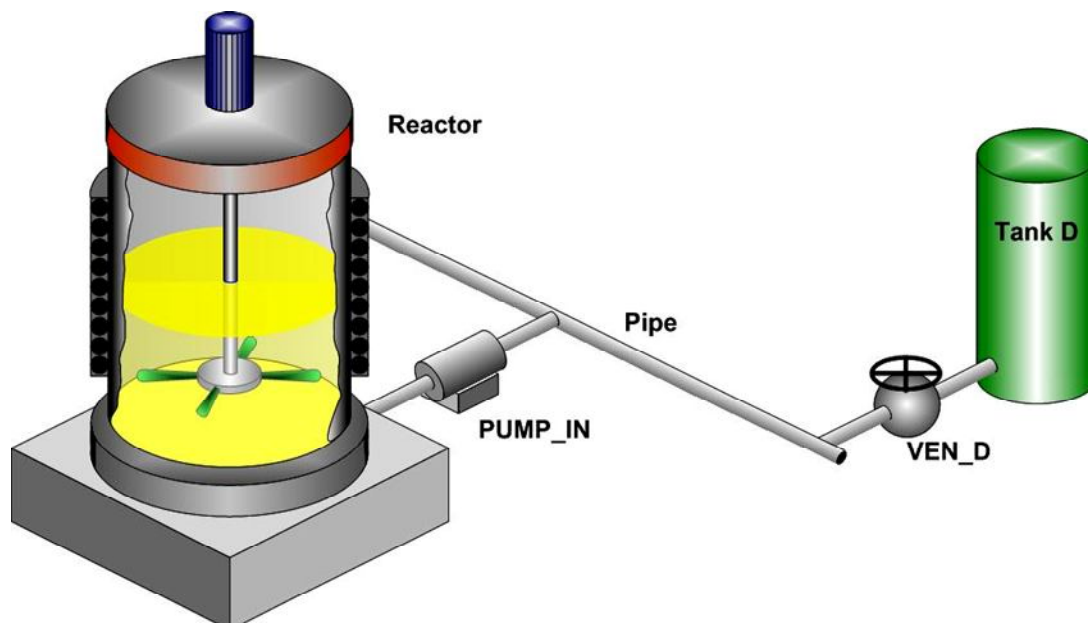


Рисунок 3.7 – Частина реального АТП для порівняльного аналізу

Спочатку, згідно з описаним вище алгоритмом, виділимо усі складові компоненти існуючого 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, кожна з яких відповідає одному з ієрархічних рівнів (Hierarchy Levels) моделі RAMI4.0 (рисунок 3.8 та додаток Б). Отримаємо дві групи – «Product» (Reactor, Tank D, Pipe) та «Field Device» (VEN_D, PUMP_IN).

Далі переходимо до вісі «Layers» моделі RAMI4.0, означуючи на ній відповідні активи/ресурси реального АТП, які важливі для ІТ-відображення реального АТП. Для нашого прикладу, беручи до уваги мету цих дій, ми переносимо усі п'ять компонентів з двох ієрархічних рівнів на 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 такого керуючого пристрою немає.

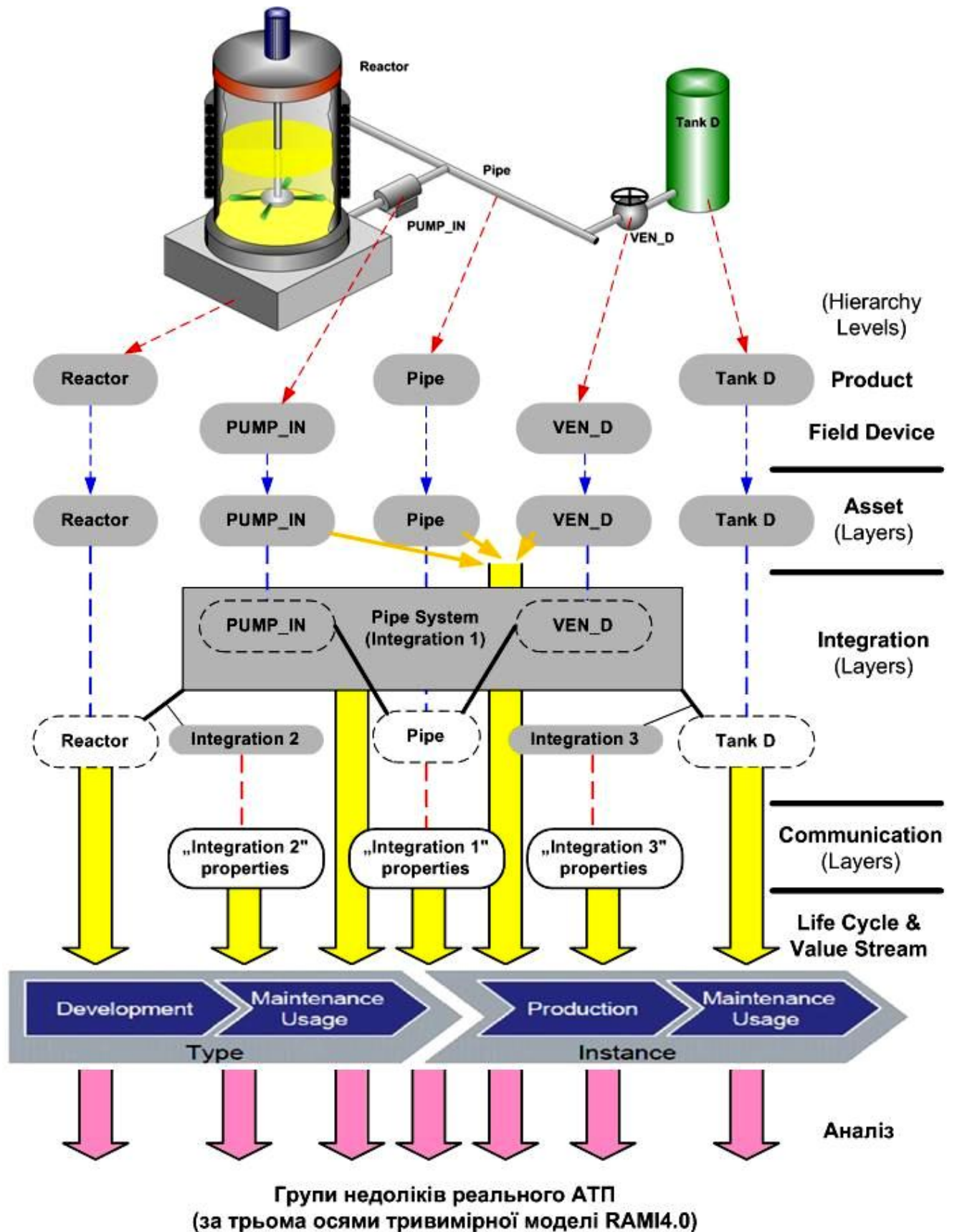


Рисунок 3.9 – Приклад виконання порівнювального аналізу для фрагмента реального АТП

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

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

В дійсності, у шарі «Integration» для АТП «розумного виробництва» має відобразитися його інтеграція з віддаленими у мережі Інтернет іншими «розумними виробництвами» або з НМІ працівників. У нашому ж випадку ми дещо змінюємо призначення цього шару з метою здійснити далі всебічний порівнювальний аналіз реального АТП, для якого модель RAMI4.0 з самого початку і не призначалась.

Далі переходимо на шар «Communication», де описуємо тим чи іншим способом властивості трьох інтеграційних зв'язків, що виділені у шарі «Integration» (виконуємо їх специфікацію).

Таким чином, у нас сформований такі групи компонентів реального АТП 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» IT – представлення системи автоматизації);
- «Integration 1», «Integration 2», «Integration 3», «Pipe System» (компоненти шару «Integration» вісі «Layers» IT – представлення системи автоматизації);
- «Integration 1 properties», «Integration 2 properties» та «Integration 3 properties» (компоненти шару «Communication» вісі «Layers» IT – представлення системи автоматизації).

Будемо далі проводити порівнювальний аналіз компонентів кожної групи для стадій їх життєвого циклу та потоку формування цінності, формуючи

поступово перелік недоліків існуючого реального АТП. Для прикладу наведемо тільки окремі з цих недоліків, які можна виявити в результаті порівнювального аналізу.

Так, компонент «Reactor», як частини інтегрованої системи автоматизації (вісь ієрархічних рівнів), для стадії використання (Usage) у порівнянні з властивістю/ознакою «Висока виробнича ефективність (КПЕ)» АТП «розумного виробництва» (див. таблицю 3.1) має такі недоліки:

- не оптимальне за витратами енергії та часу виконання робочого циклу виготовлення порції готової продукції (цикл виконується за жорсткою логікою, що визначена технологічним регламентом, і не залежить від поточної кількості вхідних реагентів, їх фізико-хімічних властивостей, порядку їх закачування в реактор, реального стану змішаної та нагрітої суміші);

- якість готового продукту для кожної порції можна контролювати, але, враховуючи попередній недолік, неможливо точно визначити причину браку – або неякісне виконання технологічних процедур (змішування, нагрівання, часові затримки та інтервали, забруднення вхідного трубопроводу тощо), або неякісний вхідний реагент від конкретного постачальника, або порушення в роботі самого реактора.

Той же компонент «Reactor», як частина ІТ - представлення системи автоматизації (шар «Asset»), для стадії проектування (Development) у порівнянні з властивістю/ознакою «Віртуалізація виробничого середовища» АТП «розумного виробництва» (див. таблицю 3.1) має такі недоліки:

- повністю відсутня цифрова модель реактора, яка дозволила б оптимізувати його конструкцію для періодичного хімічного виробництва, розрахованого на часті зміни технологічних процедур виготовлення різних видів та порцій готової продукції;

- відсутні цифрові моделі фізичних процесів, які протікатимуть у реальному реакторі вибраної конструкції, із-за чого неможливо вже на стадії проектування визначити оптимальні параметри технологічних процедур для різних видів продукції та вихідних компонентів.

Компонент «Integration 1», як частина ІТ - представлення системи автоматизації (шар «Integration»), для стадії використання (Usage) у порівнянні з властивістю/ознакою «Висока якість продукції» АТП «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.

При розгляді же компоненту «Integration 3 properties» як частини ІТ – представлення системи автоматизації (шар «Communication») у порівнянні з властивістю/ознакою «Абсолютна гнучкість виробничих процесів» АТП «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.

Усі перелічені недоліки конкретного фрагменту існуючого реального АТП насправді складають невелику частку цих недоліків, які можна виявити шляхом ретельного порівнювального аналізу усіх компонентів даного АТП. Тобто навчальний потенціал у даній стадії виконання цифрової трансформації хімічного АТП дуже значний.

3.4 Висновки до розділу

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

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

4 ЗАКЛЮЧНА СТАДІЯ ПРАКТИЧНОГО ВИВЧЕННЯ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ РЕАЛЬНОГО АТП

4.1 Означення основних діяльностей

На цій стадії практичного вивчення процесу цифрової трансформації реального хімічного АТП 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).

Виконання даної стадії практичного вивчення починається з етапу «Пошук способу цифрової трансформації існуючого реального хімічного АТП». Цей АТП побудований за концепцією I3.0 і тому має суттєві недоліки, що виявлені на попередній стадії. Тому в результаті його цифрової трансформації потрібно отримати більш досконалий хімічний 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 хімічного АТП, вибравши відповідний спосіб чи способи цифрової трансформації, він має обґрунтовано вибрати I4.0 цифрову технологію чи технології, які дозволять реалізувати ці вдосконалення. 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 проектного практикуму.

Коли потрібна технологія або технології цифрової трансформації будуть обґрунтовано вибрані, то студент перейде до виконання наступного етапу – «Розробка концепції цифрової трансформації реального хімічного АТП». На цьому етапі для представлення свого бачення цієї концепції студент може

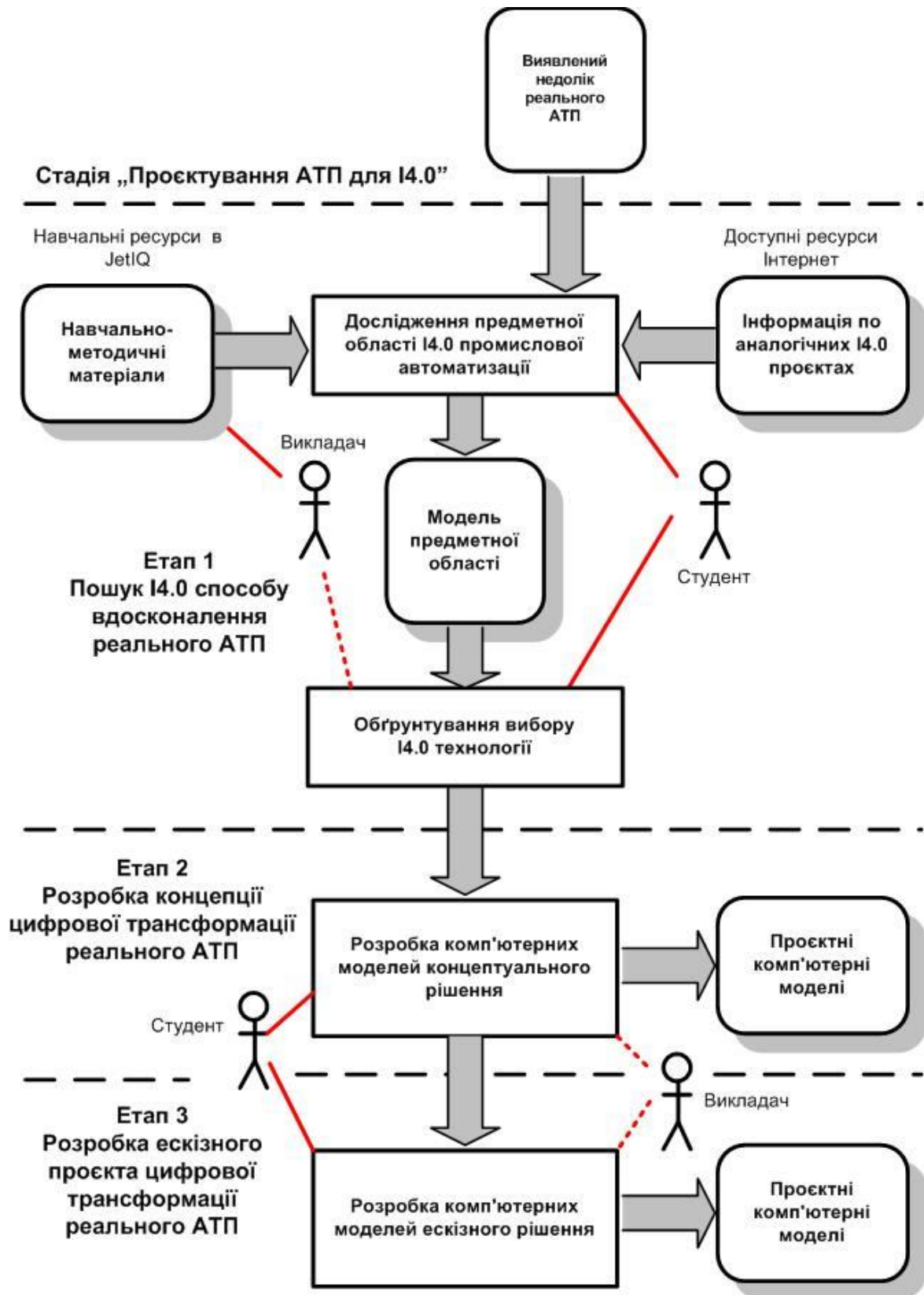


Рисунок 4.1 – Модель діяльності заключної стадії практичного вивчення цифрової трансформації реального ATP

використовувати як доступні хмарні сервіси цифрового моделювання того чи іншого виду, так і наявні локальні програмні засоби такого моделювання. Готовий проєкт, що відображає запропоноване концептуальне рішення цифрової трансформації реального хімічного АТП, 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 хімічного АТП продовжити практичне вивчення його цифрової трансформації, виконуючи наступний його етап – «Розробка ескізного проєкту цифрової трансформації реального хімічного АТП». Цей етап характеризується більшою деталізацією проєктних рішень і також передбачає активне використання студентом як доступних хмарних сервісів цифрового моделювання того чи іншого виду (наприклад з цифровою симуляцією поведінки трансформованого АТП), так і наявних локальних програмних засобів такого моделювання. Результатом діяльності студента на цьому етапі стане ескізний проєкт цифрової трансформації реального хімічного АТП, який повинен бути представлений у вигляді відповідних комп'ютерних моделей статичної та динамічної трансформованого хімічного АТП. Усі розроблені студентом комп'ютерні моделі ескізного проєкту повинні мати формат, що дозволить викладачу без проблем переглядати їх або на комп'ютерах навчальної лабораторії, або на доступних хмарних сервісах цифрового моделювання, або за допомогою наявних локальних програмних засобів моделювання. Таким чином, ескізний проєкт стане заключним результатом практичного вивчення цифрової трансформації реального хімічного АТП 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 процесом поступового її осмислення студентом, в результаті чого обсяг накопичених студентом теоретичних знань має перерости у відповідну якість – здатність самостійно використовувати ці знання при практичному вирішенні конкретної задачі цифрової трансформації.

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

На рисунку 4.2 наведений варіант побудови такої графічної концептуальної моделі предметної області I4.0 промислової автоматизації. В якості відправної точки її будовання вибране класичне означення промислової кіберфізичної системи (КФС), яка є фундаментом промислової автоматизації за концепцією I4.0, – «Кіберфізична система промислової автоматизації – це людська праця, «розумні» машини й транспорт, інтегровані в єдиному цифровому просторі за допомогою мереж, «розумних» пристроїв, сенсорних систем, аналітичних платформ і хмарних обчислень» [37]. Усі наведені у цьому означенні поняття (базові об'єкти) зв'язані між собою класичними відношеннями (базові «зв'язки»), які відображені на класичній графічній моделі предметної області промислових КФС. Ця класична модель на рисунку 4.2 розміщена в середині моделі у площині базових об'єктів та «зв'язків» I4.0.

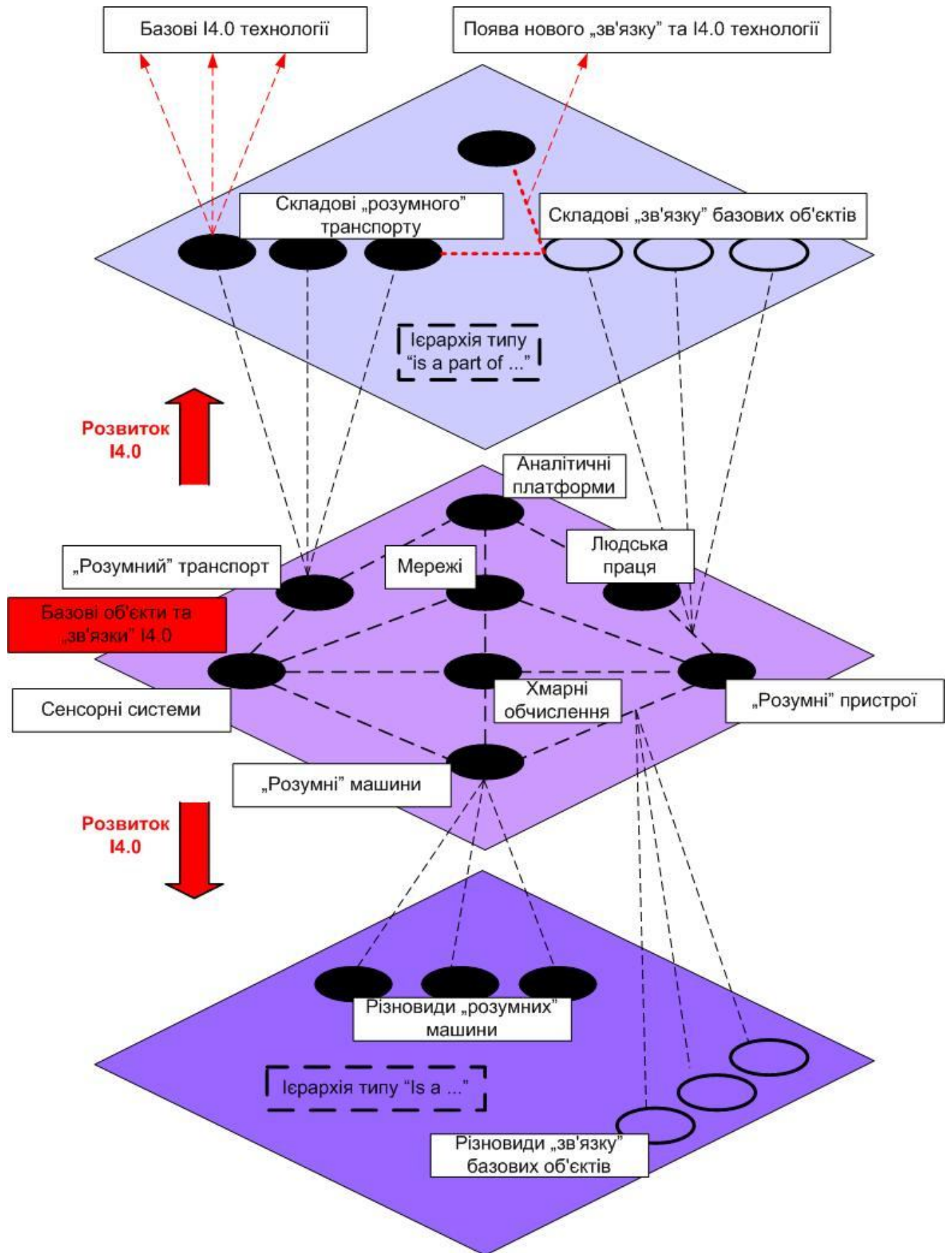


Рисунок 4.2 – Варіант графічної концептуальної моделі предметної області I4.0 промислової автоматизації

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

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

Зверху в моделі на рисунку 4.2 поміщена площина, у якій відображаються складові базових І4.0 об'єктів та «зв'язків». Тобто ці відображення зв'язані з базовими об'єктами та «зв'язками» через ієрархію типу «is a part of ...» («є частиною ... (чогось)»). Це найбільш змінювана за контентом область даної моделі, бо швидка поява нових цифрових технологій та розширення областей цифрової трансформації промислового виробництва призводять до інших технічних рішень вихідних базових І4.0 об'єктів та «зв'язків». Наприклад, нещодавно з'явилося нове поняття, яке означено як «АІоТ», тобто додані «розумні» пристрої автоматизації, які підключені до Інтернету речей (одна складова) 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 концептуальну модель предметної області? По-перше, в ході оброблення інформації він вже може виявляти практичні задачі, які вирішувались при цифровій трансформації аналогічних АТП. При цьому він буде бачити у який спосіб вирішувались проблеми цих АТП (шлях цифрової трансформації). По-друге, студент буде бачити, які саме цифрові технології вирішують аналогічні задачі (на рисунку 4.2 показано угорі). По-третє, коли кількість осмисленої інформації перейде у якість, то студент зможе генерувати і власні ідеї.

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

Таблиця 4.1 – Способи реалізації головних ознак «розумного виробництва»

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

Продовження таблиці 4.1

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

Продовження таблиці 4.1

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

Продовження таблиці 4.1

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

Продовження таблиці 4.1

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

4.3 Ескізний проєкт початкової цифрової трансформації АТП

Одним з перших кроків по шляху цифрової трансформації існуючого реального АТП може бути проєкт, що має на меті надання йому такої властивості/ознаки «розумного виробництва» як «Здатність до взаємодії (Interoperability)». В результаті існуючий реальний АТП отримає можливість розповсюдження технічної та бізнес інформації поза своїми системними компонентами через глобальну мережу аналогічних виробничих систем та цифрових ланцюгів поставок.

Однією з найбільш розповсюджених цифрових технологій, за допомогою якої можна вирішити таку проєктну задачу, є «Хмарні платформи промислового Інтернету речей (ІоТ)». Одну з таких платформ, а саме «ThingWorx Foundation» від компанії PTC [38, 39], ми на практиці вивчали в дисципліні «Промисловий Інтернет речей» магістерського рівня підготовки. Тому для ескізного проєктування цифрової трансформації існуючого реального АТП застосуємо саме цю хмарну платформу. Хмарна платформа «ThingWorx Foundation» для комунікацій через глобальну мережу використовує промислову комунікаційну платформу «KEPServerEX» [40-42], яка створює єдине джерело даних промислової автоматизації для всіх додатків прикладної задачі, що може мати будь-який масштаб (рисунок 4.3).

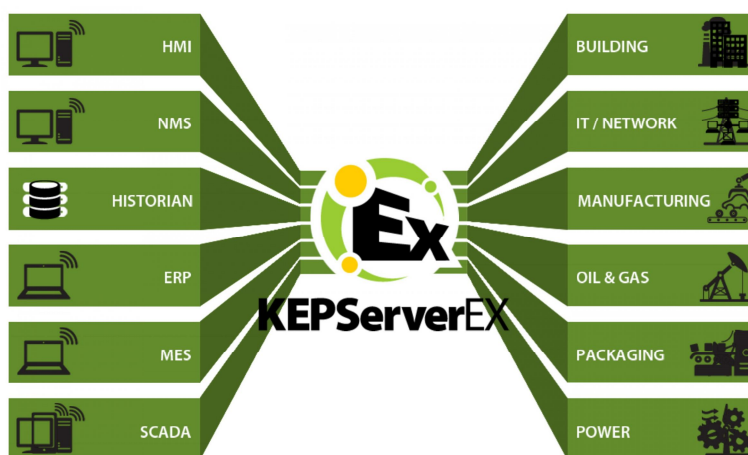


Рисунок 4.3 - Призначення комунікаційної платформи «KEPServerEX»

Архітектура цієї комунікаційної платформи дозволяє користувачам з'єднувати, налаштовувати, виконувати моніторинг та управління різними автоматичними пристроями та програмними додатками через єдиний інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. «KEPServerEX» використовує OPC (промисловий стандарт обміну даними в системах управління) та протоколи інформаційних систем (такі, як SNMP, REST, ODBC, Web-протоколи) для забезпечення користувачів єдиним джерелом виробничих даних (рисунок 4.4).

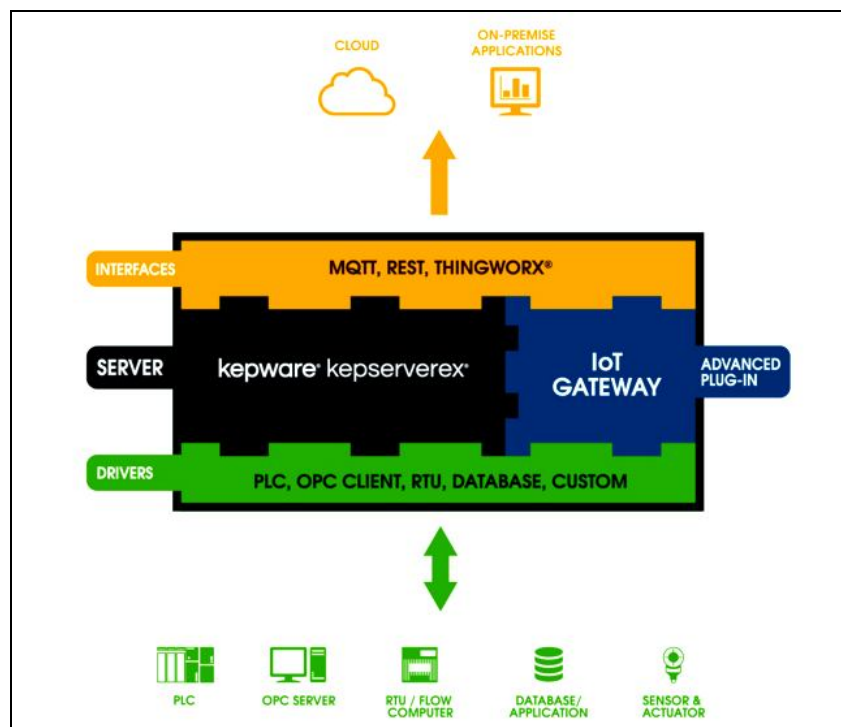


Рисунок 4.4 – Загальна архітектура комунікаційної платформи «KEPServerEX»

Для обміну цифровими даними між комунікаційною платформою «KEPServerEX», розгорнутою в рамках локальної промислової системи автоматизації, та додатками користувача, реалізованими на хмарній платформі ПоТ, використовується спеціальний сервер «IoT Gateway». Він у реальному масштабі часу реалізує такий інформаційний обмін у формі безшовного потоку даних. Сервер "IoT Gateway" включає в себе спеціальний агент «ThingWorx Agent» для максимально швидкої передачі промислових даних з технологічного рівня до хмарної платформи «ThingWorx Foundation» за захищеним бінарним

протоколом «ThingWorx AlwaysOn». На рисунку 4.5 показана схема взаємодії цього агента "IoT Gateway" з іншими компонентами системи.

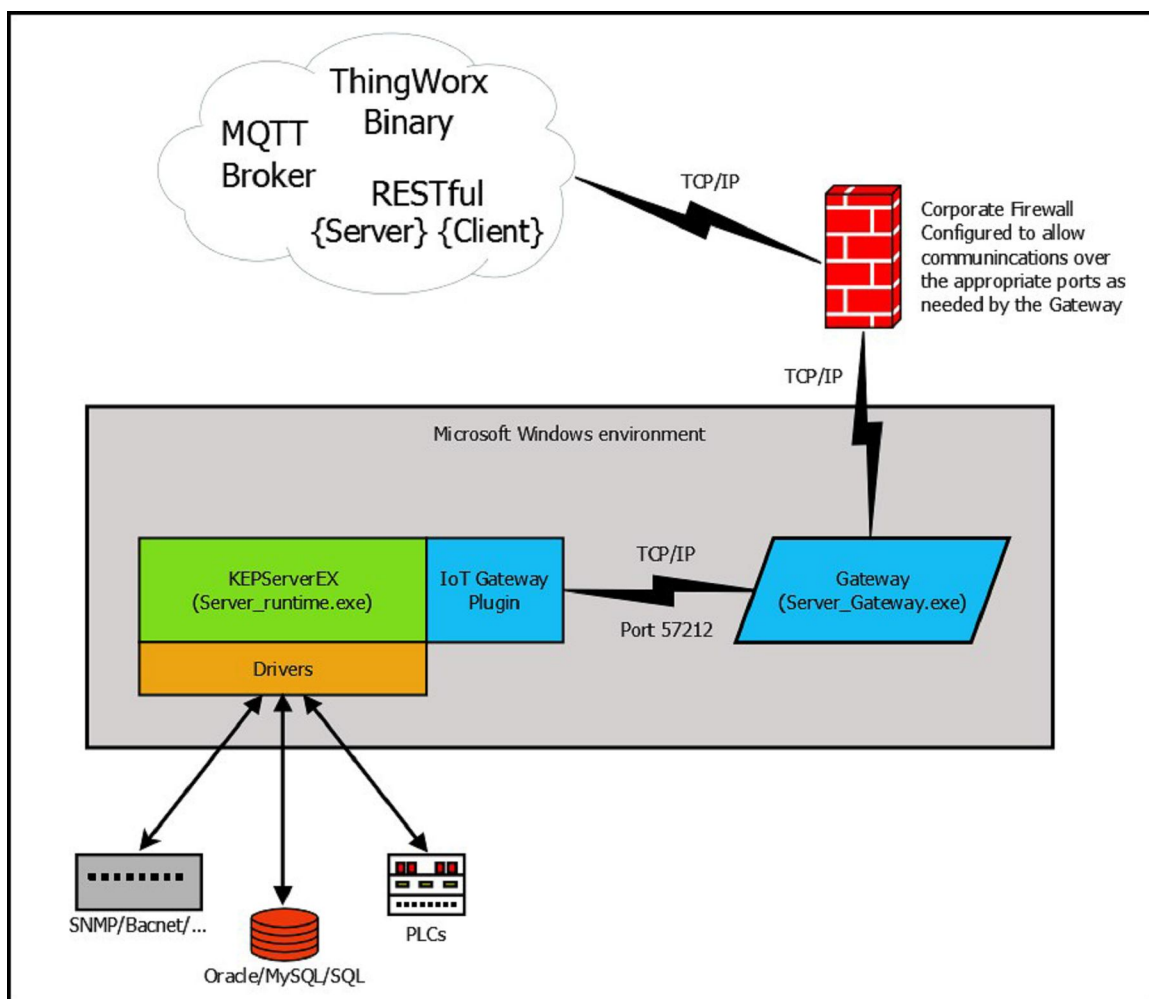


Рисунок 4.5 – Схема взаємодії агента "IoT Gateway" з іншими компонентами системи автоматизації

Таким чином, використовуючи усі описані вище програмні засоби хмарної платформи IoT «ThingWorx Foundation», можна розробити ескізний проєкт підключення існуючого реального АТП до спеціального додатку, реалізованого на хмарному сервері, наприклад, для збирання та аналізу оперативних даних про поточний стан основних його ТЗА. На рисунку 4.6 та в додатку Б наведений проєкт цифрової трансформації архітектури програмного забезпечення для АТП, що відповідає концепції I4.0.

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

- "Computer #1" (АРМ оператора хімічного АТП);
- "Controller" (промисловий контролер хімічного АТП, змонтований у шафі автоматики; «Dev22» у таблиці 2.2);
- "Computer #2" (локальний сервер ІСУ виробництвом);
- "Computer #3" (АРМ диспетчера виробництва з функцією рівня MES);
- "Computer #4" («хмарний» сервер "ThingWorx Foundation" компанії PTC);
- "LAN" (обчислювальні засоби локальної мережі хімічного АТП);
- "Internet" (обчислювальні засоби глобальної мережі Інтернет).

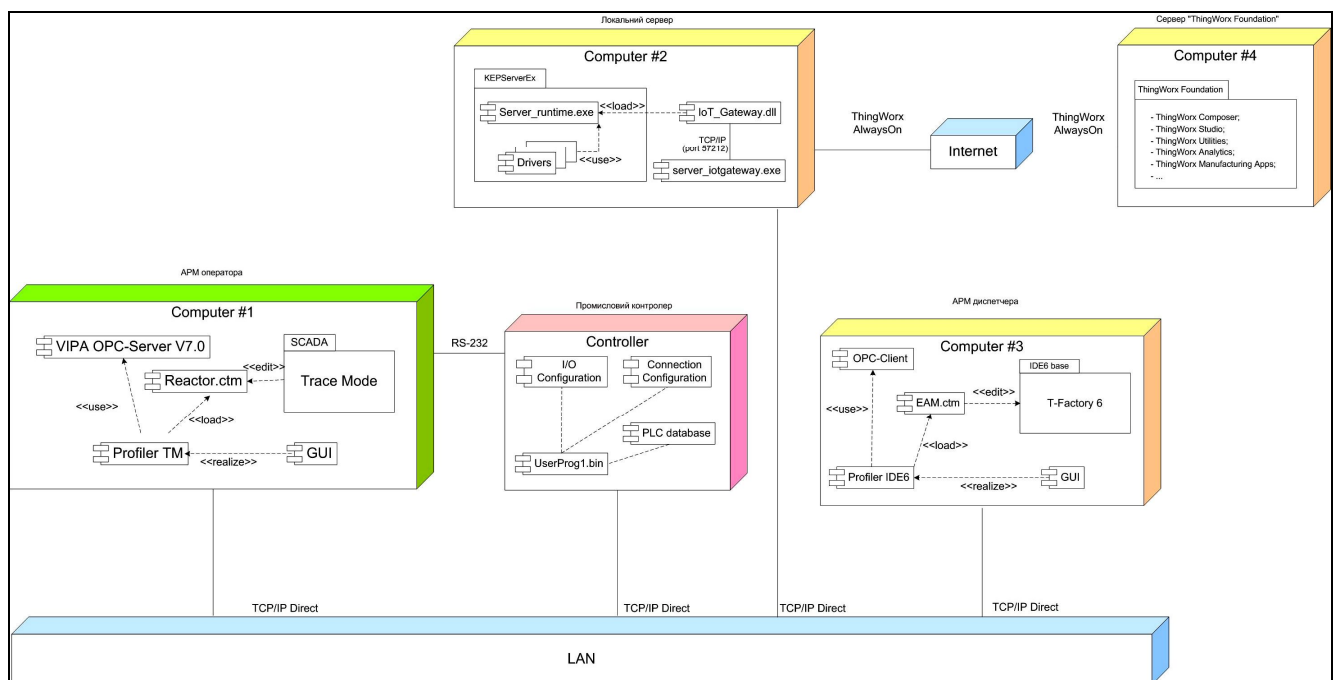


Рисунок 4.6 - Проєкт архітектури програмного забезпечення АТП для І4.0

На вузлі "Computer #1" розгорнутий інструментальний пакет "SCADA". Він відображає інтегроване середовище розробки та виконання, наприклад IDE "Trace Mode 6", прикладної програми "Reactor.ctm" АРМ оператора (оперативне управління виконанням Майстер рецепту хімічним ТП).

Пакет "SCADA" дозволяє розробляти та редагувати файл "Reactor.ctm" прикладної програми АРМ оператора. Ця програма потім завантажується до виконавчого середовища SCADA, наприклад для Trace Mode 6 воно представлено

у вигляді програмного компоненту "Profiler TM", що і виконує прикладну програму в режимі м'якого реального часу (МРЧ).

При виконанні прикладної програми "Reactor.ctm" програмний компонент "Profiler TM" використовує OPC-сервер, наприклад "VIPA OPC-Server V7.0", для обміну даними з промисловим контролером хімічного АТП ("Controller"), а також реалізує графічний інтерфейс оператора (програмний компонент "GUI").

На вузлі "Computer #2" встановлений сервер "KEPServerEx" комунікаційної платформи «ThingWorx Foundation», виконавче середовище якого "Server_runtime.exe" застосовує вбудовані драйвери "Drivers" для доступу до джерел даних хімічного АТП. Для зв'язування даних цього сервера з «хмірними» сервісами платформи «ThingWorx Foundation» на вузлі "Computer #2" встановлений компонент "IoT Gateway", який складається з плагіну сервера "IoT_Gateway.dll" та IoT агента "server_iotgateway.exe". Плагін сервера "IoT_Gateway.dll" відповідає за конфігурування агенту протоколу «ThingWorx AlwaysOn», за збирання даних з виконавчого середовища "Server_runtime.exe" та за конфігурування налаштувань компонента "IoT Gateway". IoT агента "server_iotgateway.exe (системний сервіс) керує з'єднаннями з «хмарними» сервісами Інтернету речей, зберігає у буфері дані, зібрані з плагіну сервера "IoT_Gateway.dll", та забезпечує рівень авторизації та шифрування для кожного агента.

На вузлі "Computer #3" розгорнутий пакет інтегрованого середовища розробки, наприклад "IDE6 base" фірми "AdAstra", в якому використовується програмний компонент "T-Factory 6". Він дозволяє розробити прикладну програму диспетчера, наприклад "EAM.ctm" (відстеження поточного стану технічних засобів автоматизації хімічного АТП), яка далі завантажується до виконавчого середовища "IDE6 base" (програмний компонент "Profiler IDE6") для виконання в режимі м'якого реального часу (МРЧ). При виконанні цієї прикладної компонент "Profiler IDE6" використовує компонент "OPC-Client" для введення даних з OPC-сервера, наприклад "VIPA OPC-Server V7.0", що встановлений на АРМ оператора ("Computer #1"). Крім того, програмний компонент "Profiler IDE6" реалізує графічний інтерфейс (програмний компонент

"GUI") АРМ диспетчера з функцією ЕАМ (відстеження поточного стану технічних засобів автоматизації хімічного АТП) .

На вузлі "Computer #4", який є «хмарним» сервером компанії РТС, розгорнута платформа промислового Інтернету речей «ThingWorx Foundation», яка складається з таких програмних сервісів: "ThingWorx Composer", "ThingWorx Studio", "ThingWorx Utilities", "ThingWorx Analytics" , "ThingWorx Manufacturing Apps" та інші. Дані до цих сервісів передаються через мережу Internet через оригінальний протокол «ThingWorx AlwaysOn» компанії РТС.

На основі даної архітектури ПЗ в рамках цифрової трансформації хімічного АТП можна розробити проєкт організації його інформаційної бази за концепцією І4.0. Для цього доцільно використати схему мережних інформаційних потоків, яка графічно показує увесь масив даних у базах даних вузлів АТП та їх взаємозв'язок через інформаційні потоки [43]. Основне призначення даної схеми – показати реалізацію інформаційних потоків з точки зору інформаційного забезпечення (ІЗ) системи автоматизації, оскільки апаратна частина показується та описується на відповідних її структурних схемах.

На рисунку 4.7 та в додатку Б наведена відповідна схема мережних інформаційних потоків, яка реалізує розроблену вище модель архітектури програмного забезпечення АТП за концепцією І4.0. Опишемо кожний з показаних на схемі інформаційних потоків.

Інформаційний потік 1 забезпечує передавання масиву даних з прикладної програми "MyProg" вузла "Controller" (промисловий контролер хімічного АТП) через мережу з протоколом TCP/IP Direct та програму "VIPA OPCServer" до каналів типу "OPC" програми "Reactor.ctm", що виконується у SCADA-системі "Trace Mode 6" вузла "Computer #1" (АРМ оператора хімічного АТП). Частота передавання інформації визначається налаштуваннями середовища виконання "OPC Client" SCADA-системи "Trace Mode 6". Масив даних прикладної програми "MyProg" вузла "Controller", що передаються мережею, містить такі дані:

- «Ready_PLC (Dev22)» - дані готовності промислового контролера до роботи («Dev22» у таблиці 2.2);
- «Dev3 (Cont_PUMP2_PR2)» - дані поточного стану контролера

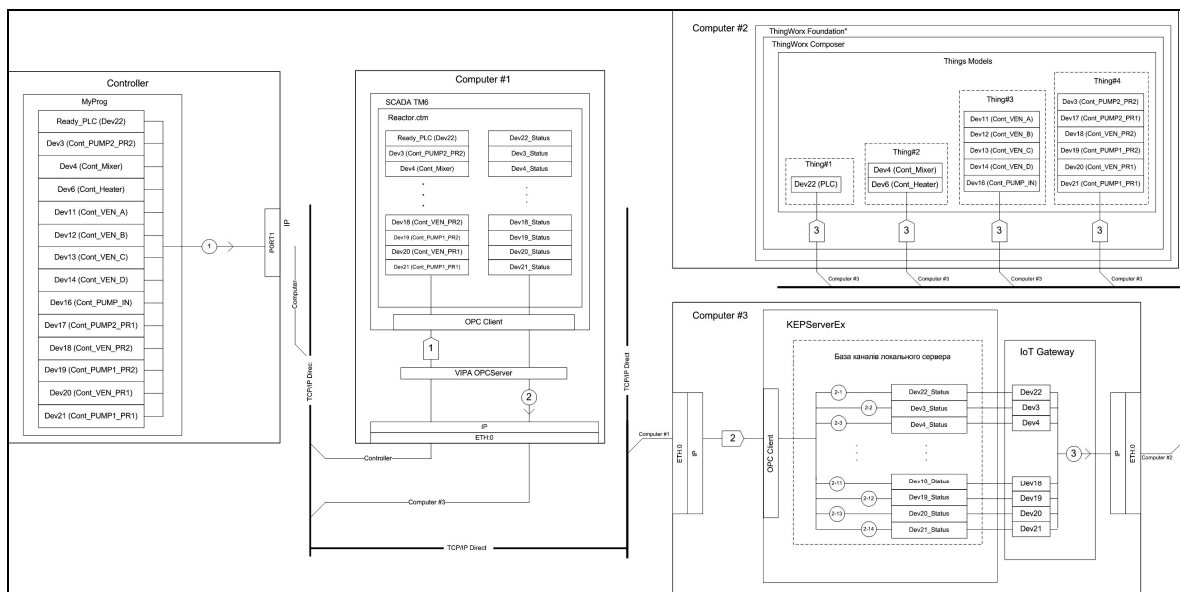


Рисунок 4.7 - Схема мережних інформаційних потоків АТП для I4.0

електричного насосу «PUMP2_PR2»; «Dev3» у таблиці 2.2;

– «Dev4 (Cont_Mixer)» - дані поточного стану контролера змішувача хімічного реактора; «Dev4» у таблиці 2.2;

– «Dev6 (Cont_Heater)» - дані поточного стану контролера нагрівача хімічного реактора; «Dev6» у таблиці 2.2;

– «Dev11 (Cont_VEN_A)» - дані поточного стану контролера вентиля «VEN_A»; «Dev11» у таблиці 2.2;

– «Dev12 (Cont_VEN_B)» - дані поточного стану контролера вентиля «VEN_B»; «Dev12» у таблиці 2.2;

– «Dev13 (Cont_VEN_C)» - дані поточного стану контролера вентиля «VEN_C»; «Dev13» у таблиці 2.2;

– «Dev14 (Cont_VEN_D)» - дані поточного стану контролера вентиля «VEN_D»; «Dev14» у таблиці 2.2;

– «Dev16 (Cont_PUMP_IN)» - дані поточного стану контролера електричного насосу «PUMP_IN»; «Dev16» у таблиці 2.2;

– «Dev17 (Cont_PUMP2_PR1)» - дані поточного стану контролера електричного насосу «PUMP2_PR1»; «Dev17» у таблиці 2.2;

- «Dev18 (Cont_VEN_PR2)» - дані поточного стану контролера вентиля «VEN_PR2»; «Dev18» у таблиці 2.2;
- «Dev19 (Cont_PUMP1_PR2)» - дані поточного стану контролера електричного насосу «PUMP1_PR2»; «Dev19» у таблиці 2.2;
- «Dev20 (Cont_VEN_PR1)» - дані поточного стану контролера вентиля «VEN_PR1»; «Dev20» у таблиці 2.2;
- «Dev21 (Cont_PUMP1_PR1)» - дані поточного стану контролера електричного насосу «PUMP1_PR1»; «Dev21» у таблиці 2.2.

Інформаційний потік 2 забезпечує передавання масиву даних вузла "Computer #1" (АРМ оператора) через програму "VIPA OPCServer", мережу з протоколом TCP/IP Direct та драйвери "OPC Client" до масиву даних OPC-клієнта, яким є програма сервера "KEPServerEx" вузла "Computer #3" (локальний сервер ІСУ виробництвом). Масив даних вузла "Computer #1" (АРМ оператора), що передається мережею містить такі дані:

- «Dev22_Status» - поточний стан промислового контролера хімічного АТП («Dev22» у таблиці 2.2);
- «Dev3_Status» - поточний стан контролера електричного насосу «PUMP2_PR2»; «Dev3» у таблиці 2.2;
- «Dev4_Status» - поточний стан контролера змішувача хімічного реактора; «Dev4» у таблиці 2.2;
- «Dev6_Status» - поточний стан контролера нагрівача хімічного реактора; «Dev6» у таблиці 2.2;
- «Dev11_Status» - поточний стан контролера вентиля «VEN_A»; «Dev11» у таблиці 2.2;
- «Dev12_Status» - поточний стан контролера вентиля «VEN_B»; «Dev12» у таблиці 2.2;
- «Dev13_Status» - поточний стан контролера вентиля «VEN_C»; «Dev13» у таблиці 2.2;
- «Dev14_Status» - поточний стан контролера вентиля «VEN_D»; «Dev14» у таблиці 2.2;

- «Dev16_Status» - поточний стан контролера електричного насосу «PUMP_IN»; «Dev16» у таблиці 2.2;
- «Dev17_Status» - поточний стан контролера електричного насосу «PUMP2_PR1»; «Dev17» у таблиці 2.2;
- «Dev18_Status» - поточний стан контролера вентиля «VEN_PR2»; «Dev18» у таблиці 2.2;
- «Dev19_Status» - поточний стан контролера електричного насосу «PUMP1_PR2»; «Dev19» у таблиці 2.2;
- «Dev20_Status» - поточний стан контролера вентиля «VEN_PR1»; «Dev20» у таблиці 2.2;
- «Dev21_Status» - поточний стан контролера електричного насосу «PUMP1_PR1»; «Dev21» у таблиці 2.2.

Масив даних програми "KEPServerEx" являє собою базу каналів даного сервера. Після драйвера "OPC Client" потік 2 розгалужується на чотирнадцять потоків 2-1, 2-2, 2-3, ... , 2-14, кожний з яких закінчується операцією у вигляді тега відповідного каналу сервера («Dev22_Status», «Dev3_Status», «Dev4_Status» і т.д.). Значення цих тегів по внутрішній віртуальній мережі вузла "Computer #3" передаються до відповідних тегів програми "IoT Gateway" («Dev22», «Dev3», «Dev4» і т.д.), де зберігаються для подальшого передавання потоком 3 до «хмарних» сервісів платформи «ThingWorx Foundation».

Інформаційний потік 3 забезпечує передавання масиву даних («Dev22», «Dev3», «Dev4» і т.д.) вузла "Computer #3" (локальний сервер ІСУ виробництвом) з програми "IoT Gateway" та мережу Internet з протоколом «ThingWorx AlwaysOn» до масивів даних чотирьох моделей речей (Things Models) «Thing#1» - «Thing#4» інструментального середовища розробки проектів промислового Інтернету речей "ThingWorx Composer" хмарної платформи «ThingWorx Foundation». Програмна модель «Thing#1» відображає поточний стан промислового контролера хімічного АТП, «Thing#2» – поточний стан ТЗА хімічного реактора, а «Thing#3» та «Thing#4» – відповідно, поточні стани ТЗА системи вхідних та системи вихідних трубопроводів хімічного реактора.

4.4 Концепція поглибленої цифрової трансформації АТП

У попередньому розділі було визначено, що хімічний реактор реального АТП як компонент ІТ - представлення системи автоматизації (шар «Asset») для стадії проектування (Development) у порівнянні з властивістю/ознакою «Віртуалізація виробничого середовища» АТП «розумного виробництва» (див. таблицю 3.1) має такі недоліки:

- повністю відсутня цифрова модель реактора, яка дозволила б оптимізувати його конструкцію для періодичного хімічного виробництва, розрахованого на постійні зміни технологічних процедур виготовлення різних видів та порцій готової продукції;

- відсутні цифрові моделі фізичних процесів, які протікатимуть у реальному реакторі вибраної конструкції, із-за чого неможливо вже на стадії проектування визначити оптимальні параметри технологічних процедур для різних видів продукції та вихідних компонентів.

Ці недоліки існуючого реального АТП не дозволяють також оптимізувати роботу хімічного реактора на стадії його виробничого використання (Usage), тому що керування реактором з боку промислового контролера здійснюється за незмінною логікою, яка визначається затвердженою технологічною процедурою, тобто не враховує реальне протікання фізичних процесів у ємності реактора (наприклад змішування реагентів, нагрівання та охолодження суміші), які в реальності залежать і від кількості окремих реагентів, і від їх фізичних властивостей (наприклад в'язкості), і від черговості їх закачування у ємність реактора, і від загального об'єму суміші, яка утворилась в реакторі після закачування усіх потрібних реагентів.

Тому одним із способів усунення цього недоліку є застосування такої сучасної цифрової технології як CFD (Computational Fluid Dynamics), яка дозволяє у режимі реального часу за допомогою чисельних методів моделювати протікання фізичних процесів у рідинах, зокрема, їх змішування та нагрівання [44-46]. Зокрема, технологія CFD для змішувальних резервуарів хімічних реакторів дозволяє виконувати в режимі реального часу [44] такі дослідження: виникнення

завихрень і розподілення енергій; розподілення швидкостей руху рідкої суміші; аналіз поведінки суспензії твердих часток; трасування процесу змішування (побудова траєкторій окремих струмів); аналіз процесу аерації; утворення поверхневих вихрів й ефектів. Для прикладу на рисунку 4.8 показаний приклад застосування CFD для дослідження трасування при змішуванні двох рідин лопатевим змішувачем, а на рисунку 4.9 – для побудови діаграми розподілення швидкостей руху рідкої суміші по об'єму хімічного реактора.



Рисунок 4.8 – Приклад трасування процесу змішування двох рідин

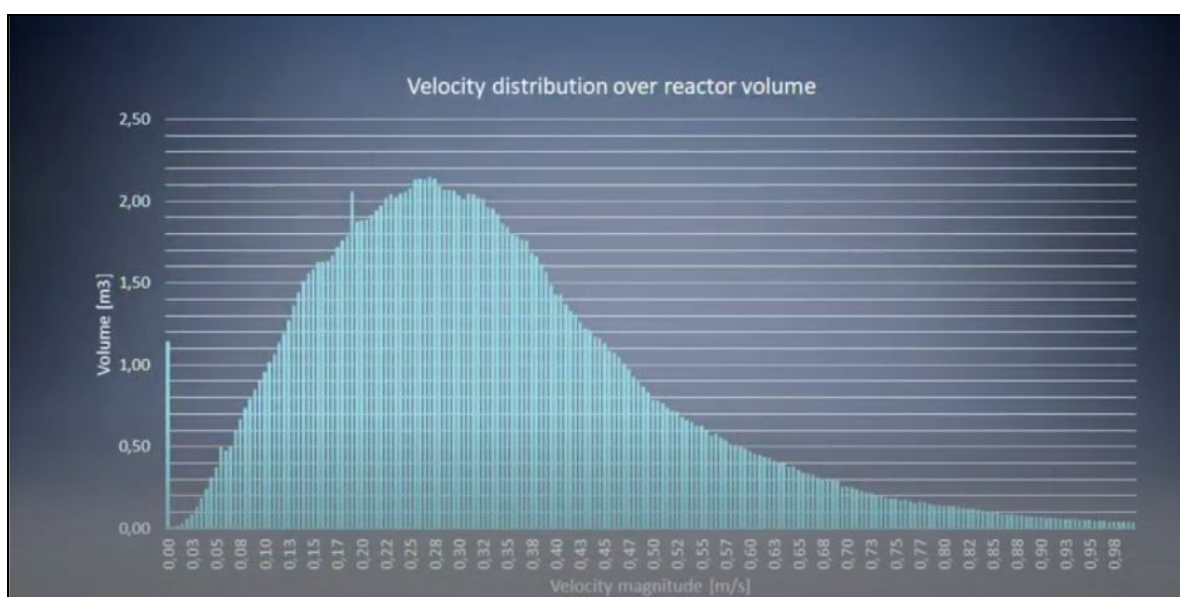


Рисунок 4.9 – Розподілення швидкостей руху рідкої суміші по об'єму реактора

У наш час технологію CFD широко використовують не тільки академічні установи, але і виробники відповідного промислового обладнання. Так, італійська компанія «ЕКАТО», що відома у всьому світі як виробник якісного змішувального устаткування, на своєму сайті [45, 46] не тільки рекламує приклади використання CFD для різних прикладних задач, але і організує он-лайн курси для підготовки молодих фахівців та надає можливість їм самостійно змодельовати будь-який процес змішування за допомогою «хмарного» інструментального додатку. На рисунку 4.10 показаний приклад такого моделювання.

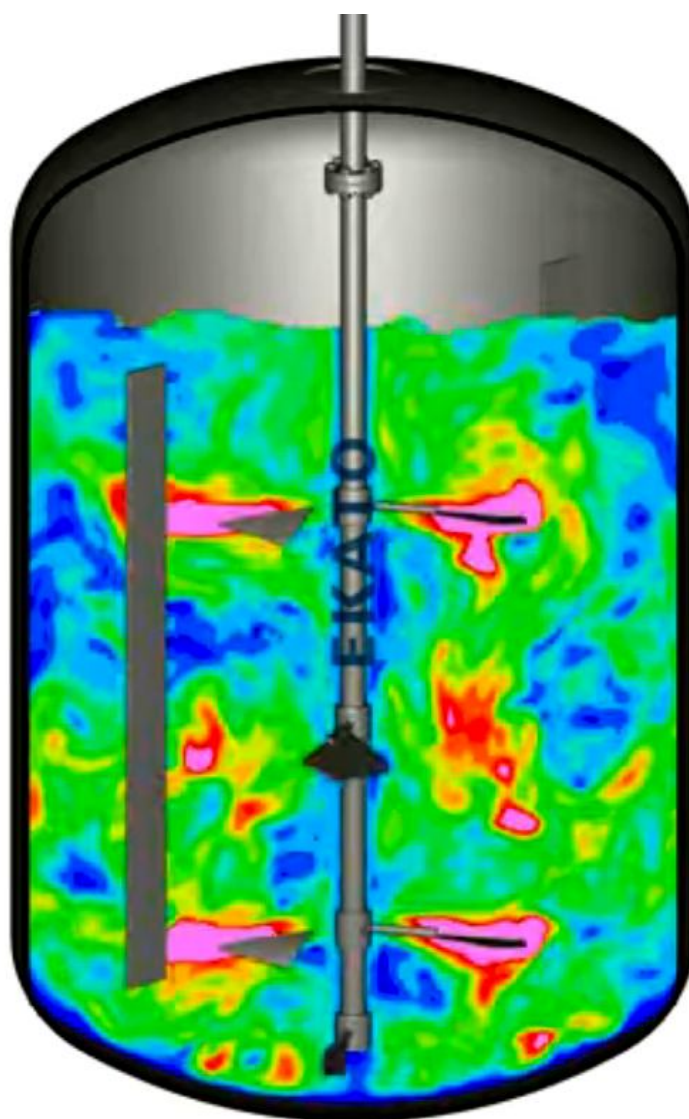


Рисунок 4.10 – Приклад моделювання процесу змішування на «хмарній» платформі компанії «ЕКАТО»

На рисунку моделюється дисперсія рідин, під якою розуміють змішання двох або більше рідин, які в природних умовах не змішуються одна з одною. Такі суміші роблять і використовують для багатьох промислових застосувань. Наприклад, у хімічній промисловості рідини часто змішують протягом заданого відрізка часу для протікання відповідної хімічної реакції. Довгострокова стійка дисперсія також застосовується в промисловості, наприклад на фармацевтичних, косметичних або харчових виробництвах. Для моделювання дисперсії рідин на «хмарній» платформі компанії «ЕКАТО» треба задавати: основні вимоги до процесу (тимчасова або стійка дисперсія); значення різниці густини/граничної напруженості рідких фаз, а також значення вхідної механічної енергії від системи змішувача. Можна також вибрати тип лопатей змішувача з тих, що виготовляє ця компанія. Для прикладу на рисунку 4.11 наведені результати чисельного моделювання процесу змішування п'яти рідин для визначення часу протікання цього процесу.

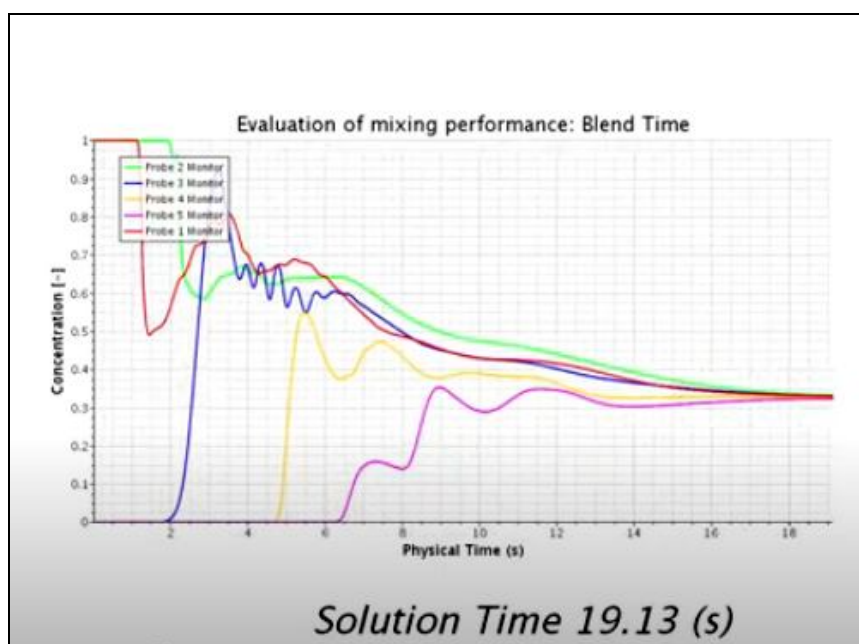


Рисунок 4.11 – Дослідження часу протіканні процесу змішування

Компанія «ЕКАТО» займається також і моделюванням процесів теплопередачі, які мають місце у технологічному устаткуванні, яке вона випускає.

Типовим завданням є, наприклад, підтримка заданого значення температури деякого рідкого продукту протягом екзотермічної або ендотермічної реакції або нагрівання/охолодження продукту за заданий час до необхідної температури. Для чисельного моделювання цих процесів на «хмарній» платформі компанії необхідно задати значення в'язкості/реології рідкого середовища, яке нагрівається або охолоджується всередині ємності; тип процесу (стабілізація, нагрівання або охолодження); геометрію області теплообміну з зовнішнім середовищем, особливо верхньої.

Застосуємо тепер подібні CFD моделі для оптимізації роботи хімічного реактора існуючого реального АТП. Це можна реалізувати в рамках іншої цифрової технології – «Digital Twin» (Цифровий Двійник) [47], яка дозволяє об'єднати у режимі реального часу роботу реального фізичного об'єкту, наприклад хімічного реактора, та роботу його цифрової моделі (віртуальний об'єкт), в результаті чого реальний та віртуальний об'єкти інформаційно взаємодіють один з одним з метою корегування дій один одного. У нашому випадку віртуальний об'єкт (цифрова модель) повинна корегувати роботу реального об'єкту (оптимізувати її), а реальний об'єкт буде змінювати роботу віртуального об'єкту в залежності від свого поточного стану.

На рисунку 4.12 показаний ескізний проєкт такої цифрової трансформації існуючого реального АТП. В цьому проєкті застосована ще одна розповсюджена зараз цифрова технологія – «Edge Computing» (Граничне Обчислення), коли процес чисельного обчислення CFD моделей виконується на локальному сервері, а результат цих обчислень не доступний з боку глобальної мережі (це зроблено з метою забезпечення безпеки технологічного процесу).

Як видно з рисунку, на локальному сервері ІСУ виробництвом розгорнутий додаток CFD моделювання «CFD modeling», в якому реалізовані дві чисельні моделі – «Mixing» (моделювання у реальному часі процесу змішування рідких реагентів в ємності реактора) та «Heating» (моделювання у реальному часі процесу нагрівання суміші рідких реагентів в ємності реактора). В результаті роботи цих моделей формуються числові дані, які зберігаються у двох внутрішніх базах даних (позначені як DB1 та DB2). Така будова віртуального об'єкту.

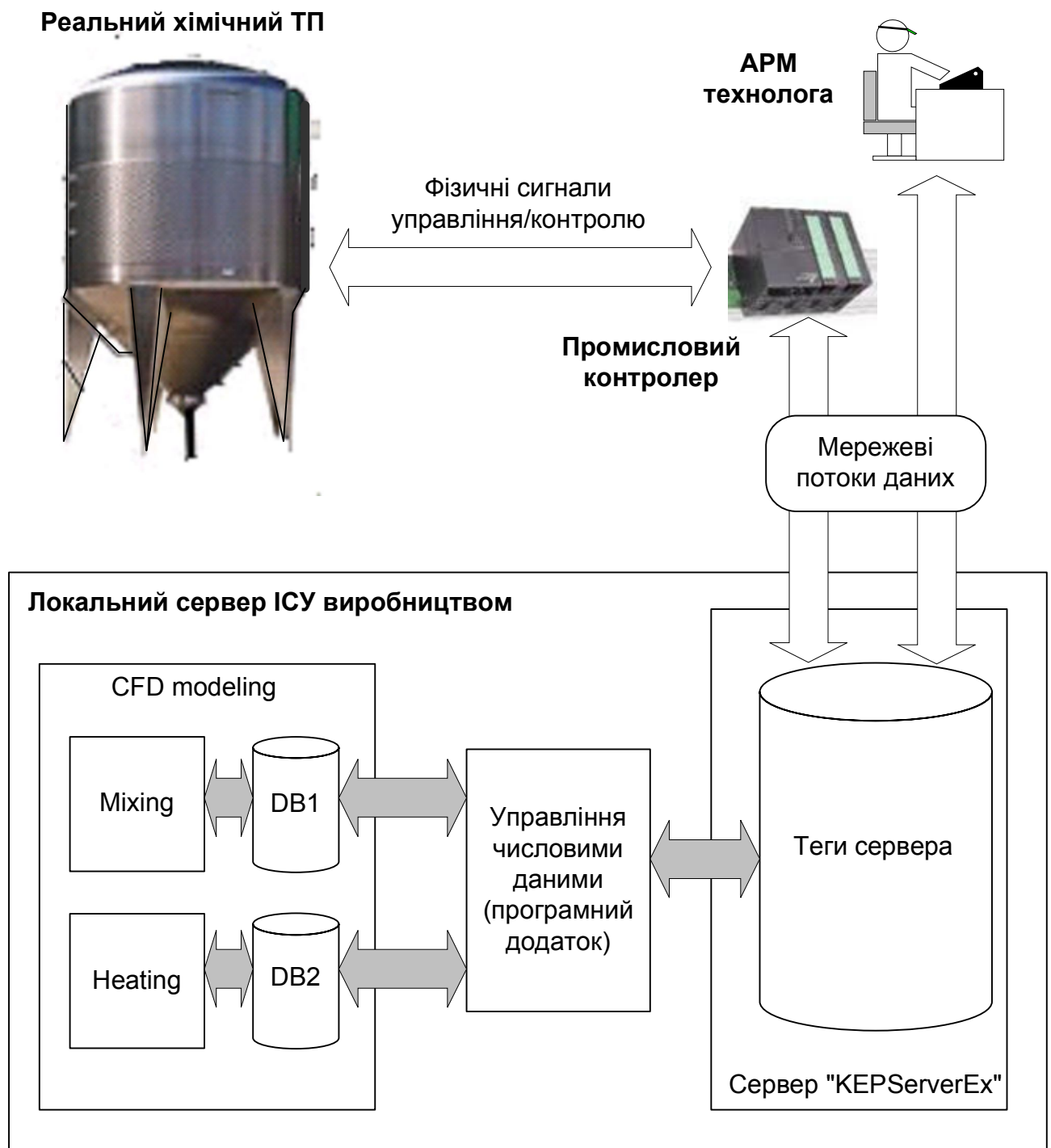


Рисунок 4.12 – Ескізний проект цифрової трансформації на основі технології «Digital Twin» та «Edge Computing»

У свою чергу, реальний об'єкт, а саме, реальний хімічний ТП, що керується промисловим контролером, обмінюється з ним відповідними фізичними сигналами управління та контролю в процесі виготовлення поточної порції хімічної продукції. Через цифрову мережу усі ці дані записуються у теги

комунікаційного сервера «KEPServerEx» для подальшого використання в ІСУ виробництвом. Крім того, у відповідні теги даного комунікаційного сервера записуються і дані з АРМ технолога, які стосуються технологічної процедури виготовлення поточної порції хімічної продукції (послідовність закачування реагентів до реактора, температура нагрівання суміші, нормативна тривалість хімічної реакції і т.п.) та фізичних характеристик реагентів, з яких виготовляється ця продукція (густина, об'єм, в'язкість і т.п.).

У даному проєкті частина цих даних використовується для управління роботою віртуального об'єкту – або цифрової моделі змішування, або цифрової моделі нагрівання. Для направлення потрібних даних з тегів сервера «KEPServerEx» до відповідної локальної бази даних цифрового моделювання (DB1 чи DB2) на локальному сервері ІСУ виробництвом треба встановити спеціальний програмний додаток.

Цей додаток буде також управляти і потоком даних у зворотному напрямі – від локальної бази цифрового моделювання (DB1 чи DB2) до тегів комунікаційного сервера «KEPServerEx», звідки вони через цифрову мережу будуть читатися прикладною програмою промислового контролера, який буде корегувати свою роботу згідно з цими даними моделювання.

Наприклад, промисловий контролер після вмикання змішувача хімічного реактора (програмою контролера формується відповідний сигнал управління, дані про який записуються і у відповідний тег комунікаційного сервера «KEPServerEx») переходить до очікування результатів моделювання процесу змішування (дані про вмикання змішувача через програмний додаток локального сервера ІСУ передаються у відповідну локальну базу цифрового моделювання, що запускає до дії процес цифрового моделювання процесу змішування). Після того, як моделювання зафіксує момент закінчення процесу змішування (ця функція може бути реалізована і у програмному додатку), дані про це через відповідний тег комунікаційного сервера «KEPServerEx», та цифрову мережу поступають до прикладної програми контролера, який зупиняє змішувач або не зупиняє його, але переходить до наступної технологічної операції, наприклад, нагрівання суміші або закачування ще одного реагенту.

4.5 Висновки до розділу

В результаті виконання дослідницьких та проектних робіт у даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи була обґрунтована модель діяльностей заключної стадії практичного вивчення цифрової трансформації хімічного АТП, 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 хімічного АТП. В якості прикладів результатів, які студенти можуть отримати в ході практичного вивчення, було розроблений ескізний проєкт початкової цифрової трансформації даного АТП, а також концепція його поглибленої цифрової трансформації.

5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

5.1 Технологічний аудит розробленого комп'ютеризованого навчального засобу

Як зазначалося раніше, підвищення якості підготовки фахівців в області автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій вимагає постійного удосконалення навчального процесу та його матеріально-технічної бази. Тому останнім часом кафедрою АІТ ВНТУ до навчального плану підготовки фахівців були уведені дві нові професійно-орієнтовані дисципліни – «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва» (бакалаврський рівень підготовки) та «Промисловий Інтернет речей» (магістерський рівень підготовки). Складовою частиною цих дисциплін є лабораторні заняття, на яких студенти можуть отримувати практичні знання та набувати професійного досвіду у проектуванні та реалізації різноманітних систем та засобів автоматизації для цифрового виробництва.

Для реалізації цієї мети на основі існуючого інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне підприємство» нами було створено комп'ютеризований навчальний засіб, який дозволяє організувати практичне вивчення студентами спеціальності 151 методів та засобів цифрової трансформації його основного хімічного технологічного процесу в рамках концепції «Індустрія 4.0».

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

Для встановлення комерційного потенціалу розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу було проведено її технологічний аудит,

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

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

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

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою

Продовження таблиці 5.1

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкуренція 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 за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років

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 (таблиця 5.2).

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

Критерії	Прізвище, ініціали експертів		
	Кривогубченко С. Г.	Кулик Я. А.	Овчинников К. В.
	Бали, що їх виставили експерти:		
1	3	4	3
2	4	3	4
3	4	3	3
4	4	4	4
5	4	3	3
6	3	4	4
7	4	3	4
8	4	3	3
9	4	4	4
10	3	3	4
11	4	4	4

Продовження таблиці 5.2

12	4	3	3
Сума балів	СБ ₁ = 45	СБ ₂ = 41	СБ ₃ = 43
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{45 + 41 + 43}{3} = \frac{129}{3} = 43$		

Встановлення комерційного потенціалу розробленого навчального засобу будемо здійснювати на основі рекомендацій, наведених в таблиці 5.3 [48].

Таблиця 5.3 – Рівні комерційного потенціалу будь-якої наукової розробки

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

Оскільки середньоарифметична сума балів, що їх виставили експерти, складає 43 бали, то це свідчить, що розроблений нами новий комп'ютеризований навчальний засіб має рівень комерційного потенціалу, який вважається «високим».

Це пояснюється тим, що створений нами новий комп'ютеризований навчальний засіб, на відміну від існуючих, будуватиметься на основі інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне підприємство», що дозволить за рахунок використання додаткових локальних або «хмарних» віртуальних інструментальних середовищ підвищити ефективність практичної підготовки студентів шляхом виконання ескізного проєкту цифрової трансформації існуючого хімічного технологічного процесу (цифрове моделювання, засоби доповненої реальності, прогнозування станів обладнання).

5.2 Розрахунок витрат на розробку комп'ютеризованого навчального засобу

При розробці нового навчального засобу були зроблені такі витрати.

Основна заробітна плата Z_o розробників, яка визначається за формулою:

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

де M – місячний посадовий оклад розробника, грн; прийmemo, що M дорівнює (6700...20000) грн/місяць;

T_p – число робочих днів в місяці; прийmemo T_p рівним 24 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	18500	770,83	20 годин	≈ 2570 (при 6-годинному робочому дні)
2. Магістрант-студент-виконавець	2000 (беремо 6700)	279,17	75	≈ 20938
3. Консультант з економічної частини	17000	708,33	1,5 години	$177,08 \approx 178$ (при 6-годинному робочому дні)
Загалом				$Z_o = 23686$ грн

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

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

Прийmemo, що α дорівнює 0,11. Тоді для нашого випадку отримаємо:

$$З_d = 0,11 \times 23686 = 2605,46 \approx 2606 \text{ (грн.)}$$

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

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

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

Тоді:

$$\text{НЗН}_{зп} = (23686 + 2606) \times 0,22 = 5784,24 \approx 5785 \text{ (грн.)}$$

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

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

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

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

T – термін використання основних засобів, місяці.

Зроблені розрахунки зведено в таблицю 5.5.

Витрати на матеріали M розраховуються за формулою:

$$M = \sum_1^n H_i \cdot Ц_i \cdot K_i - \sum_1^n B_i \cdot Ц_b \text{ [грн.]}, \quad (5.5)$$

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

Π_i – вартість матеріалу i -го найменування;

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

B_i – маса відходів матеріалу i -го найменування;

Π_b – ціна відходів матеріалу i -го найменування;

n – кількість видів матеріалів.

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	48000	25	3 при 50% використанні	1500
2. Приміщення університету, кафедри	18000	5	3 при 50% використанні	112,5 \approx 113
Всього				A = 1613 грн

Витрати на комплектуючі K розраховуються за формулою:

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

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

Π_i – ціна комплектуючих i -го виду;

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

n – кількість видів комплектуючих.

Під час виконання роботи загальні витрати на матеріали та комплектуючі склали приблизно 2000 грн.

Витрати на силову електроенергію V_e розраховуються за формулою:

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

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

Π – установлена потужність обладнання, кВт; Π дорівнює 0,9 кВт;

Φ – фактична кількість годин роботи обладнання, годин. Прийmemo, що Φ дорівнює 175 годин;

K_{Π} – коефіцієнт використання потужності; K_{Π} менше 1 та дорівнює 0,81;

K_d – коефіцієнт корисної дії, K_d дорівнює 0,71.

Тоді витрати на силову електроенергію будуть дорівнювати:

$$V_e = \frac{B \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}}{K_d} = \frac{3 \cdot 0,9 \cdot 175 \cdot 0,81}{0,71} = 539,05 \approx 540 \text{ (грн.)}$$

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

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

Для нашого випадку отримаємо:

$$V_{\text{інш}} = 0,4 \times 23686 = 9474,4 \approx 9475 \text{ (грн.)}$$

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

$$V = 23686 + 2608 + 5785 + 1613 + 2000 + 540 + 9475 = 45707 \text{ (грн.)}$$

Загальні витрати на розробку та можливе впровадження розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу $V_{\text{заг}}$ розраховуються за формулою:

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

де β – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання цієї роботи. Можна прийняти, що, β приблизно дорівнює 0,95 [48], оскільки робота майже повністю виконана і готова до можливого впровадження.

Тоді:

$$V_{\text{заг}} = \frac{45707}{0,95} = 48112,63 \text{ (грн.)}$$

або приблизно 49 тисяч грн.

Тобто прогнозовані загальні витрати на розробку та можливе впровадження розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу становлять приблизно 49 тисяч грн.

5.3 Розрахунок економічного ефекту від можливої комерціалізації нашої розробки

Економічний ефект від впровадження та 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 2022 році коштували на ринку приблизно 35 тис грн, то нашу розробку можна реалізовувати за 50 тисяч грн, або на 15 тисяч грн дорожче.

Аналіз місткості ринку даного продукту показує, що сьогодні в Україні кількість реальних користувачів подібних комп'ютеризованих навчальних засобів може складати приблизно 15 осіб щороку. Це різні навчальні заклади, наукові установи, підприємства, дослідні структури тощо. Оскільки наш комп'ютеризований навчальний засіб має значно кращі функціональні характеристики, то можна очікувати зростання попиту на нашу розробку принаймні протягом 4-х років після її впровадження.

Тобто, якщо наша розробка буде впроваджена з 1 січня 2023 року, то її результати будуть виявлятися протягом 2023-го, 2024-го, 2025-го та 2026-го років.

Прогноз зростання попиту на нашу розробку складає по роках:

- 2023 р. – приблизно плюс 1 шт. до базового року;
- 2024 р. – плюс 4 шт. до базового року;
- 2025 р. – плюс 8 шт. до базового року;
- 2026 р. – плюс 12 шт. до базового року.

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

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

де ΔC_0 – покращення основного якісного показника від впровадження результатів розробки у цьому році. Для нашого випадку це є збільшення ціни нового навчального засобу на 15 тисяч грн;

N – основний кількісний показник, який визначає обсяг діяльності у році до впровадження результатів розробки; N становить 15 шт.;

ΔN – покращення основного кількісного показника від впровадження результатів розробки. Таке покращення становитиме по роках, відповідно: плюс 1^{2023} , плюс 4^{2024} , плюс 8^{2025} та плюс 12^{2026} шт. (до базового 2022 року);

C_0 – основний якісний показник (тобто ціна), який визначає обсяг діяльності у році після впровадження результатів розробки, грн; C_0 дорівнює 50 тис. грн;

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

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

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

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

Тоді можливе зростання чистого прибутку $\Delta\Pi_1$ для потенційного інвестора протягом першого року від можливого впровадження нашої розробки (2023 р.) складе:

$$\Delta\Pi_1 = [15 \cdot 15 + 50 \cdot 1] \cdot 0,8333 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 93,95 \text{ (тис. грн.)}$$

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

$$\Delta\Pi_2 = [15 \cdot 15 + 50 \cdot 4] \cdot 0,8333 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 145,20 \text{ (тис. грн.)}$$

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

$$\Delta\Pi_3 = [15 \cdot 15 + 50 \cdot 8] \cdot 0,8333 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 213,53 \text{ (тис. грн.)}$$

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

$$\Delta\Pi_4 = [15 \cdot 15 + 50 \cdot 12] \cdot 0,8333 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 281,86 \text{ (тис. грн.)}.$$

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

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

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

t – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої роботи, роки. Для нашого випадку t дорівнює 4 роки;

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

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

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

$$\begin{aligned} \text{ПП} &= \frac{93,95}{(1 + 0,1)^1} + \frac{145,20}{(1 + 0,1)^2} + \frac{213,53}{(1 + 0,1)^3} + \frac{281,86}{(1 + 0,1)^4} = \\ &= 85,40 + 120 + 160,42 + 192,51 = 558,33 \approx 559 \text{ (тис. грн.)}. \end{aligned}$$

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

$$PV = (1,0 \dots 5) \times B_{\text{заг.}} \text{ [тис. грн.]}. \quad (5.12)$$

Для нашого випадку:

$$PV = (1,0\dots5) \times 65 = 2,0 \times 49 = 98 \text{ (тис. грн.)}$$

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

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

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

PV – теперішня вартість інвестицій, PV дорівнює 98 тис. грн.

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

$$E_{абс} = 559 - 98 = 461 \text{ (тис. грн.)}$$

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

Далі розрахуємо внутрішню дохідність E_v вкладених інвестицій:

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

де $E_{абс}$ – абсолютний ефект вкладених інвестицій; $E_{абс}$ дорівнює 461 тис. грн;

PV – теперішня вартість початкових інвестицій PV дорівнює 98 тис. грн;

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

Для нашого випадку отримаємо:

$$E_v = \sqrt[5]{1 + \frac{461}{98}} - 1 = \sqrt[5]{1 + 4,7041} - 1 = \sqrt[5]{5,7041} - 1 = 1,416 - 1 = 0,416 = 41,6 (\%)$$

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

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

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

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2022 році в Україні d в межах (0,10...0,12);

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

Для нашого випадку отримаємо:

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

або $\tau_{\text{мін}}$ становить 35%.

Оскільки величина E_b дорівнює 41,6%, що більше $\tau_{\text{мін}}$, що дорівнює 35%, 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:

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

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

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{0,416} = 2,4 \text{ (років)},$$

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

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

Тоді:

$$\begin{aligned} \text{ПП} &= \frac{93,95}{(1+0,3)^1} + \frac{145,20}{(1+0,3)^2} + \frac{213,53}{(1+0,3)^3} + \frac{281,86}{(1+0,3)^4} = \\ &= 72,26 + 85,92 + 97,19 + 98,69 = 354,06 \approx 355 \text{ (тис. грн.)}. \end{aligned}$$

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

$$E_{\text{абс}} = 355 - 98 = 257 \text{ (тис. грн.)}.$$

Внутрішня дохідність E_v вкладених інвестицій становитиме:

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

де $E_{\text{абс}}$ – абсолютний ефект вкладених інвестицій; $E_{\text{абс}}$ становить 257 тисяч грн;

PV –теперішня вартість початкових інвестицій PV дорівнює 98 тисяч грн.

Для нашого випадку отримаємо:

$$E_v = \sqrt[5]{1 + \frac{257}{98}} - 1 = \sqrt[5]{1 + 2,6224} - 1 = \sqrt[5]{3,6224} - 1 = 1,293 - 1 = 0,293 = 29,3 \text{ (\%)}.$$

Спрогнозуємо також величину внутрішньої дохідності вкладених інвестицій при 50% інфляції.

Тоді:

$$\begin{aligned} \text{ПП} &= \frac{93,95}{(1+0,5)^1} + \frac{145,20}{(1+0,5)^2} + \frac{213,53}{(1+0,5)^3} + \frac{281,86}{(1+0,5)^4} = \\ &= 62,63 + 64,53 + 64,15 + 55,67 = 246,98 \approx 247 \text{ (тис. грн.)}. \end{aligned}$$

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

$$E_{\text{абс}} = 247 - 98 = 149 \text{ (тис. грн.)}.$$

Внутрішня дохідність E_v вкладених інвестицій становитиме:

$$E_v = \tau_{\text{ж}} \sqrt[5]{1 + \frac{E_{\text{абс}}}{PV}} - 1 [\%], \quad (5.18)$$

де $E_{\text{абс}}$ – абсолютний ефект вкладених інвестицій; $E_{\text{абс}}$ дорівнює 149 тисяч грн;

PV – теперішня вартість початкових інвестицій PV становить 98 тисяч грн.

Для нашого випадку отримаємо:

$$E_v = \sqrt[5]{1 + \frac{149}{98}} - 1 = \sqrt[5]{1 + 1,5204} - 1 = \sqrt[5]{2,5204} - 1 = 1,203 - 1 = 0,203 = 20,3 \text{ (\%)}. \quad (5.19)$$

Зроблені розрахунки у вигляді графіків наведено на рисунку 5.1.

Аналіз графіка на рисунку 5.1 показує, що при рівні інфляції в 10% величина внутрішньої дохідності інвестицій E_v становить 46,1%, що більше порогового значення $\tau_{\text{мін}}$, що дорівнює 35% і тому комерціалізація нашої розробки буде доцільною; при рівні інфляції в 30% величина внутрішньої

дохідності інвестицій E_v становить 29,3%, що дещо менше порогового значення $\tau_{\text{мін}}$, що становить 35%, і у потенційного інвестора можуть виникнути сумніви у подальшій комерціалізації розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу; при рівні інфляції у 50% величина внутрішньої дохідності інвестицій E_v становить всього 20,3%, що значно менше порогового значення $\tau_{\text{мін}}$, що дорівнює 35%, і тому комерціалізація нашої розробки (при нинішніх умовах) буде для інвестора проблематичною.

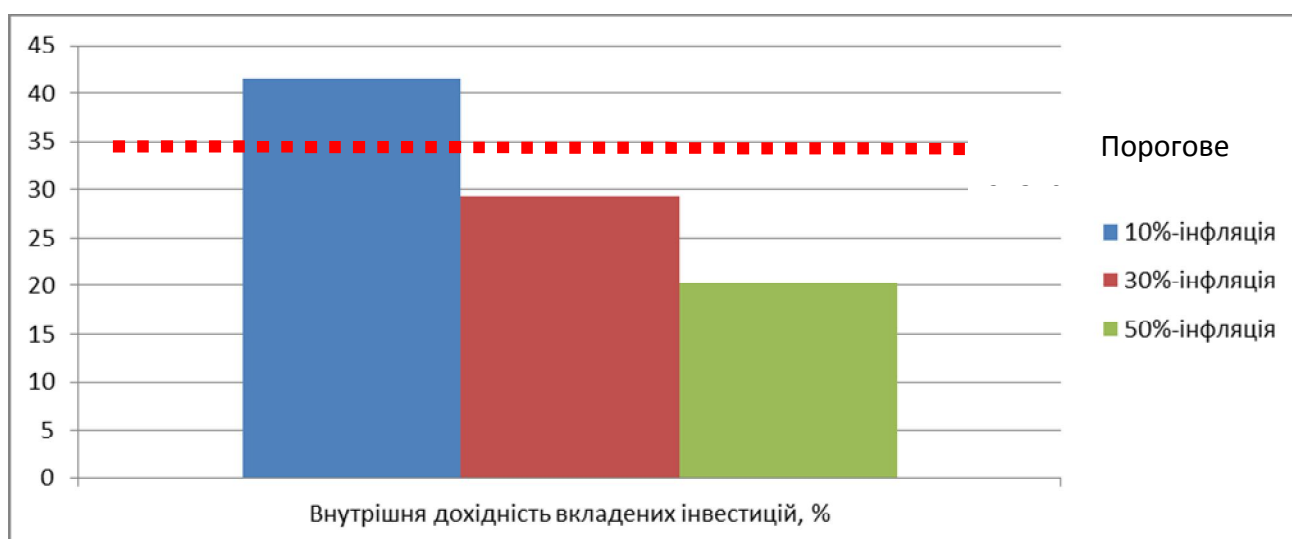


Рисунок 5.1 – Моделювання залежності величини внутрішньої дохідності потенційних інвестицій від рівня інфляції в країні

Для прийняття остаточного рішення потрібні будуть додаткові обґрунтування і рішення (наприклад, підняти ціну на розробку тощо).

Таким чином, основні техніко-економічні показники розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу, визначені у технічному завданні, виконані.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання 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 студентів процесу цифрової трансформації була досліджена існуюча в комп'ютеризованій навчальній лабораторії реалізація хімічного технологічного процесу в рамках «віртуального виробництва» уявної хімічної продукції. Досліджена предметна область цифрової трансформації аналогічних технологічних процесів, та намічені ті її напрями, які можуть вивчатися на новому навчальному засобі. Розроблена архітектура нового комп'ютеризованого навчального засобу, яка відображає і складові його частини, і основні стадії виконання проєктного практикуму.

В результаті виконання дослідницьких та проєктних робіт у розділі 2 магістерської кваліфікаційної роботи була обґрунтована модель діяльностей стадії «Моделювання існуючого автоматизованого ТП», які виконують і студент, і викладач, в ході практичного вивчення цифрової трансформації хімічного ТП. Зроблений огляд та наведені приклади основних комп'ютерних моделей, що має розробляти викладач для навчально-методичного забезпечення практичного навчання. Зроблений огляд та наведені приклади комп'ютерних моделей, що має розробляти студент в ході практичного навчання.

В результаті виконання дослідницьких та проєктних робіт у розділі 3 магістерської кваліфікаційної роботи було сформоване загальне бачення процесу виконання стадії «Аналіз реального автоматизованого ТП» при практичному вивченні цифрової трансформації хімічного ТП. На основі цього бачення був розроблений деталізований алгоритм виконання робіт студентом та викладачем в рамках даної стадії практичного навчання. Для пояснення практичного виконання такого алгоритму наведений приклад процесу виконання аналізу існуючого

хімічного АТП та виявлення його недоліків у порівнянні з властивостями/ознаками «розумного виробництва» І4.0.

В результаті виконання дослідницьких та проектних робіт у розділі 4 магістерської кваліфікаційної роботи була обґрунтована модель діяльностей заключної стадії практичного вивчення цифрової трансформації хімічного АТП, 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 хімічного АТП. В якості прикладів результатів, які студенти можуть отримати в ході практичного вивчення, було розроблений ескізний проєкт початкової цифрової трансформації даного АТП, а також концепція його поглибленої цифрової трансформації.

В економічному розділі магістерської кваліфікаційної роботи доведена висока економічна ефективність можливого впровадження нового комп'ютеризованого навчального засобу у вузах України.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Гурьянова А.В. и др. Организация цифровых производств Индустрии 4.0 на основе киберфизических систем и онтологий / А.В. Гурьянова, Д.А. Заколдаев, А.В. Шукалова, И.О. Жаринова, М.О. Костишина // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2018. – Т. 18. – № 2. – С. 268 – 277.
2. Папінов В.М. Багатофункціональна комп'ютеризована лабораторія для наскрізної практичної підготовки студентів спеціальності 151 / В.М. Папінов, Я.А. Кулик // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. – 2018. - №2(36). – С. 89-104.
3. Папінов В.М. Industrial Internet of Things: практичне вивчення на базі багатофункціональної комп'ютеризованої лабораторії / В.М. Папінов, Я.А. Кулик // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. – 2019. - №2(38). – С.122-137.
4. Папінов В.М. Автоматизований виробничий склад: гібридне моделювання в навчальній комп'ютеризованій лабораторії / В.М. Папінов // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. – 2020. - №1(39). – С.61-77 (URL : <https://oeipt.vntu.edu.ua/index.php/oeipt/article/download/571/545/632>).
5. Папінов В.М. Лабораторна імітація «навчальної фабрики»: гібридне моделювання матеріальних потоків / В.М. Папінов // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. – 2020. - №2(40). – С.65-81 (URL : <https://oeipt.vntu.edu.ua/index.php/oeipt/article/view/581>).
6. Factors for a Successful Digital Manufacturing Transformation [Електронний ресурс] . URL : <https://discover.3ds.com/6-factors-successful-digital-manufacturing>.
7. Лабораторна модель промислового хімічного реактора (фаза 1 основного технологічного процесу) / Укладач: Папінов В.М. – Вінниця, ВНТУ, 2020. – 11 с.
8. Педоренко Т.В. Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного

вивчення цифрової трансформації хімічного технологічного процесу / Т.В Педоренко, В. М. Папінов / Матеріали 51-ої Науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ) [Електронний ресурс]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2022/paper/view/14853/12588>.

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

10. Романів М. Цифрова трансформація виробничого підприємства [Електронний ресурс] . URL : <https://industry4-0-ukraine.com.ua/>.

11. 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/>.

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

13. NathanFurr, Andrew Shipilov, DidierRouillard, AntoineHemon-Laurens. The 4 Pillars of Successful Digital Transformations [Електронний ресурс]. URL : <https://hbr.org/2022/01/the-4-pillars-of-successful-digital-transformations>.

14. 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.

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

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

17. Технологический процесс [Електронний ресурс]. URL : http://opiobjektid.tptlive.ee/Automatiseerimine/3___.html.
18. Ansys free student downloads: Master simulation skills to solve real-life problems [Електронний ресурс]. URL : <https://interestingengineering.com/innovation/ansys-free-student-downloads-master-simulation-skills-to-solve-real-life-problems..>
19. Solidworks CFD Tutorial | Free Surface | Transient Explorer | Which Bottle will fill first and when [Електронний ресурс]. URL : <https://youtu.be/NV5Tnz2BL4Q>.
20. Digital Transformation in the Manufacturing Industry [Електронний ресурс]. URL : <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=U0FjPgF5ZsA>.
21. 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.
22. 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.
23. Implementing Industrie 4.0: This is how it works! [Електронний ресурс]: Festo Corporate. URL : <https://youtube/ZCLHojIj7eA>.
24. Индустрия 4.0 – будущее технического образования [Електронний ресурс]: Ua.Automation.com. URL : <http://ua.automation.com/content/industrija-40-budushhee-tehnicheskogo-obrazovanija>.
25. 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.
26. 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.

27. 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>.

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

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

30. 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.

31. 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.

32. 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.

33. 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.

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

35. Трехмерная эталонная архитектурная 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-dbc8-47c8-8f1a-dc915d263cd3/605016fb-ed97-4b22-a6fb-de1f93556226/605016fb-ed97-4b22-a6fb-de1f93556226

36. Система управления жизненным циклом создает условия инвестиционной безопасности для производителей и пользователей / [Электронный ресурс]. URL : https://www.phoenixcontact.com/online/portal/ru?1dmy&urile=wcm%3apath%3a/ruru/web/offcontext/insite_landing_pages/1323f37f-e566-4009-8645-661c715cea23/6ddf5dfb-dbc8-47c8-8f1a-dc915d263cd3/e3a1dea8-20e3-4e25-a3ba-f9836a1c99a8/e3a1dea8-20e3-4e25-a3ba-f9836a1c99a8).

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

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

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

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

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

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

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

44. 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=i0sRdхpOz00>.

45. Computational Fluid Dynamics (CFD) in the past and today for mixing

tanks [Електронний ресурс] : ЕКАТО/ URL : <https://www.youtube.com/watch?v=Dc4zlwxd84>.

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

47. Прохоров А. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт / А. Прохоров, М. Лысачев. – М.: ООО «АльянсПринт», 2020. – 401 с.

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

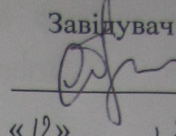
ДОДАТКИ

ДОДАТОК А
(обов'язковий)

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

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри АІТ

 Бісікало О.В.

«12» 12 2022 р.

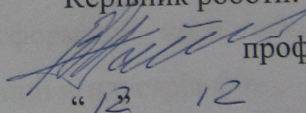
ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на науково-дослідну роботу

«Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення цифрової трансформації хімічного технологічного процесу»

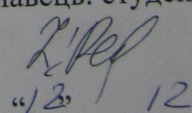
08-02.МКР.007.00.000 ТЗ

Керівник роботи:

 проф. Папінов В.М.

«12» 12 2022 р.

Виконавець: студентка гр. 1АКІТ-21м

 Педоренко Т.В.

«12» 12 2022 р.

Вінниця – 2022 рік

1 Назва і галузь застосування

Комп'ютеризований навчальний засіб (КНЗ) для практичного вивчення цифрової трансформації хімічного технологічного процесу.

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

2 Підстава для виконання НДР

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

3 Мета та призначення НДР

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є створення на основі існуючого інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне виробництво» КНЗ для практичного вивчення студентами спеціальності 151 методів та засобів цифрової трансформації його основного хімічного технологічного процесу в рамках 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 проектних задач, сприяє більш глибокому вивченню студентом теоретичного матеріалу навчальних дисциплін, а також дає можливість сформуванню у студента відповідні професійно-орієнтовані практичні уміння та навички проектування.

4 Джерела НДР

Джерелами розробки є такі:

1. Папінов В.М. Багатофункціональна комп'ютеризована лабораторія для наскрізної практичної підготовки студентів спеціальності 151 / В.М. Папінов, Я.А. Кулик // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. – 2018. - №2(36). – С. 89-104.

2. Папінов В.М. Лабораторна імітація «навчальної фабрики»: гібридне моделювання матеріальних потоків / В.М. Папінов // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. – 2020. - №2(40). – С.65-81.

3. Папінов В.М. Industrial Internet of Things: практичне вивчення на базі багатофункціональної комп'ютеризованої лабораторії / В.М. Папінов, Я.А. Кулик // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. – 2019. - №2(38). – С.122-137.

4. Папінов В.М. Автоматизований виробничий склад: гібридне моделювання в навчальній комп'ютеризованій лабораторії / В.М. Папінов // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. – 2020. - №1(39). – С.61-77.

5. Пупена О.М. Автоматизовані системи управління виробництвом (MES-рівень): курс лекцій для студ. освіт. ст. "магістр" спец. 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" спеціалізації "Інтегровані автоматизовані системи управління " денної та заочної форм навчання / О.М. Пупена, Р.М. Міркевич. - К.: НУХТ, 2016. -135 с.

5 Показники призначення НДР

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

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

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

Задачі, що вирішуються в ході НДР:

1. Детальне вивчення існуючої реалізації інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне виробництво».
2. Дослідження методів та засобів цифрової трансформації існуючого виробництва у перспективне «розумне» цифрове виробництво.
3. Техніко-економічне та науково-технічне обґрунтування загального бачення нового КНЗ.
4. Розробка технічного завдання на науково-дослідну роботу.
5. Проектування 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 1.18. Ця архітектура будується на основі таких моделей, існуючих в лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка» ФІПА:

- на фізичній моделі хімічного технологічного процесу (ТП);
- на організаційній моделі «віртуального виробництва»;
- на програмно-технічній імітаційній моделі інтегрованої автоматизованої системи управління (ІАСУ) «віртуальним виробництвом» в цілому та окремими його технологічними процесами.

Архітектура нового КНЗ відображає послідовність практичного вивчення студентом усіх основних стадій процесу цифрової трансформації існуючого автоматизованого хімічного ТП, який моделюється в лабораторії, у аналогічний ТП 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 автоматизованого ТП на реальному виробничому підприємстві (виконується студентом у вигляді самостійного дослідження предметної області та отримання необхідних консультацій від викладача);

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

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

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

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

- пошук способу вдосконалення існуючого автоматизованого ТП за рахунок впровадження сучасних цифрових технологій, які лежать в основі

«розумного» виробництва в рамках концепції «Індустрія 4.0» (виконується студентом з використанням доступних інформаційних ресурсів Інтернет та навчально-методичними матеріалами, наданих викладачем).

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

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

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

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 Економічно-технічні показники НДР

До основних економічних показників розробки треба віднести такі:

- термін окупності інвестицій до 3 років;
- витрати на розробку навчального засобу, тис. грн.. – до 50,0 ;
- абсолютний ефект від впровадження, тис. грн.. – не менше 400,0;
- внутрішня дохідність інвестицій, % – не менше 35 ;

7 Етапи НДР

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

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

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

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

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

8 Порядок контролю та приймання НДР

8.1 Рубіжний контроль – 02.12.22 р.

8.2 Попередній захист – 12.12.22 р.

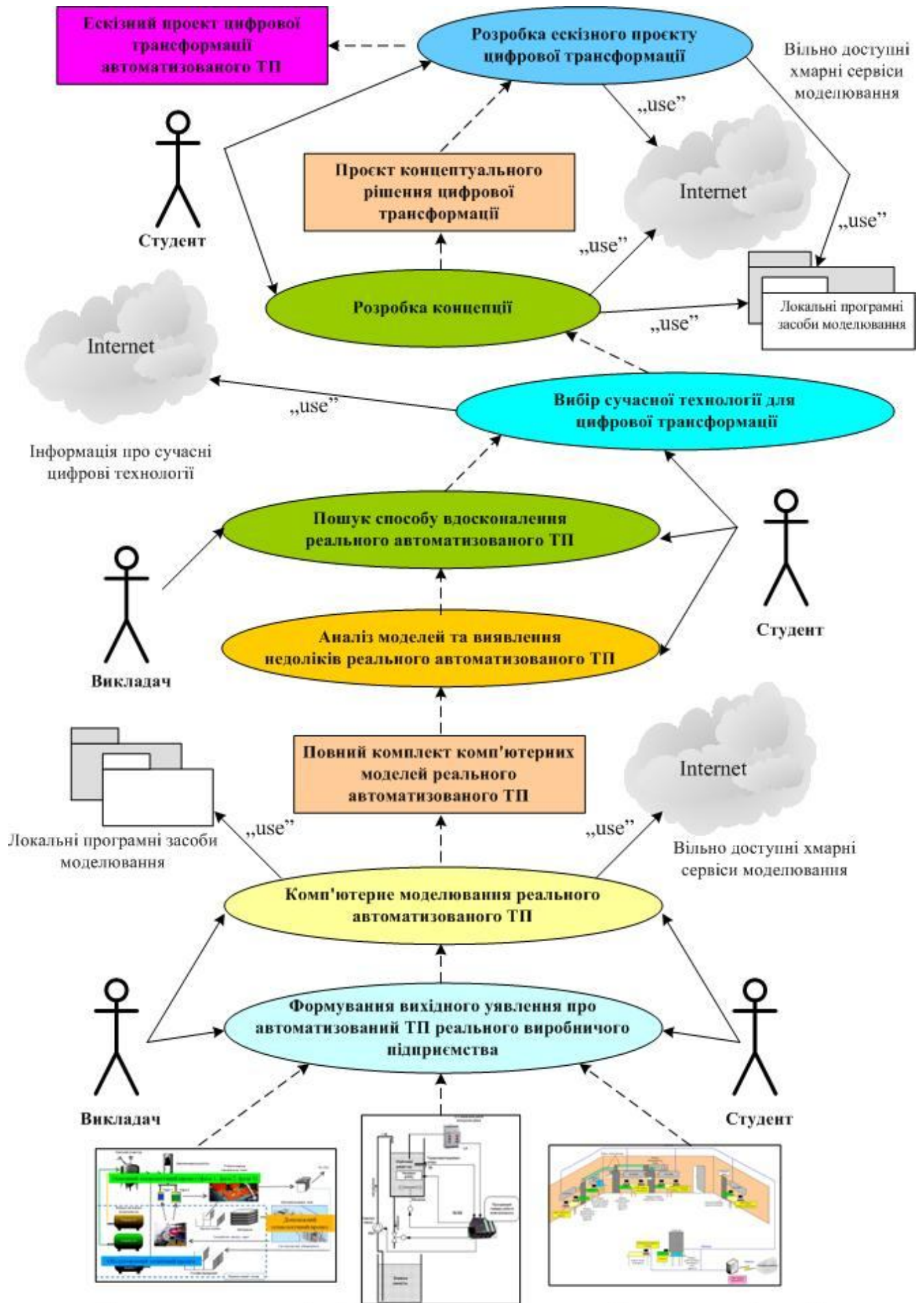
8.3 Захист роботи – в період з 16.12.22 р. по 30.12.22 р. за графіком, встановленим кафедрою АІТ.

ДОДАТОК Б

(обов'язковий)

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

**КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАСІБ ДЛЯ ПРАКТИЧНОГО
ВИВЧЕННЯ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ХІМІЧНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО
ПРОЦЕСУ**



Фізична та програмна реалізація ІАСУ технологічним процесом „віртуального виробництва”

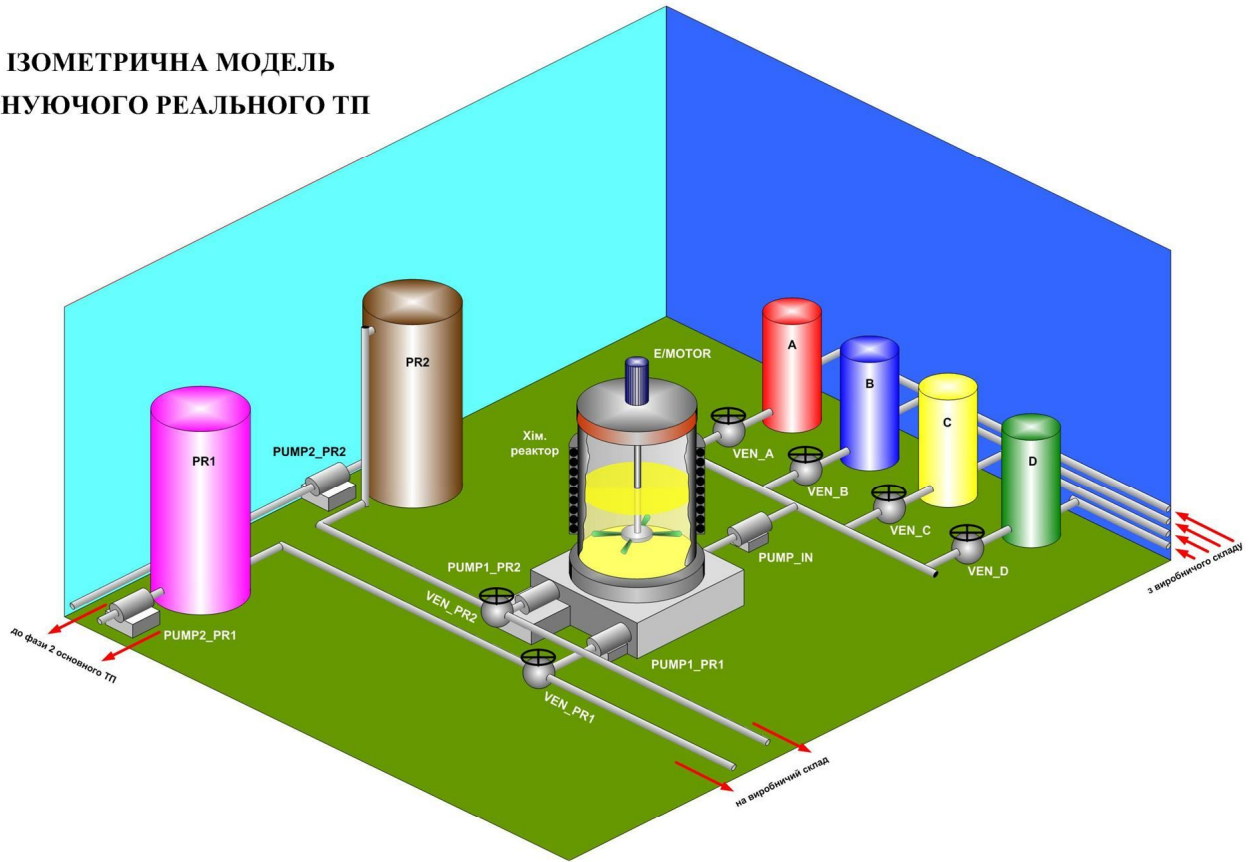
ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ "МОДЕЛЮВАННЯ ІСНУЮЧОГО АТП"

Фізична область лабораторної ІАСУ „віртуальним виробництвом”

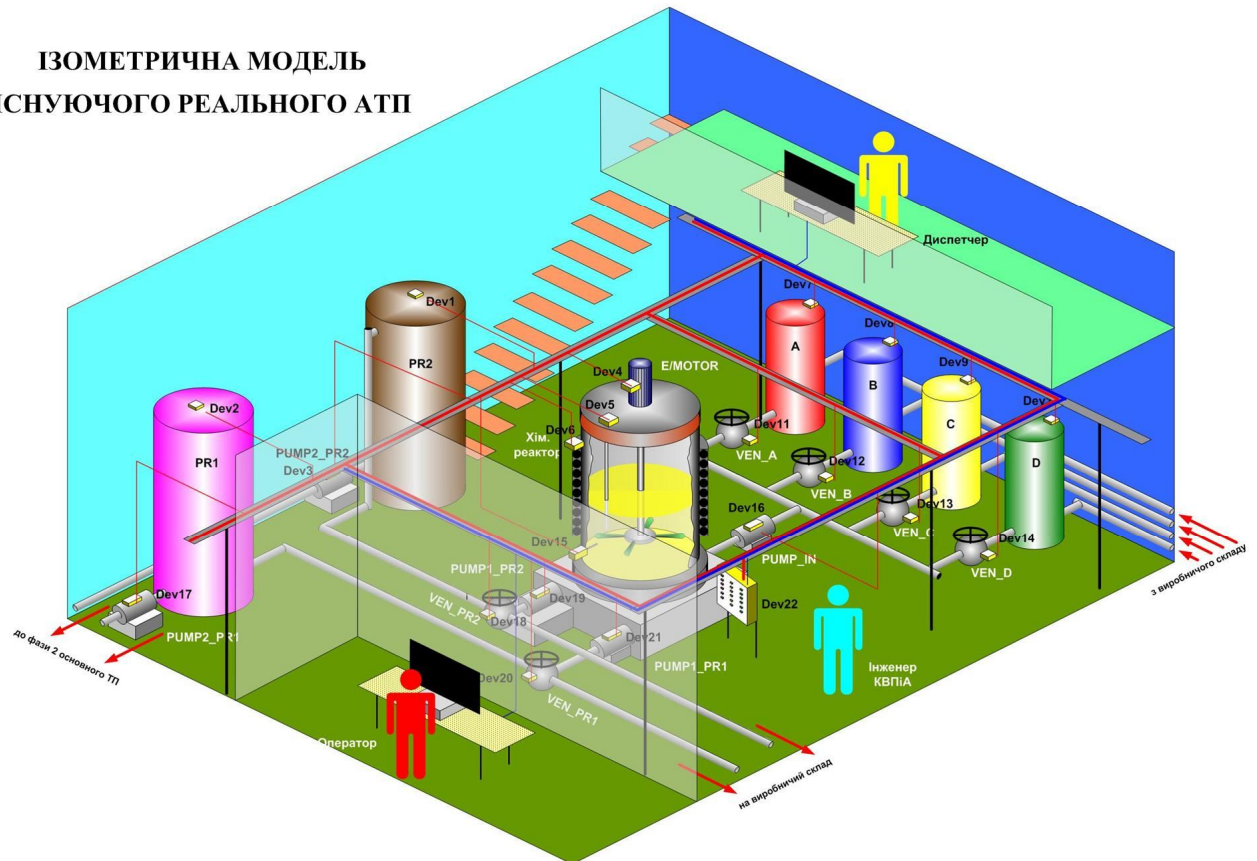


МОДЕЛЮВАННЯ ІСНУЮЧОГО РЕАЛЬНОГО АТП

ІЗОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ
ІСНУЮЧОГО РЕАЛЬНОГО АТП

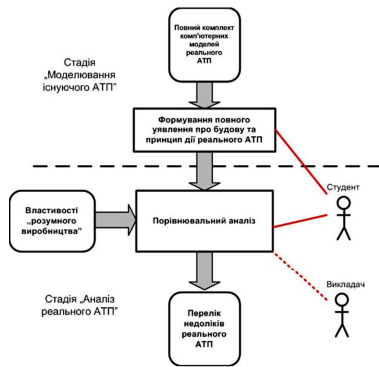


ІЗОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ
ІСНУЮЧОГО РЕАЛЬНОГО АТП

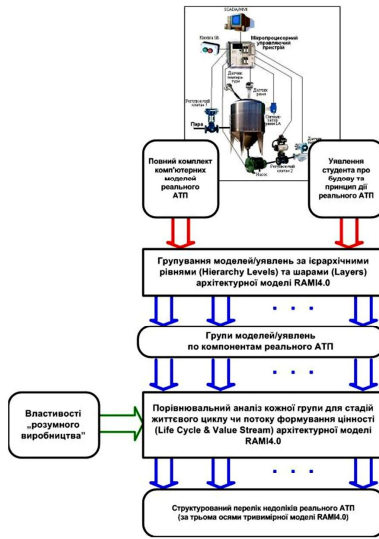


ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ "АНАЛІЗ РЕАЛЬНОГО АТП"

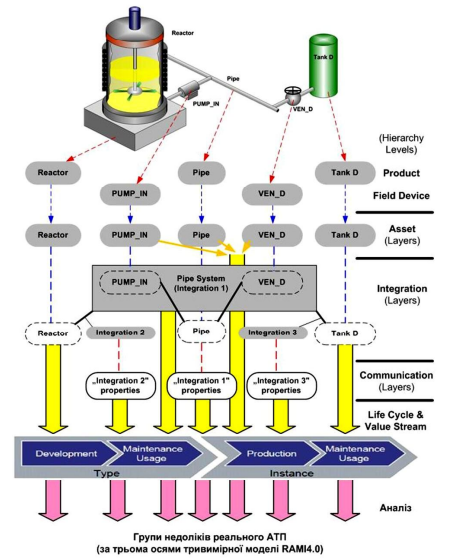
ЗАГАЛЬНЕ БАЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ



АЛГОРИТМ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ



ПРИКЛАД ПРАКТИЧНОГО ВИКОНАННЯ СТАДІЇ



ПРОЄКТ АРХІТЕКТУРИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АТП ДЛЯ І4.0

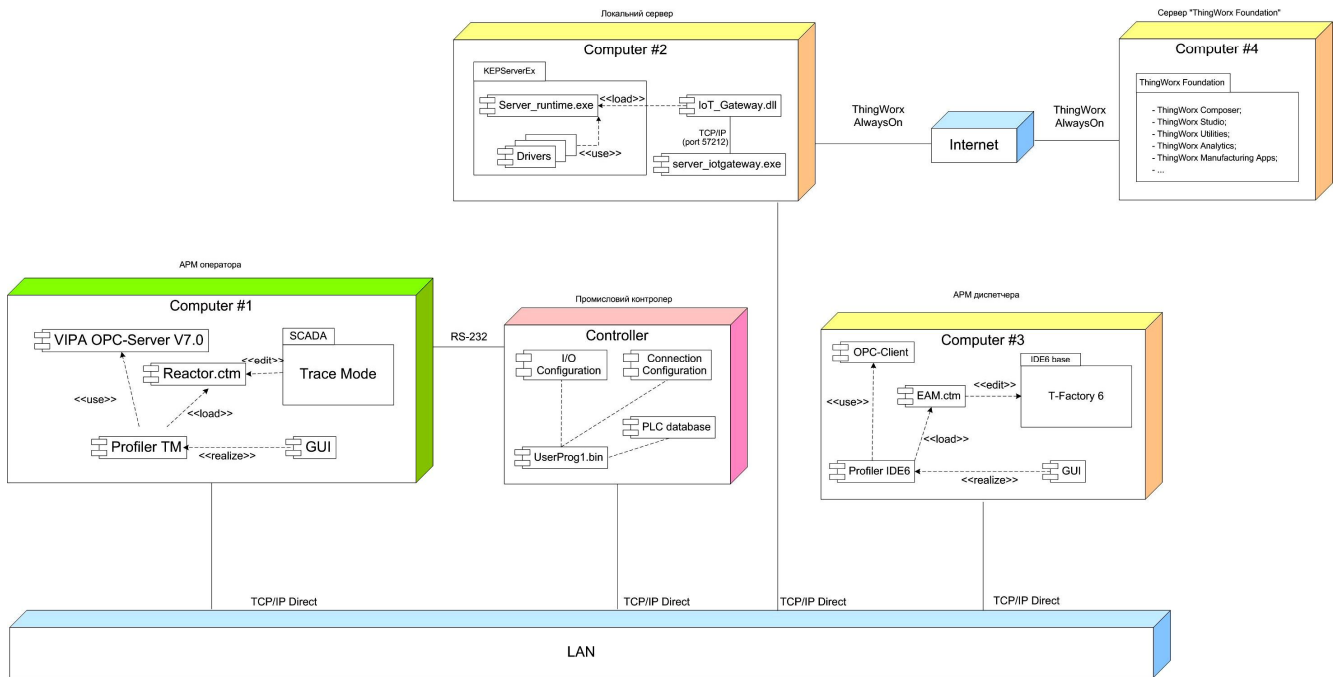
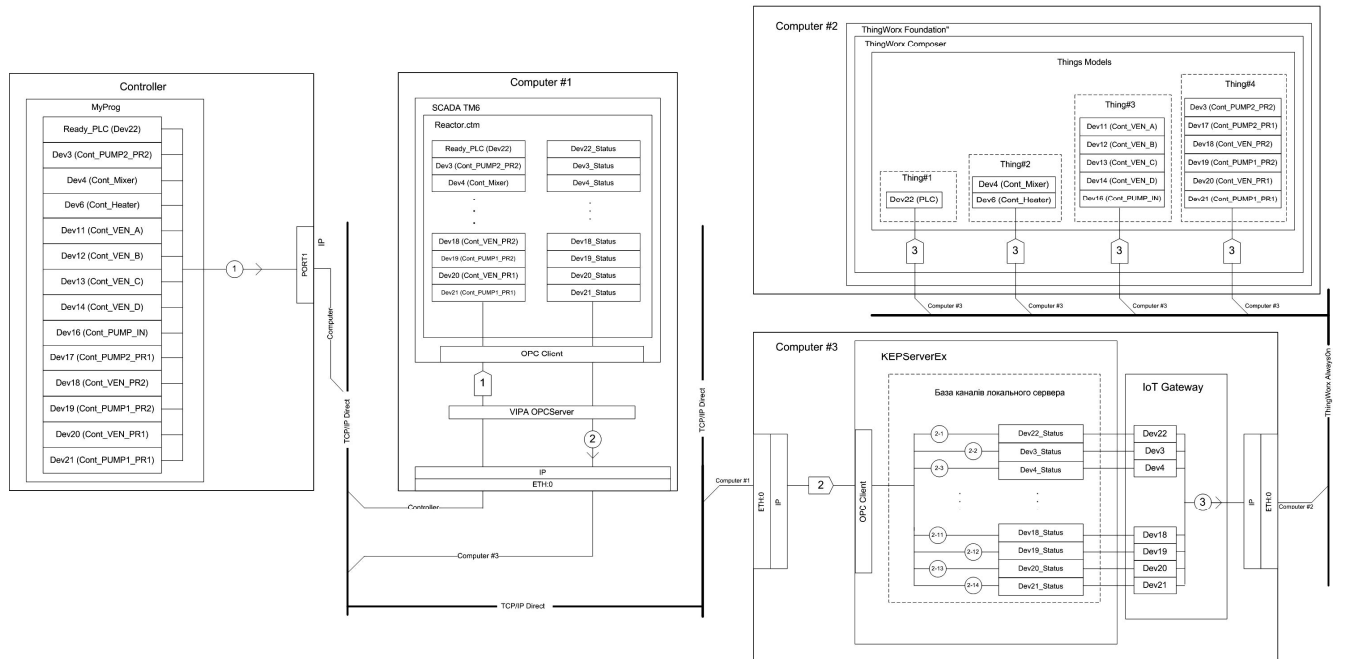


СХЕМА МЕРЕЖНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ АТП ДЛЯ І4.0



ДОДАТОК В
(довідковий)

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ
НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ**

Назва роботи: *Магістерська кваліфікаційна робота*
«Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення
цифрової трансформації хімічного технологічного процесу

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

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

Науковий керівник: Папінов В.М., проф. каф. АІТ
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

<i>Plagiat.pl (StrikePlagiarism)</i>		<i>Unicheck</i>	
КП1	-	Оригінальність	97.5%
КП2	-		
Тривога/Білі знаки	/	Схожість	2.5%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

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

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

Автор _____ Педоренко Т.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення: Допустити до захисту

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