

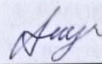
Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра комп'ютерних систем управління

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

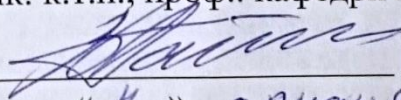
**«Навчальний засіб на основі ORcenter Intelligence для цифрової
трансформації типу системи автоматизації»**

Виконала: студентка 2 курсу, групи ЗАКІТР-23м,
спеціальності 174 – «Автоматизація, комп'ютерно-
інтегровані технології та робототехніка».



Анастасія ЮХИМЕНКО

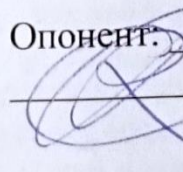
Керівник: к.т.н., проф., кафедри АІІТ



Володимир ПАПІНОВ

« 4 » грудня 2024 р.

Опонент:



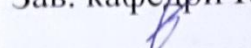
доцент каф. АІІТ

КОСТЯНТИН ОВЧИННИКОВ

« 4 » 12 2024 р.

Допущено до захисту:

Зав. кафедри КСУ, д.т.н., проф.



В'ячеслав КОВТУН

« 4 » 12 2024 р.

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри КСУ

В'ячеслав КОВТУН

“ 14 ” жовтня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

Юхименко Анастасії Олегівни

1. Тема роботи Навчальний засіб на основі OPcenter Intelligence для цифрової трансформації типу системи автоматизації

керівник роботи Папінов Володимир Миколайович, к.т.н., проф. каф. АІТ,

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

затверджені наказом ВНТУ № 310 від 17 вересня 2024 р.

2. Строк подання студентом роботи 1 грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальний засіб (НЗ) призначений для забезпечення практикумів професійних дисциплін "Кіберфізичні системи автоматизації виробництва" (4 курс бакалаврської підготовки) та "Промисловий Інтернет речей" (1 курс магістерської підготовки); НЗ повинен створювати умови для індивідуальної когнітивної діяльності студентів при рішенні реальних проектних задач, сприяти більш глибокому вивченню студентами теоретичного матеріалу вказаних навчальних дисциплін, а також давати можливість сформулювати у студентів відповідні професійно-орієнтовані практичні уміння та навички проєктування цифрової трансформації реальних автоматизованих технічних та технологічних процесів; НЗ повинен будуватися з застосуванням таких існуючих лабораторних моделей: програмно-технічних імітаційних моделей промислових технологічних/технічних процесів (ТП), організаційної імітаційної моделі «віртуальне виробництво» та програмно-технічній імітаційній моделі інтегрованої системи автоматизації (ІСА) процесів «віртуального виробництва»

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

1) Науково-технічне обґрунтування роботи. 2) Проєктування процесу виконання стадії «Моделювання типу системи автоматизації». 3) Проєктування процесу виконання стадії «Аналіз типу системи автоматизації». 4) Проєктування процесу виконання стадії «Цифрова трансформація типу системи автоматизації»

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

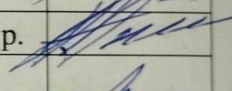
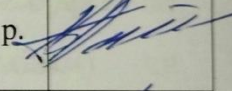
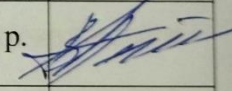
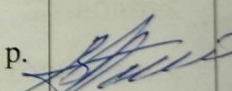
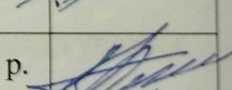
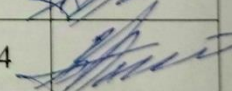
1) Архітектура комп'ютеризованого навчального засобу. 2) Проєктування процесу виконання стадії «Моделювання типу системи автоматизації». 3) Моделювання типу системи автоматизації. 4) Проєктування процесу виконання стадії "Аналіз типу системи автоматизації". 5) Проєктування процесу виконання стадії «Цифрова трансформація типу системи автоматизації». 6). Приклад виконання проєктів цифрової трансформації типу системи автоматизації

6. Консультанти розділів роботи

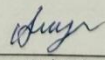
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв

7. Дата видачі завдання "14" жовтня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

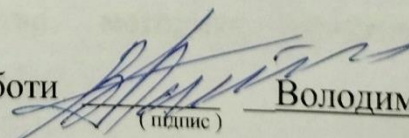
Назва та зміст етапу	Термін виконання		Примітка
	початок	закінчення	
1. Науково-технічне обґрунтування роботи	02.09.24 р.	15.10.24 р.	
2. Розробка технічного завдання	02.09.24 р.	15.10.24 р.	
3. Проектування процесу виконання стадії «Моделювання типу системи автоматизації»	16.10.24 р.	31.10.24 р.	
4. Проектування процесу виконання стадії «Аналіз типу системи автоматизації»	01.11.24 р.	15.11.24 р.	
5. Проектування процесу виконання стадії «Цифрова трансформація типу системи автоматизації»	16.11.24 р.	25.11.24 р.	
6. Оформлення пояснювальної записки	26.11.24 р.	30.11.24 р.	
7. Захист роботи	09.12.24	29.12.24	

Студентка


(підпис)

Анастасія ЮХИМЕНКО

Керівник роботи


(підпис)

Володимир ПАПІНОВ

АНОТАЦІЯ

УДК 378.162+681.51

Юхименко А.О. Навчальний засіб на основі OPcenter Intelligence для цифрової трансформації типу системи автоматизації. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», освітня програма – Інформаційні системи і Інтернет речей. Вінниця: ВНТУ, 2024, 138 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 51 назв; рис.: 62; табл. 4.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є створення для студентів спеціальності 174 - «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» нового комп'ютеризованого навчального засобу на основі існуючої лабораторної імітації автоматизованого «віртуального» виробництва, що забезпечить ефективне вивчення студентами сучасних методів та засобів цифрової трансформації типу системи автоматизації. 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). Впровадження комп'ютеризованого навчального засобу у навчальний процес дозволить підвищити ефективність практичної підготовки студентів за рахунок використання доступних локальних або «хмарних» віртуальних інструментів проєктування цифрової трансформації типу системи автоматизації.

Графічна частина складається з 6 плакатів із результатами проєктування.

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

ABSTRACT

Yuhimenko A.O. Training tool based on OPcenter Intelligence for the digital transformation of the type of automation system. Vinnytsia: VNTU, 2024, 137 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 51 titles; Fig.: 62; table 4.

The purpose of the master's qualification thesis is to create for students of the specialty 174 - "Automation, computer-integrated technologies and robotics" a new computerized educational tool based on the existing laboratory simulation of automated "virtual" production, which will ensure students' effective study of modern methods and means of digital transformations of the type of automation system. The computerized educational tool is designed to provide practicums of the professional disciplines "Cyber-physical production automation systems" (4th year of bachelor's training) and "Industrial Internet of Things" (1st year of master's training). The introduction of a computerized educational tool into the educational process will increase the efficiency of practical training of students due to the use of available local or "cloud" virtual tools for designing digital transformation of this type of automation system.

The graphic part consists of 6 posters with the design results.

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

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ	7
1.1 Цифрова трансформація виробничого підприємства	7
1.2 Аналіз існуючого типу системи автоматизації	13
1.3 Цифрова трансформація аналогічних систем автоматизації.....	18
1.4 Розробка архітектури нового навчального засобу.....	30
1.5 Висновки до розділу	35
2 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ	
«МОДЕЛЮВАННЯ ТИПУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ»	36
2.1 Розробка моделі діяльності	36
2.2 Розробка моделей існуючого типу СА актором «Викладач»	42
2.3 Розробка моделей існуючого типу СА актором «Студент»	50
2.4 Висновки до розділу	58
3 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ	
«АНАЛІЗ ТИПУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ»	60
3.1 Загальне бачення	60
3.2 Розробка алгоритму виконання аналізу	70
3.3 Приклади виконання аналізу реального типу СА.....	76
3.4 Висновки до розділу	81
4 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «ЦИФРОВА	
ТРАНСФОРМАЦІЯ ТИПУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ»	82
4.1 Означення основних діяльності	82
4.2 Дослідження предметної області І4.0 промислової автоматизації.	85
4.3 Приклад виконання цифрової трансформації реального АТП.....	95
4.4 Висновки до розділу	111
ВИСНОВКИ	113
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	115
ДОДАТКИ.....	121
Додаток А (обов'язковий) Протокол перевірки магістерської	

кваліфікаційної роботи	122
Додаток Б (обов'язковий) Технічне завдання на виконання магістерської кваліфікаційної роботи	123
Додаток В (обов'язковий) Ілюстративна частина	128

ВСТУП

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

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

На кафедрі АІТ ВНТУ, починаючи з 2015 року, активно розвивається та впроваджується у навчальний процес аналогічне освітнє середовище у вигляді лабораторної імітації «навчальної фабрики» [7, 8]. Воно побудоване на основі комп'ютеризованої навчальної лабораторії, де реалізовані автоматизовані системи управління різноманітними фізичними та імітаційними моделями технологічних та технічних процесів. Для утворення лабораторної імітації «навчальної фабрики» усі ці автоматизовані процеси зв'язані між собою логічними зв'язками, що відповідають схемі комп'ютерно-інтегрованого «віртуального» виробництва,

побудованого за концепцією «CIM, Computer Integrated Manufacturing»). У реальному виробництві саме ці логічні зв'язки являють собою різноманітні матеріальні потоки, що реалізуються відповідною транспортною системою підприємства.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є створення на основі даної лабораторної імітації «навчальної фабрики» нового комп'ютеризованого навчального засобу для практичного вивчення студентами спеціальності 174 методів та засобів цифрової трансформації її системи автоматизації у відповідності до вимог концепції «Індустрія 4.0» [9-11].

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

Предметом досліджень є підвищення ефективності практичного вивчення студентами методів та засобів цифрової трансформації існуючого типу промислової системи автоматизації у «розумну» кіберфізичну систему за рахунок використання в лабораторному практикумі сучасного комп'ютеризованого навчального засобу.

Задачі виконання магістерської кваліфікаційної роботи:

1. Дослідження системи автоматизації «віртуального» виробництва та виявлення її недоліків у порівнянні з вимогами концепції «Індустрія 4.0».
2. Дослідження існуючих методів та засобів цифрової трансформації систем автоматизації для «розумного» цифрового підприємства.
3. Науково-технічне обґрунтування загальної архітектури нового комп'ютеризованого навчального засобу.
4. Розробка технічного завдання на виконання магістерської кваліфікаційної роботи.
5. Проектування процесу виконання стадії «Моделювання типу системи автоматизації».
6. Проектування процесу виконання стадії «Аналіз типу системи автоматизації».
7. Проектування процесу виконання стадії «Цифрова трансформація типу

системи автоматизації».

Наукова новизна отриманих результатів дослідження полягатиме в тім, що на відміну від існуючих комп'ютеризованих навчальних засобів, новий засіб будується на основі лабораторного автоматизованого «віртуального» виробництва, що дозволяє підвищити ефективність практичної підготовки студентів за рахунок використання доступних локальних або «хмарних» віртуальних інструментів проєктування цифрової трансформації системи автоматизації даного виробництва.

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: перші результати виконання магістерської кваліфікаційної роботи були опубліковані в матеріалах 53-ої науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ) (Вінниця, ВНТУ, 2024 р.) [12].

1 НАУКОВО ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ

1.1 Цифрова трансформація виробничого підприємства

З моменту своєї появи декількома роками раніше Інтернет речей (IoT - Internet of Things) зробив воістину приголомшливий вплив на промисловий і виробничий світ [13]. Візьмемо італійську дійсність: там 92% всіх підприємств - середні або малі, що представляють різноманітні сценарії розвитку, серед яких можна знайти безліч прикладів передового досвіду й цифрових інновацій. Звичайно сучасні шляхи розвитку приводять до ринкового успіху, як на національному, так і на міжнародному рівні. Інтернет речей став не тільки важливим інструментом для вивчення й моніторингу прогресу виробничих процесів з метою оптимізації продуктивності й витрат, але також і фундаментальним фактором, здатним допомогти компаніям поліпшити якість своїх процесів і кінцевих продуктів.

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

Розглянемо базовий сценарій цифрової трансформації виробництва. На сьогоднішній день більшість виробничих підприємств характеризується високою диверсифікацією виробничої системи, хоча часто вона ще слабо відцифрована. Включення всіх механізмів у єдину систему дозволяє організувати взаємодію з виробничим обладнанням. Це робиться з метою збору цінних даних для моніторингу ефективності виробничої системи в реальному часі. Завдяки цифровому зв'язку стає можливим контролювати фактичний час доступності обладнання, швидкість його роботи й частоту помилок (так званий OEE-index - OverallEquipmentEffectiveness, індекс загальної ефективності обладнання). У результаті з'являється можливість цифрового зворотного зв'язку й контролю робочих параметрів прямо з MES-систем керування виробництвом. Дані, зібрані й

використовувані в режимі реального часу, зберігаються для аналізу з метою добування корисної для планування й оптимізації процесів інформації, наприклад, аналізу тенденцій, відхилень і повторюваних помилок, а також кореляції між проблемами й можливими їхніми джерелами (або сприятливими їм обставинами), ці закономірності виявляються промисловими аналітиками.

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

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

- тепловізійні камери дозволяють контролювати й вимірювати температуру продуктів на різних етапах обробки, формуючи термографічні зображення високого вирішення й з високою частотою відновлення або ідентифікуючи гарячі й холодні точки навіть у об'єктів, що рухаються. Їх можна використовувати, наприклад, у скляній промисловості, де вони можуть бути корисні для виявлення можливих аномалій у виробництві пляшок, банок, пробірок, стекол. Точно так само

вони можуть застосовуватися у виробництві металів (наприклад, в автомобілебудуванні), у гумовій промисловості (вулканізація), при виробництві пластмасових виробів шляхом термічного формування (при виготовленні панелей або інших предметів навіть зі складною геометрією) і так далі;

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

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

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

Інформація, зібрана цими спеціалізованими датчиками, додається до інформації від машини на виробничій лінії і являє собою базу даних надзвичайної цінності для компаній. Ця інформація дозволяє не тільки досконально зрозуміти й

поліпшити якість виробничих процесів, але й знизити кількість дефектів, краще використовувати сировину й необхідні ресурси, скоротити кількість браку й відходів, а також сприяє тому, щоб діяльність компанії стала більш екологічно безпечною.

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

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

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

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

Щоб краще зрозуміти, як Інтернет речей може підвищити здатність компанії

до вдосконалювання з погляду якості, можна розглянути кілька прикладів конкретного застосування.

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

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

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

кінцевого продукту. Дані, зібрані за допомогою додаткових датчиків, можуть бути використані для створення цифрових моделей обладнання в реальному часі. Імітаційна модель, у свою чергу, дозволяє випробувати варіанти процесів до того, як вони будуть розгорнуті у виробничих системах.

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

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

Який же шлях цифрової трансформації виробництва?

Важко запропонувати універсальний рецепт, застосовний у будь-якому контексті. Якщо компанія вже встала на шлях цифрових інновацій, то IoT на такому виробництві, безумовно, не є чимсь новим.

Якщо ж компанія робить свої перші кроки або планує почати освоєння цього нового шляху, то їй, імовірно, знадобиться консультант, що допоможе настроїти послідовний процес.

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

- робота із замовником для виявлення й аналізу вимог і, саме головне, очікувань для побудови чіткої дорожньої карти, при цьому завжди повинні бути ясні кінцеві цілі процесу цифровізації виробництва;

- робота із промисловими партнерами (такими як спеціалізовані виробники датчиків) для визначення характеристик різних датчиків, які передбачається вбудовувати в промислове обладнання;

- робота з виробниками обладнання для визначення й перевірки можливих рішень по інтеграції додаткових пристроїв у машину або у виробничу лінію без впливу на нормальну роботу виробничих процесів;

- забезпечення інтеграції із заводськими інформаційними системами (MES, ERP);

- оцінка можливості інтеграції різних технологій, протоколів, джерел даних, алгоритмів із загальною ціллю поліпшення й оптимізації якості виробництва;

- забезпечення можливості поступової еволюції рішень, а також їхньої сумісності з новими вимогами або більш пізніми технологічними розробками, такими як 5G.

1.2 Аналіз існуючого типу системи автоматизації

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

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

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

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

На рис. 1.1 показана загальна схема даного виробничого процесу, який

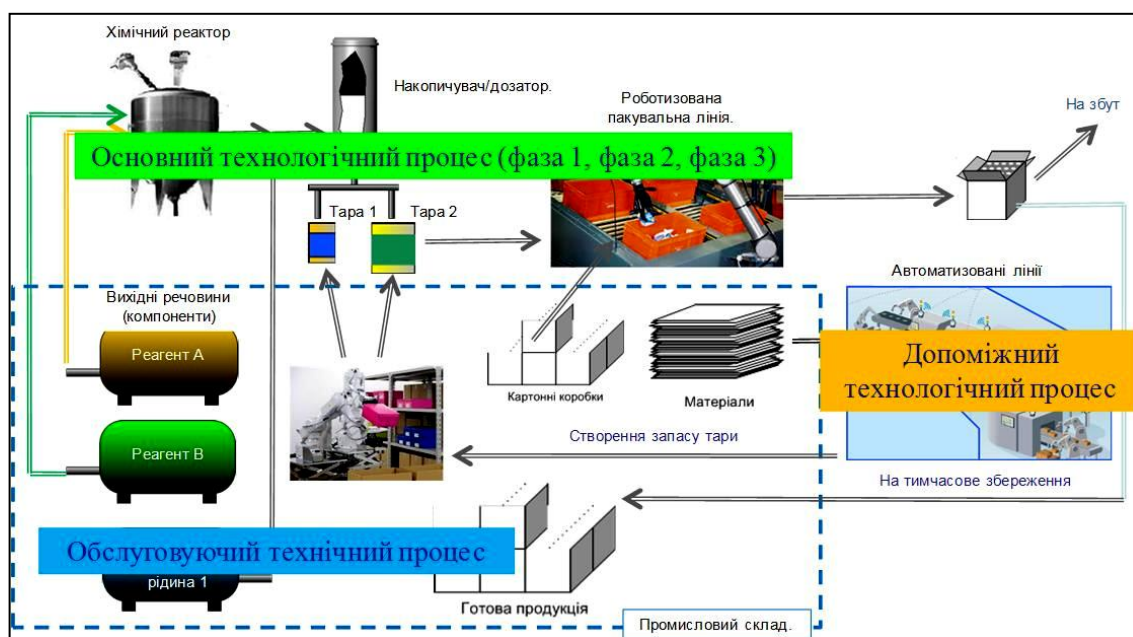


Рисунок 1.1 – Складові процеси «віртуального виробництва» хімічної продукції

складається з основного і допоміжного технологічних процесів, а також обслуговуючого технічного процесу промислового складу

На цьому лабораторному «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 [14-16]. На рис. 1.2 наведена схема матеріальних потоків такого «віртуального виробництва», які здійснюються «віртуальними» промисловими конвеєрами у вигляді світлових імітаційних моделей [17].

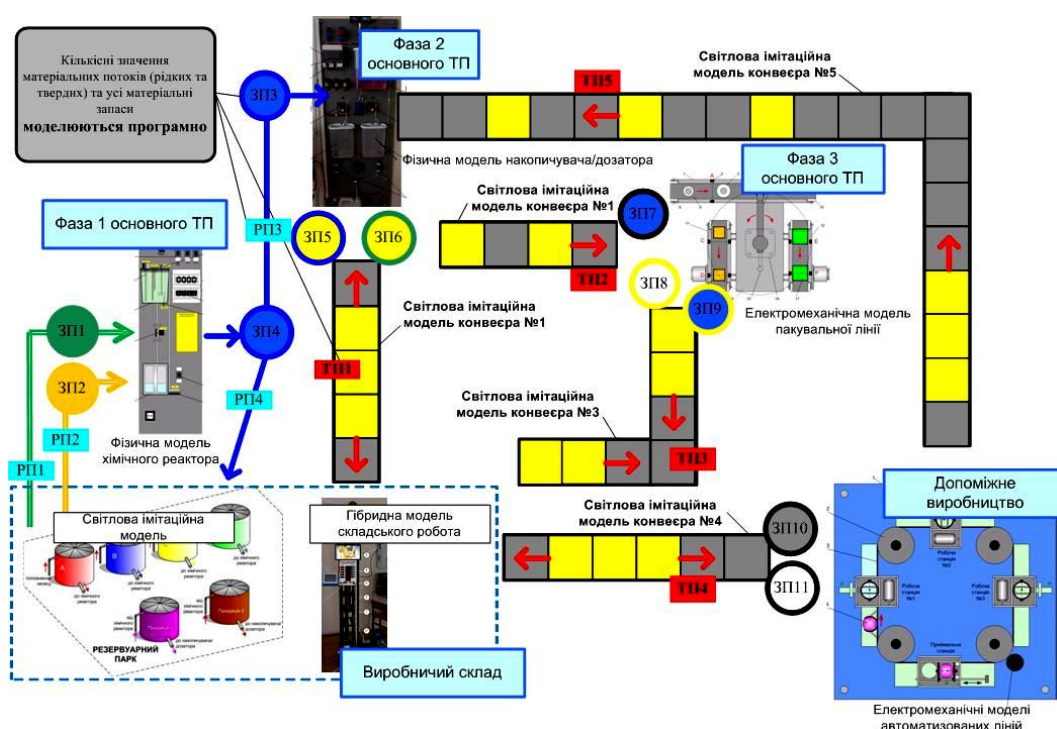


Рисунок 1.3 – Моделювання промислових конвеєрів на «віртуальному виробництві»

На рис. 1.4 показаний план приміщення лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка», на якому означений спосіб з'єднання окремих конструкцій імітаційних моделей конвеєрів в єдине ціле.

На рис. 1.5 показана загальна схема матеріального забезпечення рідкими

ресурсами усього «віртуального виробництва» хімічної продукції, яка побудована на основі промислового трубопровідного транспорту.

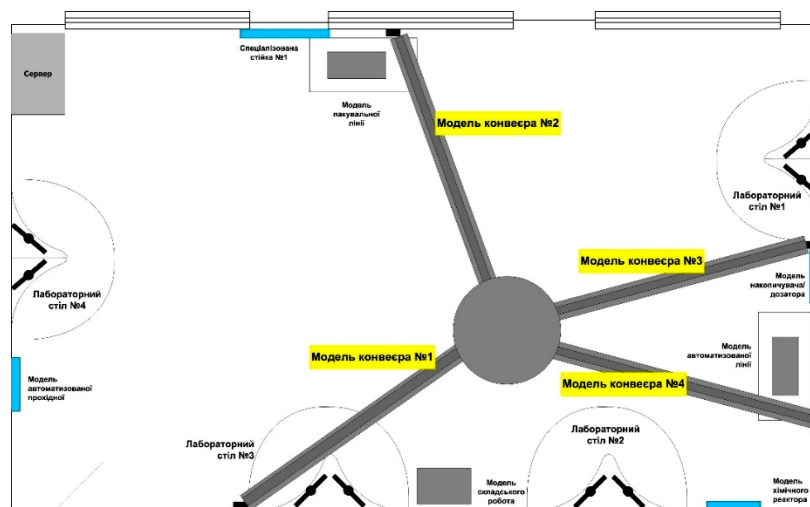


Рисунок 1.4 – Розміщення імітаційних моделей конвеєрів в приміщенні лабораторії

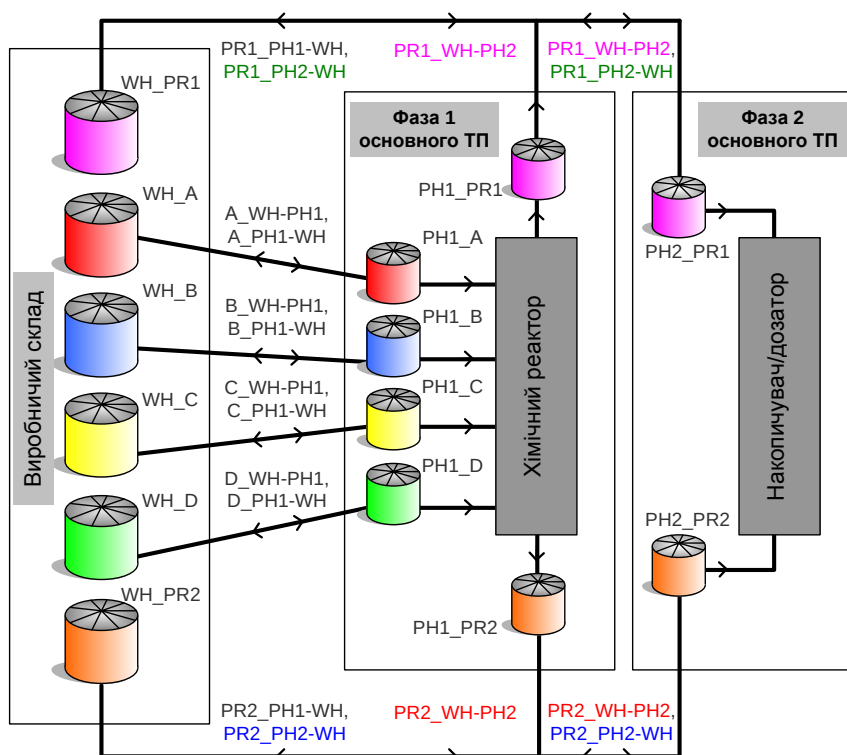


Рисунок 1.5 – Загальна схема матеріального забезпечення періодичного «віртуального виробництва» рідкими ресурсами

На схемі позначені усі потрібні для періодичного «віртуального виробництва» запаси рідких матеріальних ресурсів та напрями їх переміщення промисловими трубопроводами. На рис. 1.6 показаний зовнішній вигляд електричної імітаційної моделі рідких матеріальних потоків, що «перекачуються» кількома промисловими трубопроводами між виробничим складом та фазою 1 основного ТП. Як видно з рисунку, горизонтальна металева панель, на якій монтується світлова імітаційна модель шести трубопроводів, зліва опирається на конструкцію фізичної моделі промислового хімічного реактора, а справа – на вертикальну опорну стійку, яка кріпиться до стіни. Світлова імітаційна модель резервуарного парку розміщується над настінною панеллю лабораторного столу №3, опираючись на неї, а з лівого боку кріпиться до вертикальної опорної стійки.

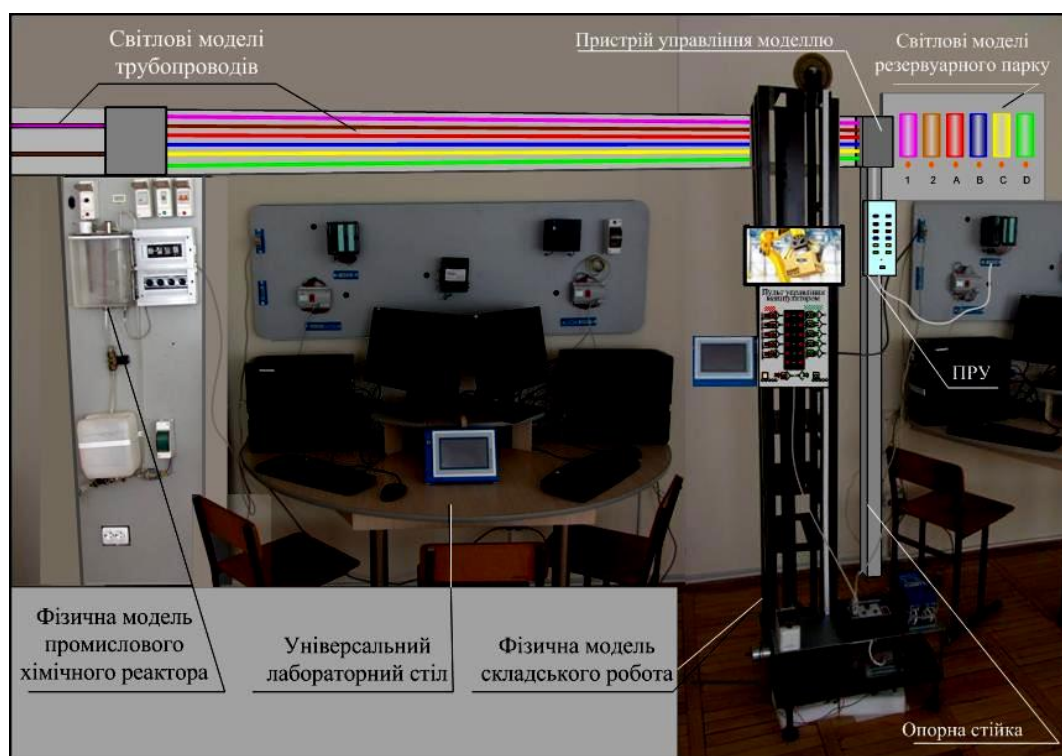


Рисунок 1.6 – Модель трубопроводів між складом і фазою 1 основного ТП

Нижче до вертикальної опорної стійки кріпиться пульт ручного управління (ПРУ) електричною імітаційною моделлю шести рідких матеріальних потоків (трубопроводів) та резервуарного парку. На лицьовій панелі пульта встановлені 12

кнопоквих вмикачів, за допомогою яких можна включати електричні імітаційні моделі окремих трубопроводів та баків резервуарного парку для двох режимів їх роботи: перекачування рідини з резервуарного парку до хімічного реактора та перекачування рідини з хімічного реактора до резервуарного парку.

1.3 Цифрова трансформація аналогічних систем автоматизації

Візуалізація й аналітична обробка даних не є чимсь новим для промисловості. Як правило ці функції вже реалізовувалися продуктами ІТ-компаній, що спеціалізуються на промисловій аналітиці (enterprise manufacturing intelligence, EMI) або функціями EMI, убудованими в системи ERP (Enterprise Resource Planning), або системами управління операційною діяльністю на виробництві (manufacturing operations management, MOM).

Типи даних, які зазвичай підлягають аналізу такими системами та функціями, є структурованими або майже структурованими і поступають на обробку або з баз даних додатків, або з архівів історичних даних. У деяких випадках такі дані надходять від виробничого обладнання. Типи інформації, що представляється після цього, зазвичай включають дані про ефективність виробництва і їхній аналіз, наприклад, загальну ефективність обладнання (OEE), розташування «вузьких місць» у виробничих лініях та якість продукції, що випускається. У тому, що стосується статистичного управління процесами, можуть навіть робитися рекомендації операторам для поліпшення майбутньої продуктивності. У кожному із цих сценаріїв є ясний і легко демонстрований ROI. У багатьох з них вимірювання й порівняння продемонстрували, що вищезгадані технології можуть підвищити OEE на 10% і більше.

Втім, ці продукти й сценарії явно «не дотягають» до призначення й цінності аналітики великих даних (ABД), що описує концепція "Індустрія 4.0". «Великі дані», згідно до цієї концепції, це не просто їх обсяг. Тобто його явно недостатньо. Аналітику великих даних треба розглядати в контексті таких понять як обсяг, швидкість і розмаїтість. Проте більшість традиційних ІТ-виробників EMI роблять

основний наголос на обсязі, приділяють увагу швидкості й найчастіше ігнорують розмаїтість.

Для того, щоб взяти під контроль всі ці параметри, виробничим компаніям необхідна повноцінна платформа великих даних, або навіть платформа Інтернету речей, із драйверами, шлюзами, транспортною мережею, а також першокласними аналітичними можливостями для швидкої й ефективної роботи з даними. Крім того, потрібне гібридне (хмарне й локальне) обчислювальне середовище із традиційною реляційною базою даних, традиційним архівом історичних подій і Hadoop-можливостями [9-11].

І, нарешті, потрібна схема даних, що швидко й ефективно об'єднає різні типи даних - фінансові транзакції, операційні транзакції, розробку продуктів, симуляції, дані від обладнання, Веб-дані, геодані, а також алгоритми, що забезпечують і традиційні аналітичні функції на виробництві й нові, включаючи нейромережі й машинне навчання, а саме, способи значеннєвої інтерпретації даних, застосовувані поряд із традиційними бізнес-інструментами й методами аналізу інформації [10]. Так, за допомогою алгоритмів машинного навчання можна робити, наприклад, будь-які прогнози на основі тих закономірностей, що виявляються в отриманих або накопичених даних [11]. Найпоширеніші типи існуючих вже проєктів на базі технологій машинного навчання, націлених на одержання промисловим підприємством додаткової виручки або на скорочення витрат, такі [19]:

- підвищення продуктивності технологічного процесу за рахунок підбора оптимальних режимів роботи обладнання, завантажень сировини й т.д.;
- підвищення якості продукції шляхом виявлення критичних факторів у виробничому процесі, що впливають на кінцевий результат;
- оптимізація технологічного обслуговування й ремонту (ТОiP) дорогого виробничого устаткування, прогноз поломок і деградації устаткування;
- оптимізація витрат на випробування продукції за допомогою цифрової моделі виробів і віртуальних датчиків;

- управління ціноутворенням і ланцюжками поставок - оптимізація й прогнозування по процесах закупівель, доставки, зберігання, попиту та пропозиції;
- комплексне поліпшення виробничих показників за рахунок виявлення латентних факторів, що впливають на виробничі процеси, і застосування моделювання ситуацій у цифрових середовищах.

При реалізації усіх перелічених вище можливостей, промислові підприємства одержать доступ до всіх видів аналітики: описативної, діагностичної, предикативної і такої, що наказує. Всі вони є важливою частиною забезпечення інтелектуальних і «знаючих» один про одного операційних процесів, а також є важливими для руху від операційної діяльності в режимі реального часу до предиктивного виробництва й, в остаточному підсумку, до автономного виробництва.

Одним з обіцянок АВД і Інтернету речей є трансформація моделей традиційних ієрархічних систем, використовуваних на промислових підприємствах, і, як правило, описаних моделями Перд'ю або ISA-95. По цілому ряду причин, традиційна ієрархічна модель так і не змогла забезпечити «з'єднуваності» на рівнях цеху або центрального офісу. Активне використання «доморослих» систем на різних рівнях моделі, використання різних мереж і стандартів безпеки на корпоративному й виробничому рівнях, різні моделі даних і багато чого іншого обмежують довгострокову придатність поточних архітектур промислових систем управління. Тобто піраміда автоматизації як така перестане існувати на майбутньому виробництві [11].

Що ж стосується нижнього технологічного рівня, то він фактично залишається в незмінному вигляді. Датчики й виконавчі механізми - це фізичні інтерфейси технологічного процесу, вони, звичайно, продовжать своє існування, хоча будуть мати більше «мозків» і самостійності. Будучи частиною кіберфізичних систем (Cyber Physical Systems, CPS), вони будуть автономно виконувати безліч операцій. Машини, застосовувані в промисловій автоматизації, логістиці й транспортуваннях, а також в енергетичних системах, управлінні дорожнім рухом, системах безпеки й т.п., будуть прямо спілкуватися з іншими машинами. При

цьому програмне забезпечення буде інтерпретувати потоки даних за допомогою адаптивних алгоритмів, що еволюціонують, що дозволить машинам досягати потрібних кінцевих станів при одержанні певних вхідних параметрів.

Для аналізу великих обсягів потокових даних, що надходять від сенсорів промислових пристроїв, потрібні масштабовані інструменти агрегації, попередньої обробки, побудовані на базі сучасних засобів програмування, включаючи мови R і Python, а також системи моніторингу й візуалізації [20].

Аналітична платформа Visiology дозволяє інтегрувати дані з різних джерел і виконувати їхній аналіз для формування консолідованих рекомендацій, що дозволяють приймати зважені рішення на всіх рівнях управління. Оператори й керівники мають можливість у реальному часі здійснювати моніторинг ключових показників промислових установок, а аналітики й технологи підприємства - проводити аналіз історичних даних, розмітку, працювати з налаштуваннями навчених моделей і, користуючись базою алгоритмів, конструювати нові моделі, оцінюючи їхню ефективність на основі бази знань. Платформа інтегрована із системами АСУ ТП, MES, ERP і платформами промислового Інтернету речей (рис. 1.7).

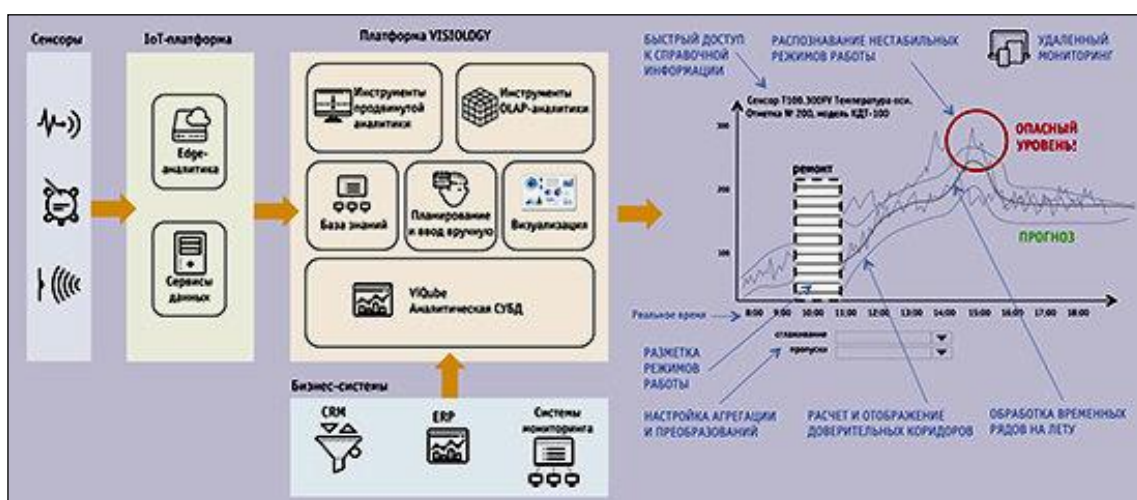


Рисунок 1.7 – Архітектура аналітичної платформи Visiology

Класичний цикл розробки моделі (рис. 1.8) передбачає два етапи оцінки достатності її точності на тестових вибірках: валідація й «сліпе» тестування - випробування моделі на вибірці невідомих раніше даних, одержуваної від замовника для перевірки обраного прототипу й утримуючої цільову змінну. Задача «сліпого» тестування - переконатися, наскільки точно модель описує поведження технологічного процесу і як точно вона розраховує підсумкове значення по заданій метриці.

Для проведення експерименту на промисловому об'єкті необхідно інтегрувати модель у технологічний процес і по її рекомендаціях здійснювати керуючі впливи. Модель у такому випадку почне працювати з реальними даними й у реальному часі, тоді як при здійсненні керуючого впливу від оператора до неї надходять дані з урахуванням змін, процес починає йти іншим способом, а виходить, міняються параметри, що поступають на вхід моделі. Це найбільш важливо в безперервних процесах - наприклад, при хімічному синтезі похідних продуктів газових сумішей.

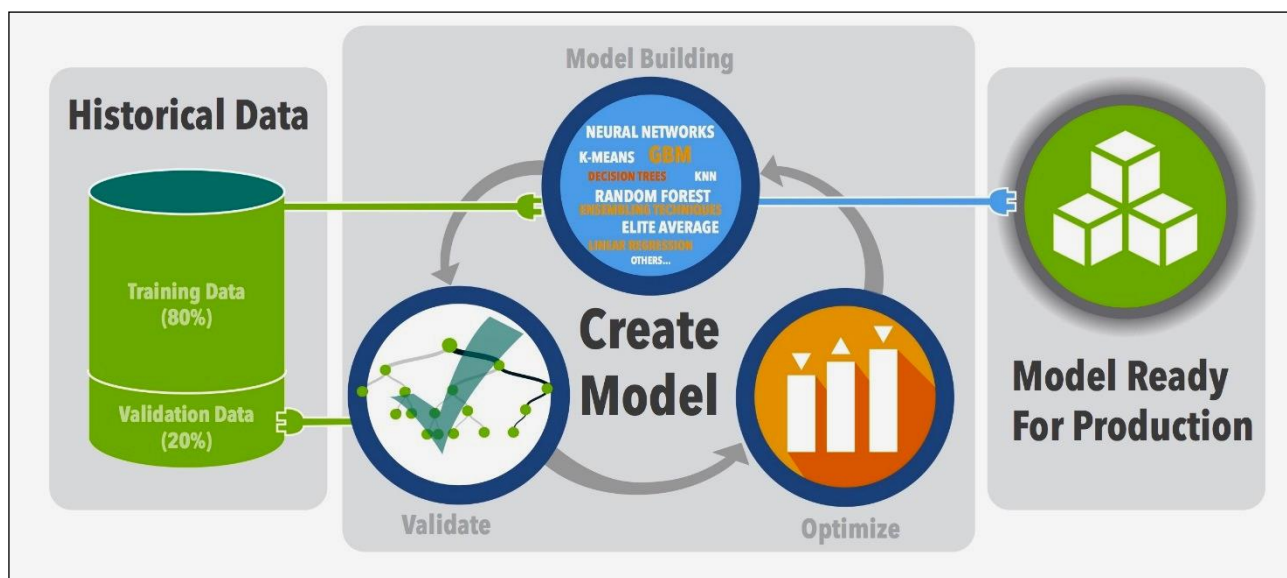


Рисунок 1.8 – Класичний цикл розробки моделі при машинному навчанні

Експеримент дозволяє визначити вузькі місця у вихідній вибірці даних. Наприклад, може виявитися, що одних тільки методів машинного навчання

недостатньо для обробки всіх масивів даних по функціонуванню обладнання у всіх режимах, незважаючи на те, що розроблена модель із успіхом пройшла «сліпе» тестування й показала високу точність. У такому випадку потрібно вміло застосовувати евристики, сполучити фізико-математичні моделі з ML-алгоритмами. Попередній експеримент допоможе адаптувати архітектуру моделі вже на ранній стадії розробки.

Невеликі експерименти рекомендується регулярно проводити на всіх стадіях проекту, оцінюючи реальний обсяг даних, придатних для моделювання, це дозволяє максимально швидко перебудовувати процес розробки моделі, концентруючись лише на алгоритмах, застосовних у реальному виробництві.

Важливим питанням у машинному навчанні є вибір методу аналітичної обробки. Є методи різного рівня складності, і часто при рішенні задачі виникає бажання почати відразу із самого складного з них - наприклад, з нейромереж, які є універсальним засобом апроксимації [21].

Для рішення усіх перелічених вище задач аналітичної обробки даних виробничої компанії на ринку ІТ-продуктів пропонується кілька потужних платформ промислового Інтернету речей (Industrial Internet of Things, IIoT). Серед цих продуктів лідируючу позицію займає платформа ThingWorx Foundation від компанії PTC. Так, глобальна аналітична й консалтингова фірма Quadrant Knowledge Solutions назвала ThingWorx лідером на світовому ринку платформи IIoT. У своєму останньому дослідженні «Перспектива ринку: платформа Інтернету, 2018-2023, Worldwide», компанія проаналізувала постачальників з погляду надійності технологічної платформи, можливостей продукту, впливу на клієнта, простоти використання, перспективних інновацій і майбутньої дорожньої карти. PTC визнаний лідером, тому, що має повну, наскрізну спеціалізовану платформу для промислового IoT у сполученні із правильною стратегією конкуренції й зростання [22]. На рис. 1.9 показана загальна архітектура платформи ThingWorx Foundation від компанії PTC.

Основою інформаційної моделі платформи ThingWorx слугує багатофункціональна масштабована структура даних "інтелектуальний об'єкт"

(smart thing, "розумна річ"). Архітектура платформи – гнучка модульна збірка. Режим використання платформи передбачається як в традиційному виді "клієнт-сервер", так і у варіанті "віддалене звертання", "хмарне рішення" [23].

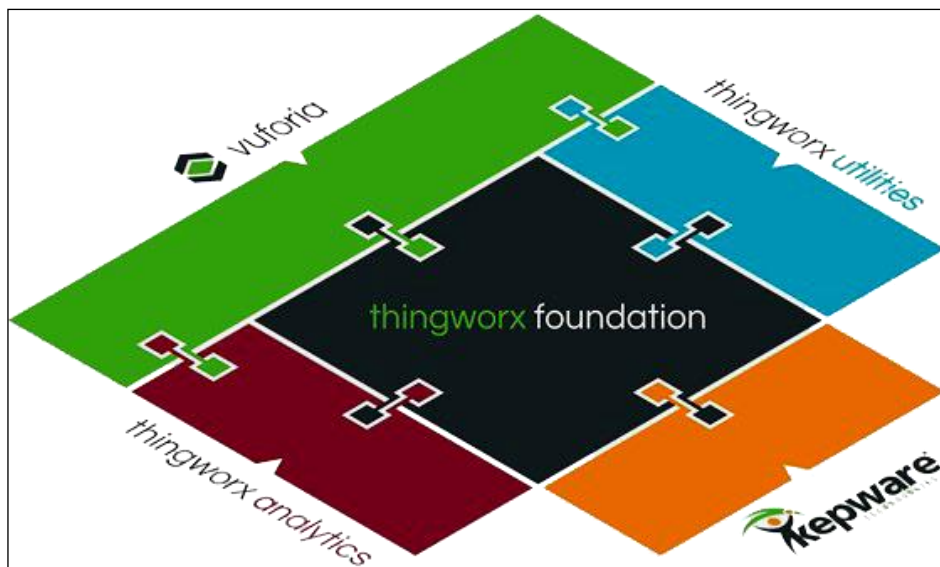


Рисунок 1.9 - Загальна архітектура платформи ThingWorx Foundation

Для роботи з потоком "великих даних" ("Big Data") і необхідної при цьому аналітики слугує сервер ThingWorx Analytics. Сервер вже містить шість базових сертифікованих алгоритмів машинного навчання – елемента штучного інтелекту. Вже в такій базовій комплектації розгортання на платформі ThingWorx аналітики по роботі з потоком даних, що надходять від зовнішніх підключених інтелектуальних пристроїв (сенсорів, передавачів сигналів тощо) дозволяє перейти до реального вирішення задач прогнозування та побудови розширюваної та корегованої бази знань.

Для спеціалізованої функціональності та розширення можливостей розробки на базі платформи ThingWorx слугує сервер ThingWorx Utilities. Його використання дає можливість включити до складу платформи "розумного виробництва" такі аналітичні задачі, як управління активами, управління ризиками, управління потоками задач та ролеве управління, а середовище розробки сервера ThingWorx Utilities дозволяє без рутинного програмування описувати також

специфічні управлінські задачі користувача та виконувати інтеграцію з управлінськими модулями зовнішніх систем.

В компанії PTC за розвиток серверного модуля ThingWorx Connectivity відповідає фірма Kerware Technologies [24], яка пропонує використовувати в якості серверного модуля ThingWorx свій продукт - промислову комунікаційну платформу KEPServerEX [25, 26], яка створює для будь-яких додатків користувача єдине джерело даних промислової автоматизації.

Архітектура цієї 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. Платформа розроблена так, щоб задовольнити усі вимоги користувачів щодо виконуваності, надійності та зручності експлуатації. KEPServerEX підтримує різноманітні інтерфейси для інтеграції з IT – додатками, включаючи ODBC (для збереження інформації у базі даних) та SNMP (для передавання інформації до Network Management System, NMS).

З появою додатків IoT та "Великих даних" (Big Data) до KEPServerEX було додано можливість з'єднуватися з програмним забезпеченням Splunk та "хмарними" сервісами через Industrial Data Forwarder (IDF) для Splunk. Для цього до складу комунікаційної платформи KEPServerEX був введений спеціальний сервер "IoT Gateway", який дозволяє реалізувати у реальному масштабі часу безшовний потік даних від промислових систем управління прямо до "Big Data" та аналітичних програм систем управління бізнес процесами (Business Intelligence and Operational Excellence).

Крім локальної аналітичної обробки даних платформа ThingWorx пропонує рішення на основі "хмарних" додатків. Ці додатки створюються за допомогою Advanced Plug-In [27], які входять до складу серверного модуля ThingWorx Utilities. До таких "хмарних" додатків відносяться ThingWorx Controls Advisor [28] та

ThingWorx Asset Advisor [29].

ThingWorx Controls Advisor забезпечує безшовне з'єднання до OPC серверів та віддалений моніторинг з боку фахівців за пристроями (машинами) системи промислової автоматизації. ThingWorx Controls Advisor є Web - мобільним додатком для швидкого з'єднання та віддаленої візуалізації даних з будь-якого контролера на підприємстві. Фахівці миттєво сповіщаються про будь-які помилки з'єднання, що можуть призвести до втрати критичних виробничих даних. Прості інструменти дають змогу користувачам відслідковувати зміну даних для виявлення несправностей обладнання (рис. 1.10). ThingWorx Asset Advisor забезпечує перегляд у реальному часі статусу всіх пристроїв та тривожних повідомлень, надає можливість фахівцям віддалено спостерігати за роботою пристроїв та виявляти аномалії в роботі, попереджаючи серйозні аварії на виробництві.

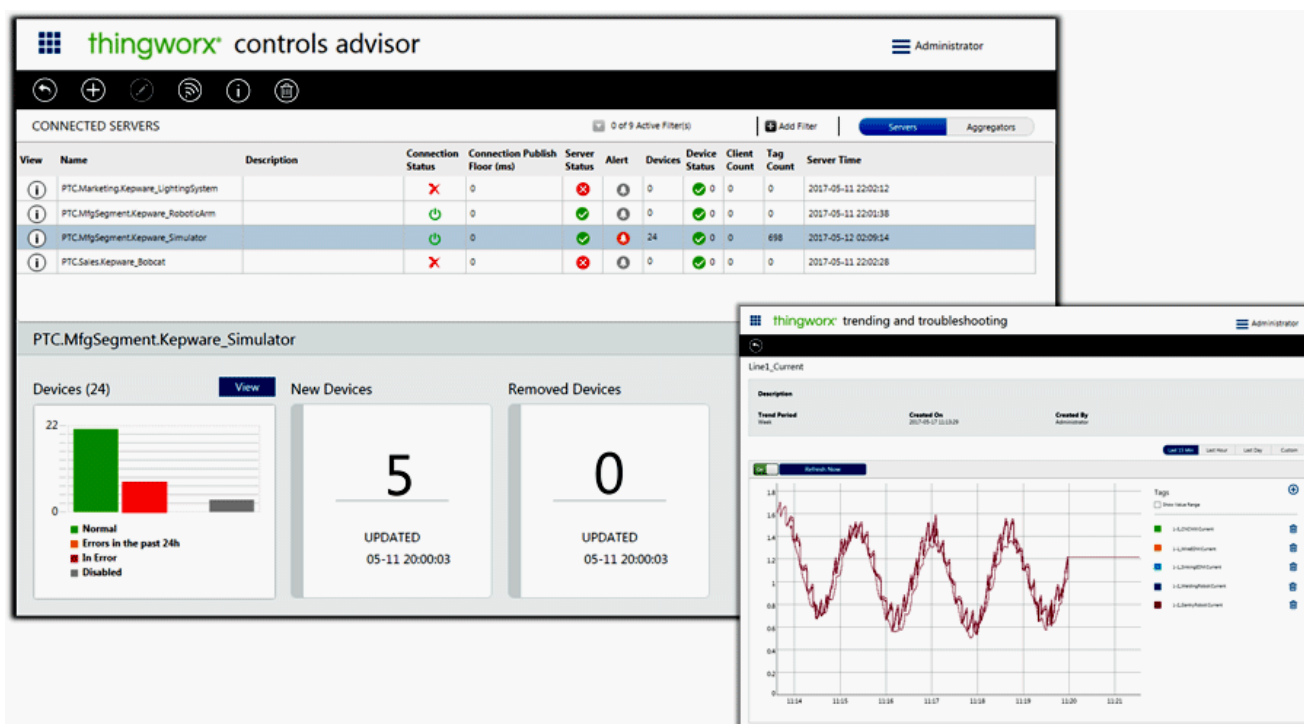


Рисунок 1.10 – Інтерфейс користувача ThingWorx Controls Advisor

ThingWorx Asset Advisor постійно виконує моніторинг ключових параметрів підключеного обладнання для виявлення проблем на ранніх стадіях їх розвитку. За його допомогою фахівці можуть віддалено спостерігати, управляти,

діагностувати та змінювати режими роботи підключеного обладнання. Все це значно подовжує час роботи обладнання.

ThingWorx Asset Advisor веде уніфікований список усього обладнання, що підлягає моніторингу та управлінню (рис. 1.11), та дає детальну інформацію про обладнання та його продуктивність, яка розраховується за вибраним аналітичним методом (рис. 1.12). Для підключення пристроїв до "хмарних" додатків ThingWorx використовується вже згаданий вище сервер "IoT Gateway", який включає "ThingWorx Agent" для максимально швидкої передачі промислових даних з технологічного рівня до платформи ThingWorx IoT за захищеним бінарним протоколом ThingWorx AlwaysOn.

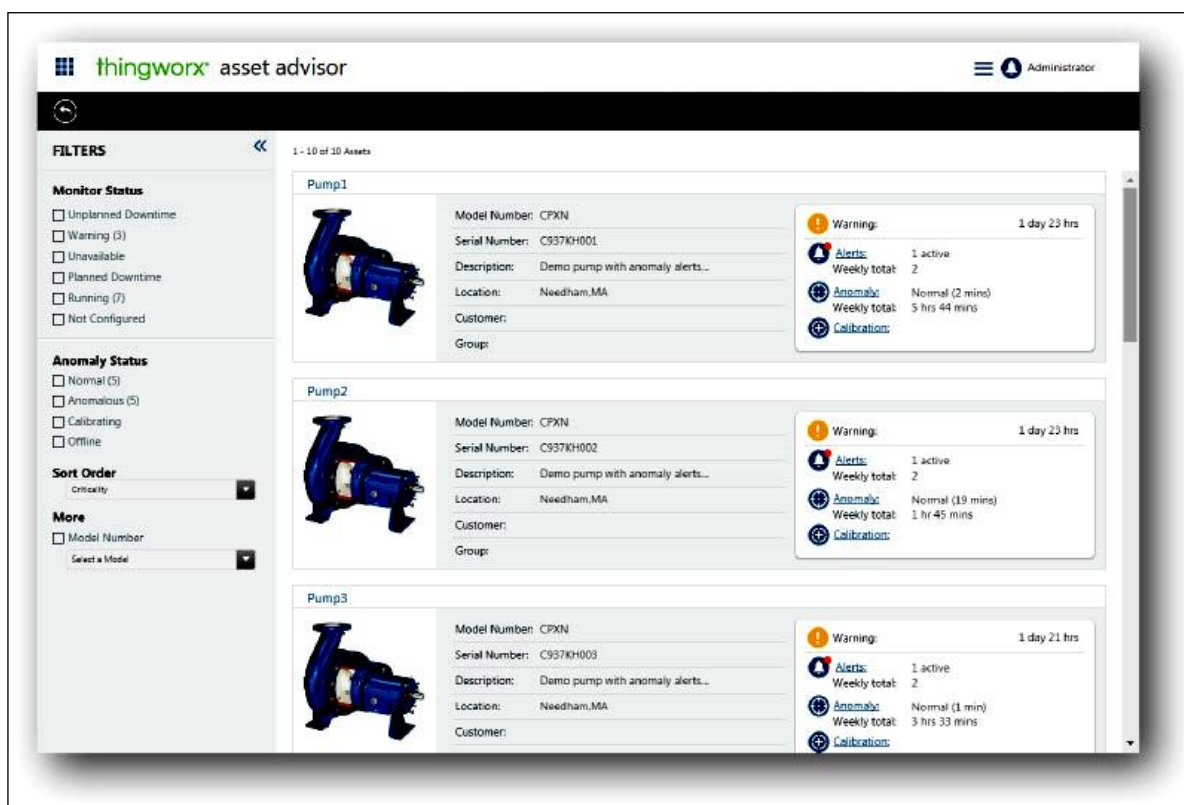


Рисунок 1.11 – Уніфікований список обладнання

Розглянемо окремо аналітичні можливості серверного модуля ThingWorx Analytics. На рис. 1.13 показаний загальний принцип передавання вихідних даних, які мають підлягати аналітичній обробці, від первинних джерел даних до "хмарного" серверного модуля.

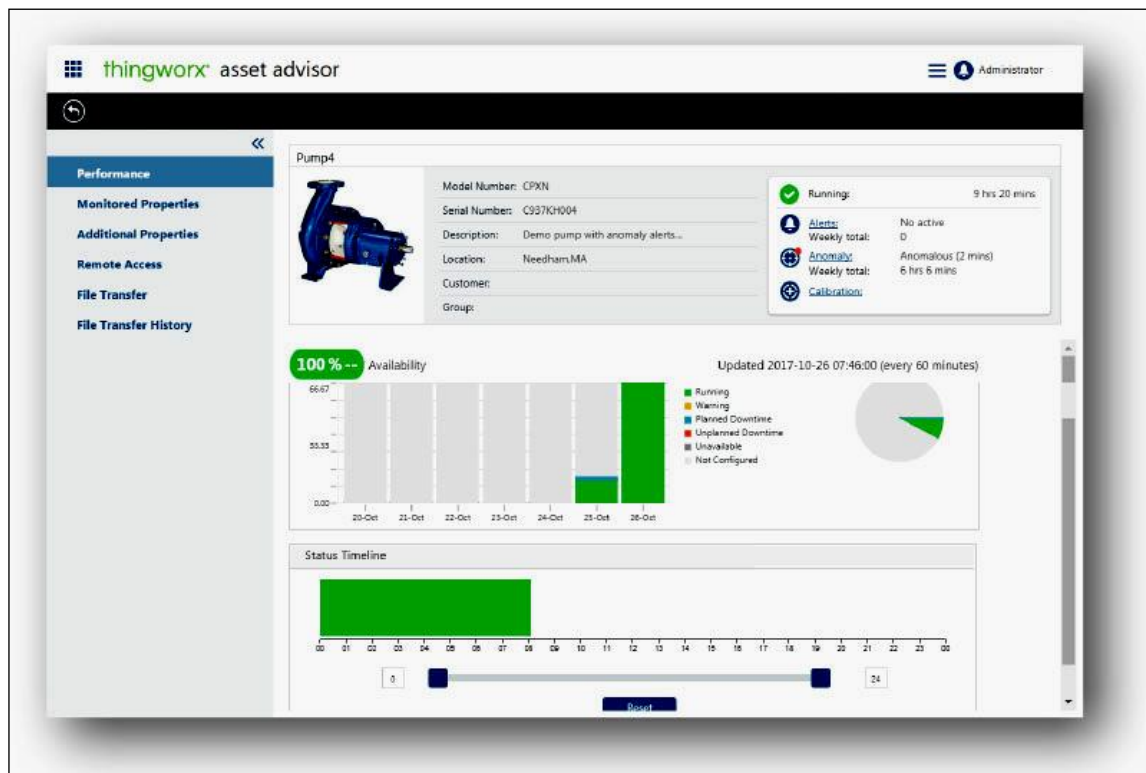


Рисунок 1.12 – Детальна аналітична інформація про роботу обладнання

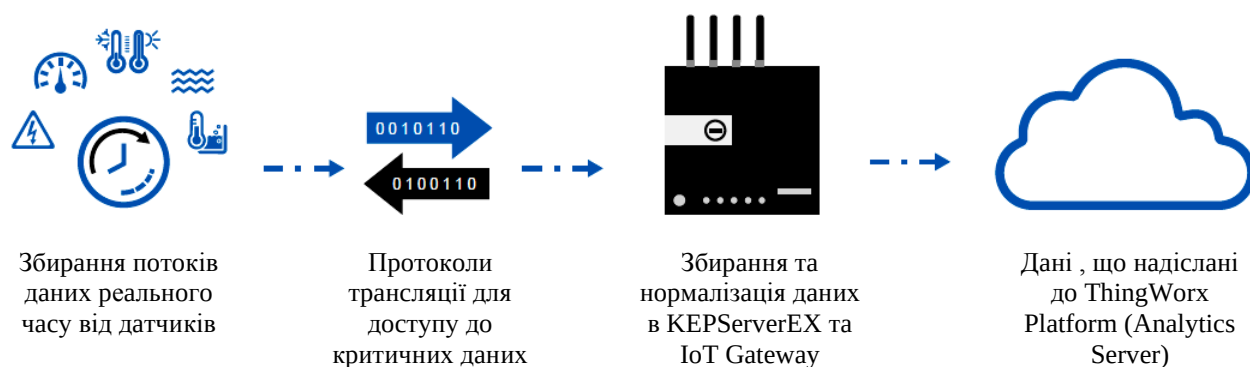


Рисунок 1.13 – Передавання даних до сервера ThingWorx Analytics

На рис. 1.14 показаний приклад роботи "хмарного" додатка для аналітичної обробки даних від датчиків промислового насосу.

Додаток розробляється та виконується за допомогою утиліти "ThingWatcher" серверного модуля ThingWorx Analytics. За допомогою даного додатка виконується як аналітична обробка всіх даних, що надходять з датчиків

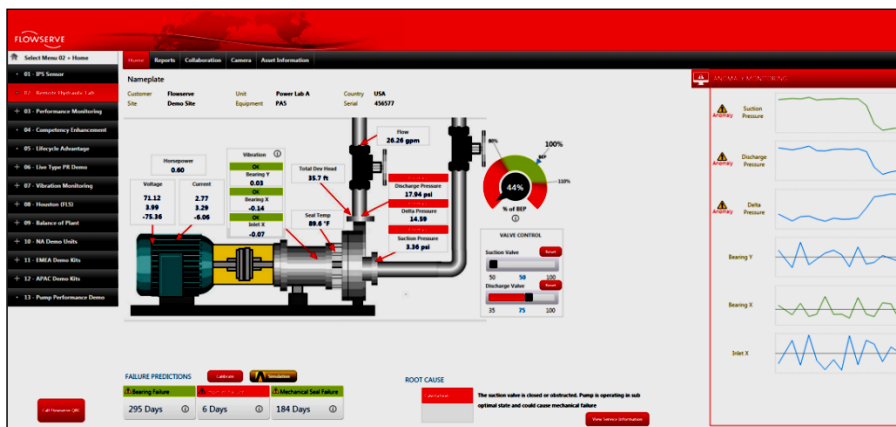


Рисунок 1.14 – Візуалізація роботи, виявлення аномалій та прогнозування роботи насосу аналітичним додатком ThingWatcher

промислового насосу (наприклад, розраховується його поточна продуктивність, ступінь електричного та механічного навантаження електродвигуна і т. п.), так і будуються відповідні прогнози щодо працездатного стану насосу в залежності від зовнішніх умов експлуатації та виявлених аномалій його роботи (модуль "ThingPredictor"). Коли аномалія виявлена за допомогою додатка ThingWatcher, то інформація про це надається фахівцям у реальному часі або через Web-додаток (наприклад, звичайний браузер), або засобами доповненої реальності (AR). Тому можна спостерігати у реальному часі зміну прогнозу при внесенні тих чи інших змін в роботу насосу. На рис. 1.15 наведений приклад виявлення аномалії в даних від двох типів сенсорів: напруги та вібрації.

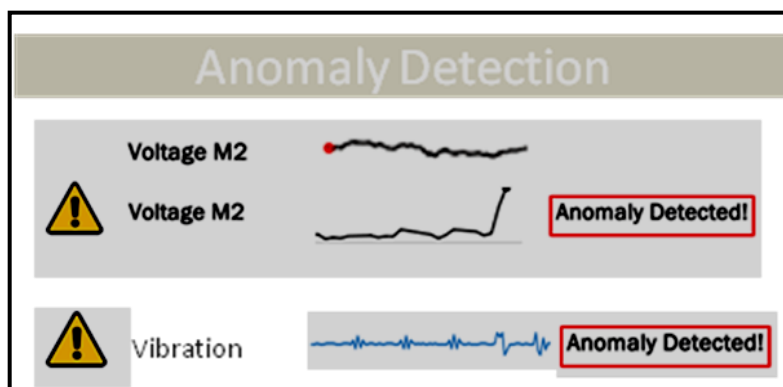


Рисунок 1.15 – Результати виявлення аномалій в даних від датчиків

1.4 Розробка архітектури нового навчального засобу

У світовій практиці процес цифрової трансформації у промисловій області давно і активно обговорюється фахівцями та експертами [30-34]. Вже сформоване загальне бачення тих цілей, які ставлять виробники на шляху вдосконалення своїх підприємств (рис. 1.16) [30].



Рисунок 1.16 – 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: 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.

Проте, на шляху впровадження нових цифрових рішень у виробництво зараз існує декілька основних завад: 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.

Яка ж повинна бути загальна стратегія цифрової трансформації виробництва у описаних вище реальних умовах? На рис. 1.17 показаний рекомендований зараз шлях цифрової трансформації, який означає основні її стадії:

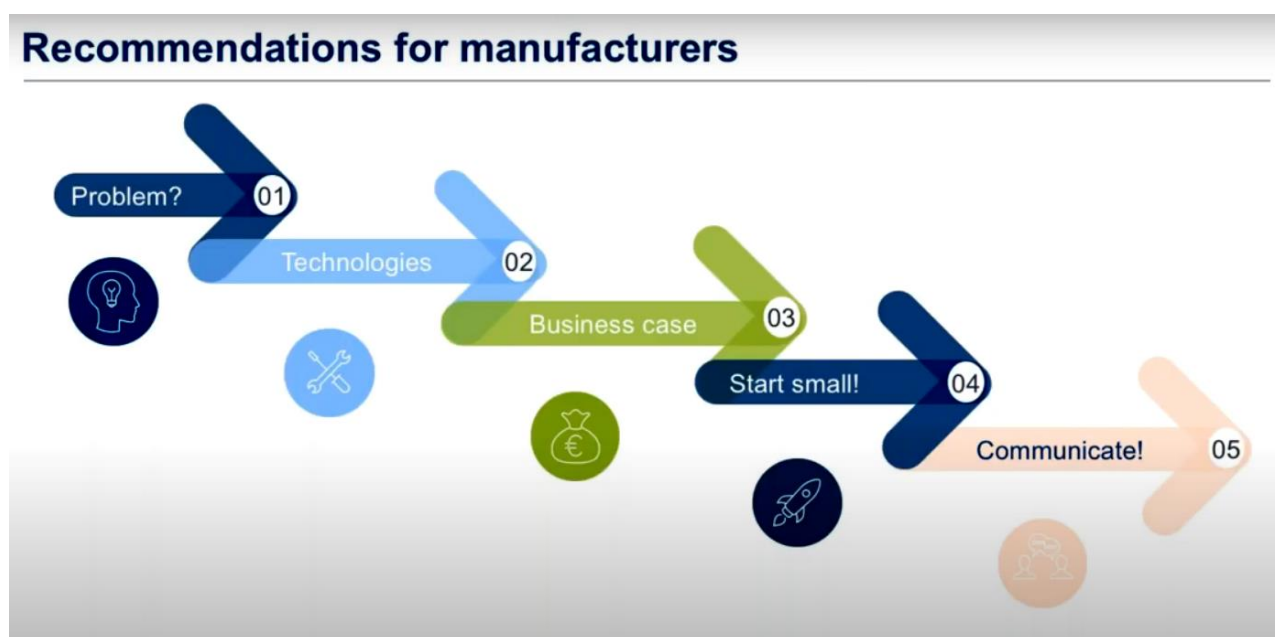


Рисунок 1.17– Оптимальна стратегія цифрової трансформації виробництва

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

результатів, що заохотить їх до виконання подальшої більш складної цифрової трансформації виробництва.

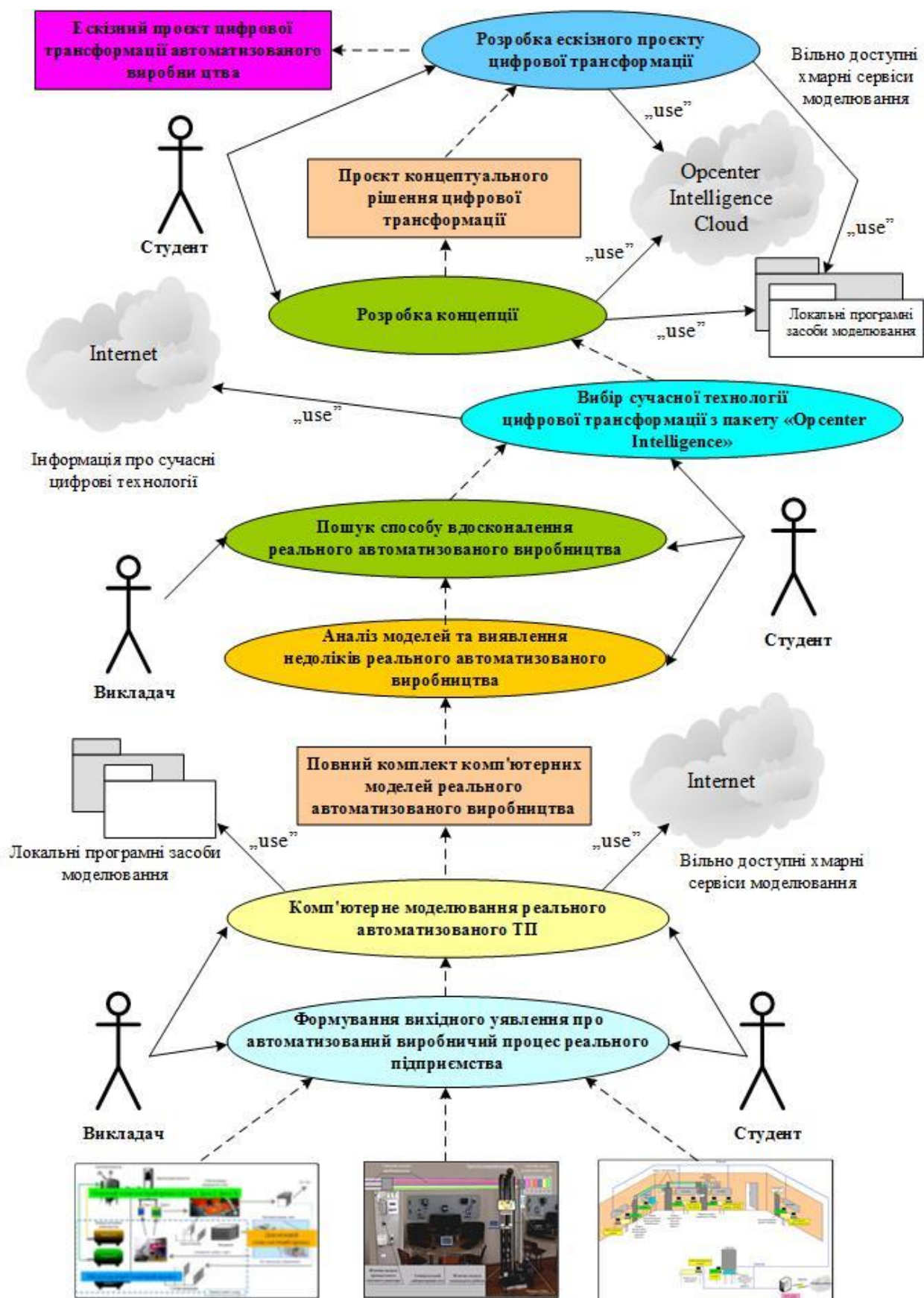
Саме ця стратегія і була покладена в основу розробки архітектури нового комп'ютеризованого навчального засобу (КНЗ) для цифрової трансформації типу промислової системи автоматизації (рис. 1.18) .

Основою архітектурного рішення нового КНЗ є лабораторні моделі автоматизованого «віртуального» виробництва хімічної продукції, яке реалізоване у лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка» ФПТА. На першій стадії цифрової трансформації його системи автоматизації необхідно сформулювати чітко та деталізоване уявлення щодо можливої фізичної реалізації цієї системи. Це уявлення формується у свідомості студента як самостійно, так і за допомогою викладача.

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

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

Після того, як будуть намічені шляхи вдосконалення системи автоматизації,



Програмо-технічні імітаційні моделі системи автоматизації «віртуального» виробництва

Рисунок 1.18 – Архітектура нового комп'ютеризованого навчального засобу

студент здійснює вибір та обґрунтування тієї сучасної цифрової технології (або технологій) з програмного пакету «Siemens Opcenter Intelligence», що дозволить здійснити намічені вдосконалення системи автоматизації реального виробництва. При цьому студент може використовувати додаткову інформацію з джерел Інтернет.

Коли потрібна цифрова технологія (або технології) вибрана, то студент виконує розробку концепції запропонованого рішення цифрової трансформації, використовуючи для цього доступні інструменти хмарної платформи «Opcenter Intelligence Cloud» [39-45]. Готова цифрова модель, що відображає запропоноване концептуальне рішення цифрової трансформації існуючого типу системи автоматизації реального виробництва, є першим результатом практичного освоєння студентом процесу цифрової трансформації. Цей результат може бути отриманий на рівні бакалаврської підготовки студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», наприклад, в рамках дисципліни «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва».

На основі отриманого концептуального рішення студент може продовжити проектування на новому КНЗ і перейти до етапу розробки ескізного проєкту цифрової трансформації. Цей етап характеризується більшою деталізацією проєктних рішень і також передбачає активне використання доступних хмарних сервісів як цифрового моделювання, так і розробки програмних застосунків у середовищі «Opcenter Intelligence Cloud».

Результатом цього етапу буде ескізний проєкт цифрової трансформації існуючого типу системи автоматизації реального виробництва, яка представлена у вигляді відповідної цифрової моделі. Цю модель можна буде переглядати за допомогою або хмарних додатків цифрового моделювання, або через локальні програмні засоби на комп'ютері лабораторії.

Даний ескізний проєкт може бути результатом практичного освоєння процесу цифрової трансформації магістрами спеціальності 174, наприклад, в рамках дисципліни «Промисловий Інтернет речей».

1.5 Висновки до розділу

В результаті виконання 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 цифрової трансформації типу системи автоматизації була досліджена існуюча в комп'ютеризованій навчальній лабораторії реалізація інтегрованої системи автоматизації, яка функціонує в рамках «віртуального» виробництва уявної хімічної продукції. Досліджена предметна область цифрової трансформації аналогічних систем автоматизації та намічені ті її напрями, які можуть вивчатися студентами на новому навчальному засобі. Розроблена архітектура нового комп'ютеризованого навчального засобу, яка відображає як його складові частини, так і основні стадії виконання студентами відповідного проектного практикуму. На основі такого загального бачення нового комп'ютеризованого навчального засобу було розроблене технічне завдання на виконання магістерської кваліфікаційної роботи, яке наведене у додатку Б.

2 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «МОДЕЛЮВАННЯ ТИПУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ»

2.1 Розробка моделі діяльностей

Згідно з вимогами ТЗ на магістерську кваліфікаційну роботу, що розроблене у попередньому розділі, перша стадія практичного вивчення студентом процесу цифрової трансформації існуючого типу СА, яка існує на даний час у вигляді відповідної лабораторної моделі, має складатися з двох таких етапів:

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

- додаткове комп'ютерне моделювання статички та динаміки цього реального типу СА з метою формування більш детального уявлення про нього.

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

Проте, крім моделі типу СА, в основі архітектури нового НЗ лежать ще три інші моделі (див. рис. 1.29), з дослідження яких і починається весь процес практичного вивчення студентом цифрової трансформації типу СА:

- лабораторні програмно-технічні моделі технологічних та технічних

процесів (лабораторний ТП);

- організаційна імітаційна модель «віртуальне виробництво»;
- лабораторна програмно-технічна імітаційна модель інтегрованої системи автоматизації (ІСА) процесами «віртуального виробництва».

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

Таким чином, аналізуючи вищесказане, можна зробити такі висновки:

- в процесі виконання першої стадії практичного вивчення цифрової трансформації існуючого типу СА активною повинна бути не тільки роль «студент», але і роль «викладач», що веде професійну дисципліну або проєктний практикум;
- обидві ці активні ролі по ходу виконання даної стадії повинні поступово розробляти дві пов'язані між собою комп'ютерні моделі – існуючого лабораторного екземпляру СА та відповідного йому типу реальної СА.

Опишемо тепер загальне бачення процесу виконання на новому НЗ стадії «Моделювання існуючого типу СА» у вигляді моделі діяльностей, яка показує взаємний зв'язок усіх робіт з моделювання, що виконують обидві ролі («студент» та «викладач»), та сумісне використання отриманих моделей (рис. 2.1 та додаток В). Показані на рисунку діяльності (прямокутники) виконуються акторами «Викладач» і «Студент» у двох областях нового КНЗ – у фізичній області лабораторної ІСА «віртуального виробництва» (навчальна лабораторія «Промислова мікропроцесорна техніка» ФПТА) та у віртуальній області комп'ютерного моделювання (програмне забезпечення або лабораторних комп'ютерів, або домашніх комп'ютерів студентів, або «хмарних» сервісів моделювання). Результати цих діяльностей показані у вигляді прямокутників з заокругленими кутами. У цій моделі актор «Викладач» є ініціатором початку виконання всієї послідовності діяльностей даної стадії практичного вивчення цифрової трансформації існуючого АТП трубопровідної транспортної системи.

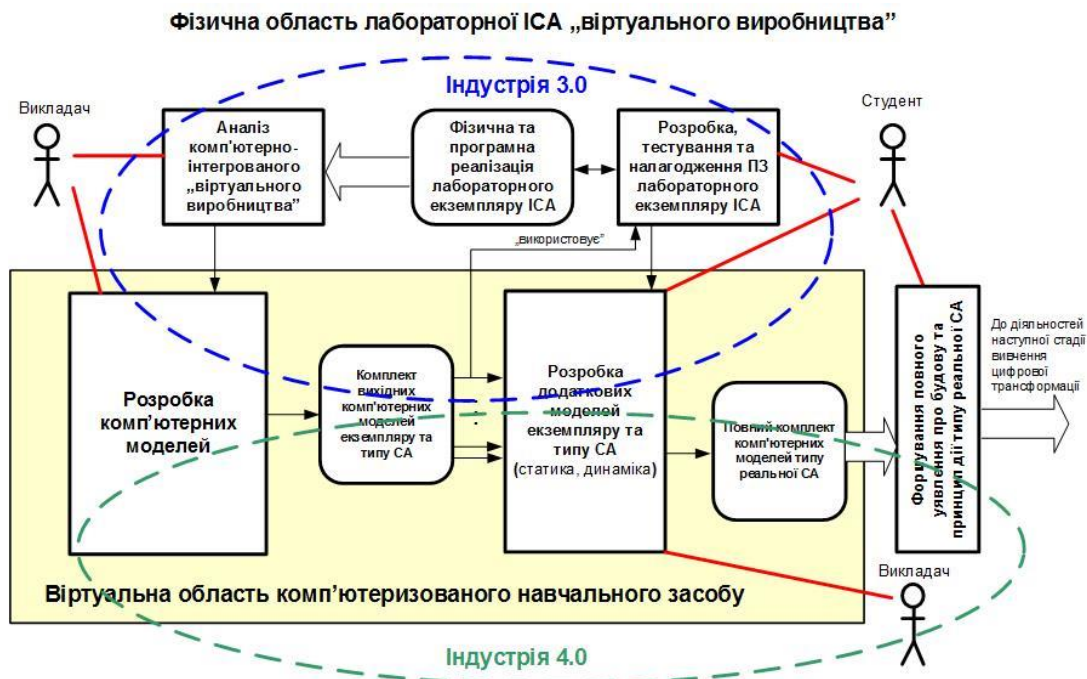


Рисунок 2.1 – Модель діяльності на стадії «Моделювання існуючого типу СА»

На початку даної стадії актор «Викладач» аналізує комп'ютерно-інтегроване «віртуальне виробництво», яке існує в лабораторії у вигляді програмно-технічної імітаційної моделі ІСА всього виробництва в цілому та окремих програмно-технічних моделей лабораторних ТП, тобто лабораторний екземпляр інтегрованої СА. Така модель комп'ютерно-інтегрованого виробництва складається з фізичної та програмної частин. Фізична частина містить технічну частину моделі ТП та реальні промислові засоби його автоматизації. Програмна частина містить програмні моделі процесів транспортування рідких матеріальних ресурсів «віртуального виробництва», окремих вузлів трубопровідної транспортної системи (наприклад насосів для вхідних хімічних реагентів) та прикладні програми управління як даним ТП, так і виробничим процесом в цілому.

На основі проведеного аналізу актор «Викладач» за допомогою доступних програмних застосунків розробляє вихідний комплект моделей, що описують устрій лабораторного екземпляру ІСА та принцип його дії на «віртуальному виробництві». Після цього цей комплект моделей, оформлених у вигляді електронних навчально-методичних матеріалів, використовує актор «Студент», який на практичному курсі або однієї професійної дисципліни, або кількох

дисциплін, вивчає ІСА «віртуального виробництва», розробляючи та тестуючи її програмне забезпечення (ПЗ). Для бакалаврського рівня підготовки такими дисциплінами можуть бути «Технічні засоби автоматизації» та «Проектування систем автоматизації».

Актор «Викладач» може аналізувати результати практичної роботи, виконаної актором «Студент», після чого вносить потрібні корективи у вихідний комплект моделей існуючого екземпляру ІСА.

Таким чином, усі описані вище діяльності стосуються тільки практичного вивчення студентом існуючої лабораторної ІСА, що побудована за концепцією «Індустрія 3.0», тобто поточний стан комп'ютерно-інтегрованого виробництва (на рис. 2.1 ці діяльності окреслені зверху синім пунктирним еліпсом).

Проте новий НЗ призначений для практичного вивчення процесу цифрової трансформації, тобто переходу від ІСА за концепцією «Індустрія 3.0» до ІСА за концепцією «Індустрія 4.0».

Чому ж на ньому треба вивчати поточний стан ІСА? А тому, що ця ІСА реалізує той же самий стандартний підхід до управління періодичним «віртуальним виробництвом» [5], що і ІСА за концепцією «Індустрія 4.0» [6]. Тобто, вивчаючи поточний стан ІСА, актор «Студент» освоює і принцип дії ІСА «розумного» періодичного виробництва, у яку він буде далі трансформувати існуючий тип ІСА за допомогою нового НЗ.

Крім того, актор «Студент» в ході розробки та тестування прикладного ПЗ з'ясовує для себе його переваги та недоліки (наприклад обмежений функціонал), що далі буде корисним при обґрунтуванні шляхів цифрової трансформації існуючого типу ІСА.

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

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



Рисунок 2.2 – Суть уявної трансформації лабораторного ТП

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

В результаті даної діяльності ролі «Викладач» формується вихідний комплект комп'ютерних моделей реальних ТП хімічного підприємства, який дає можливість для ролі «Студент» почати виконувати діяльність по уявній трансформації реального ТП у реальний автоматизований ТП (АТП), тобто ТП, оснащений усіма технічними засобами автоматизації, що утворюють ІСА реального ТП (рис. 2.3). В результаті такої діяльності створюються додаткові моделі типу реальної СА, які всебічно описують його будову та принцип дії з потрібним ступенем деталізації. В якості додаткових моделей статичної та динамічної типу реальної СА «Студент» може використовувати ті комп'ютерні моделі, які він використовував в ході розробки та тестування ПЗ існуючого лабораторного екземпляру СА, наприклад, схему програми промислового контролера, або схему даних комп'ютера оператора (схема програми та схема даних лабораторного екземпляру СА така сама, як і для типу реальної СА).

Крім того, «Студент» може використовувати штатні функції промислових програмних систем автоматизації, з якими він мав справу при розробці

лабораторної СА, для технічної анімації своєї моделі реального АТП.

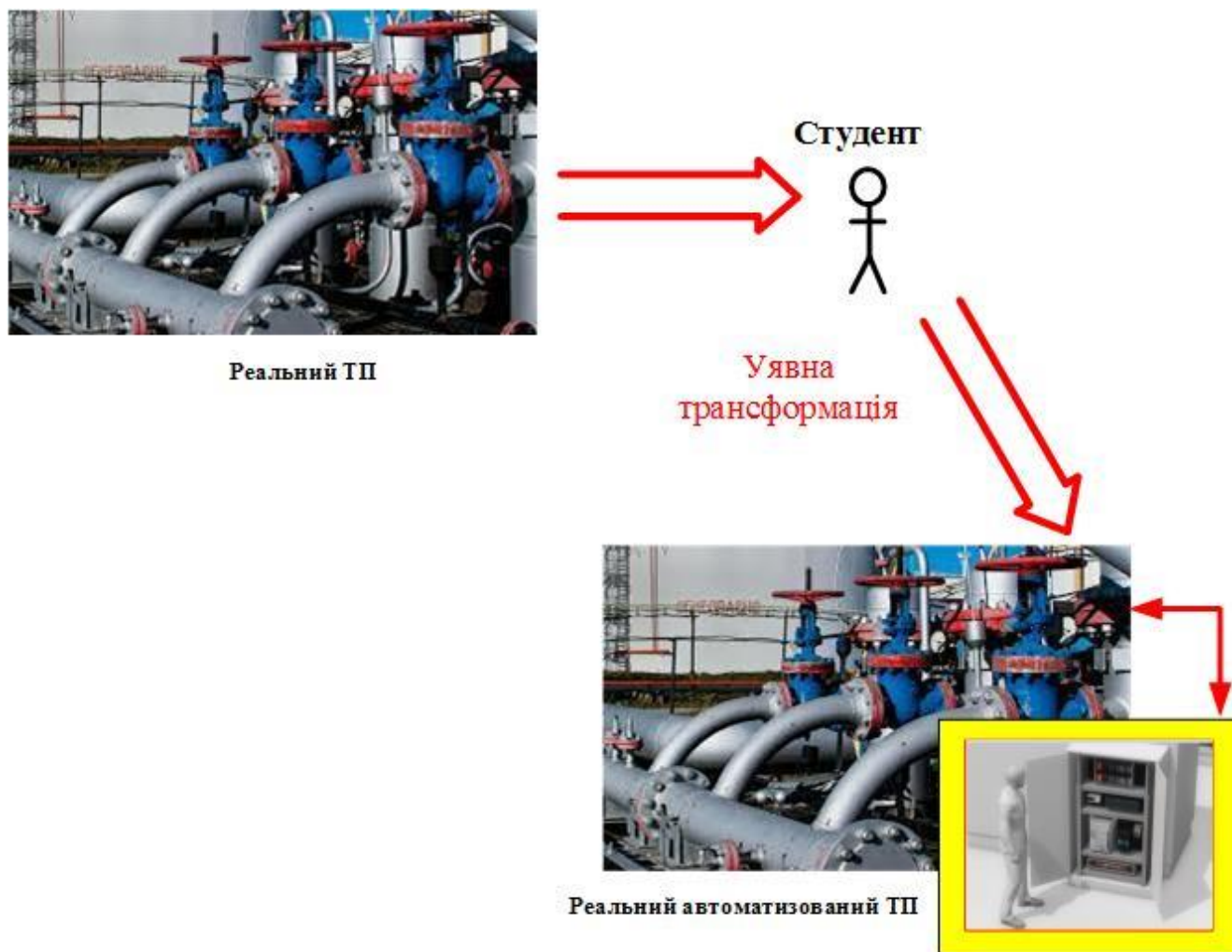


Рисунок 2.3 – Суть уявної трансформації реального ТП у реальний тип СА

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

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

2.2 Розробка моделей існуючого типу СА актором «Викладач»

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

Як було зазначено вище, актор «Викладач» при виконанні даної стадії практичного вивчення актором «Студент» цифрової трансформації типу СА повинен розробляти різні комп'ютерні моделі, які можна об'єднати у такі групи – «Моделі існуючого лабораторного екземпляру СА» та «Моделі існуючого типу реальної СА». У першу групу входять моделі, які надають достатніх вихідних знань для актора «Студент» щоб він зміг здійснювати діяльність «Розробка, тестування та налагодження ПЗ лабораторної ІСА» 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» [42, 43]. По-перше, ці моделі повинні пояснювати ідею лабораторного «віртуального виробництва», по-друге, будову та принцип дії лабораторного екземпляру ІСА цього виробництва, по-третє, конструкцію моделей та принцип дії лабораторних АТП.

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

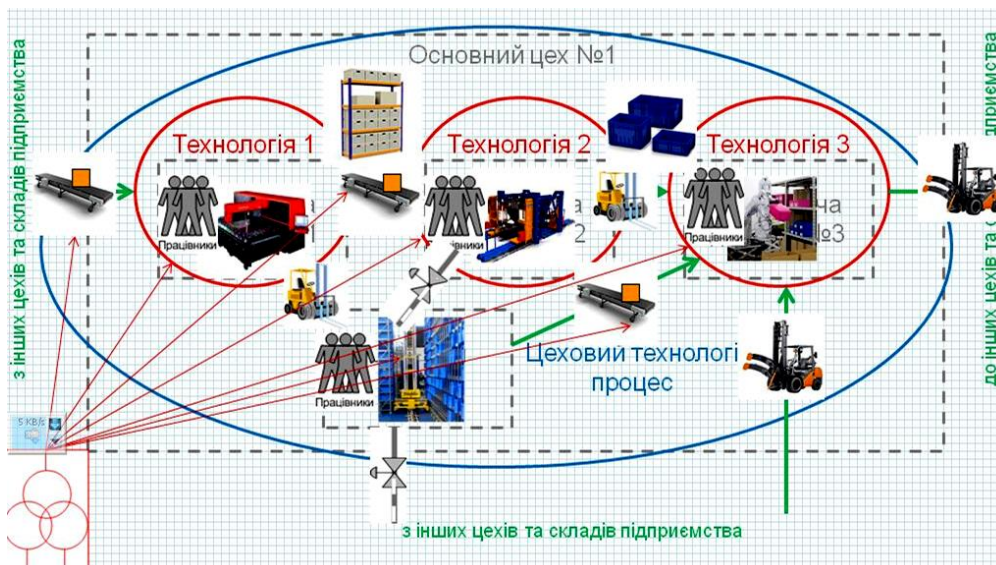


Рисунок 2.4 – Комп’ютерна модель основного ТП «віртуального виробництва»

На рис. 2.5 показана інша графічна модель, що розробляє актор «Викладач». Вона показує принцип організації лабораторної ІСА «віртуального виробництва» у приміщенні навчальної аудиторії.

На рис. 2.6 показана стандартна графічна модель функціональної структури системи управління періодичним виробництвом, яка лежить в основі роботи лабораторного екземпляру ІСА.

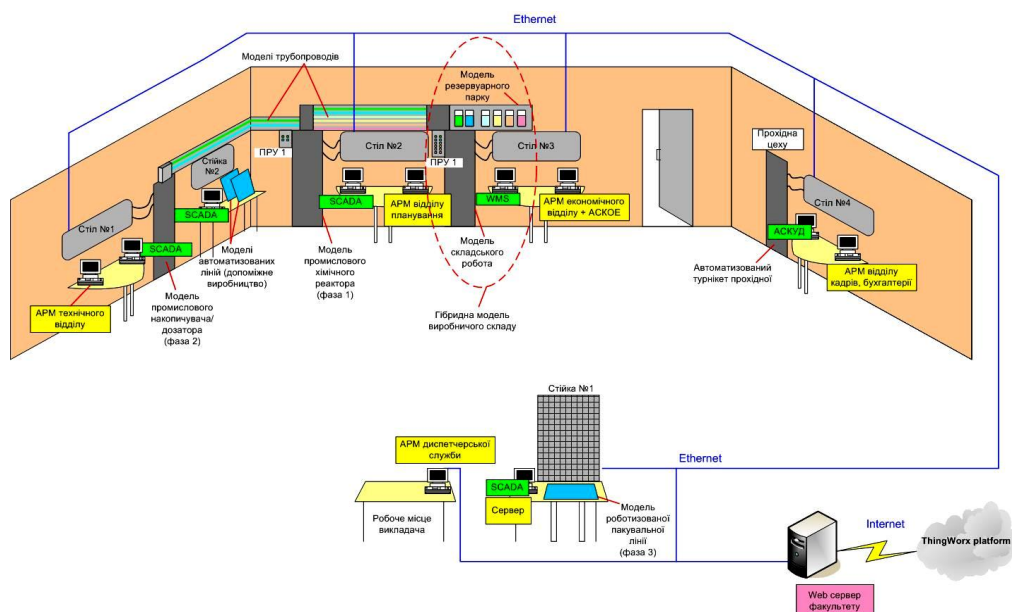


Рисунок 2.5 – Комп’ютерна модель організації ІСА у приміщенні лабораторії

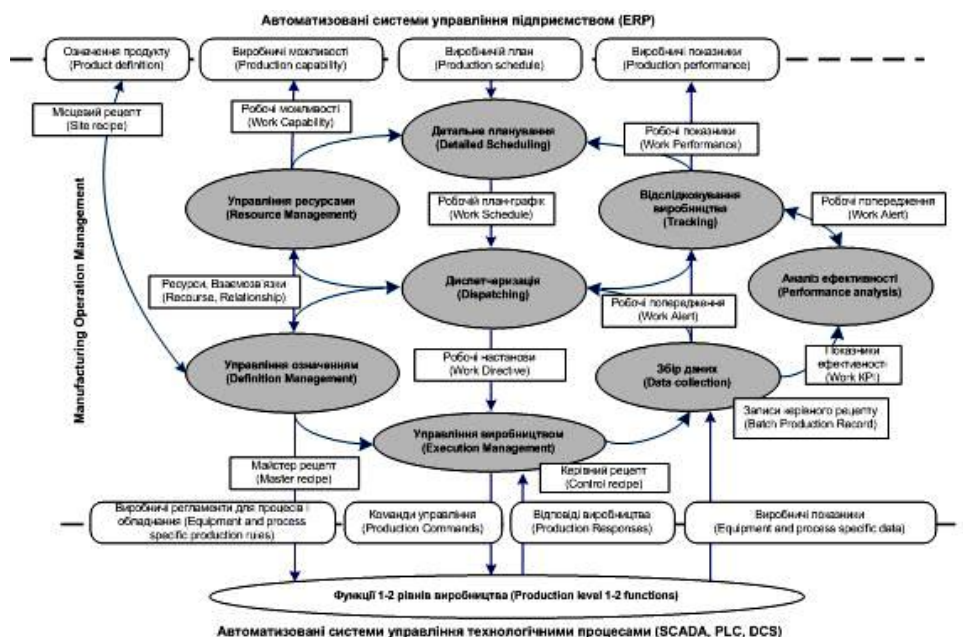


Рисунок 2.6 – Графічна модель функціональної структури лабораторної ІСА

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

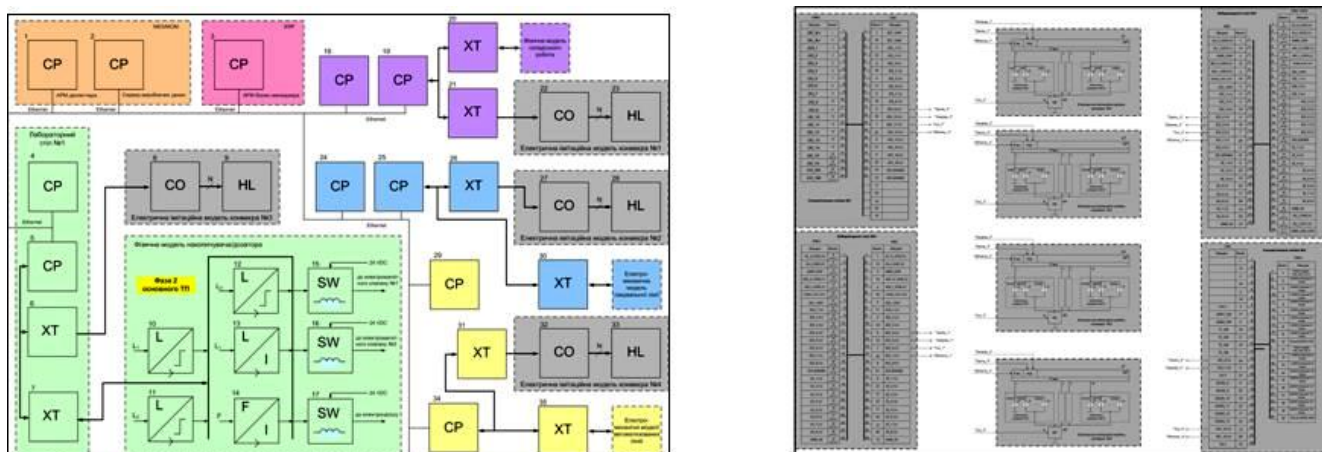


Рисунок 2.7 – Комп'ютерні графічні моделі лабораторного екземпляру СА

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

На рис. 2.8 показаний варіант такої 3D-моделі реального ТП трубопровідної транспортної системи, розробленої засобами графічного редактора «Visio», доступного на «хмарному» сервісі [44].

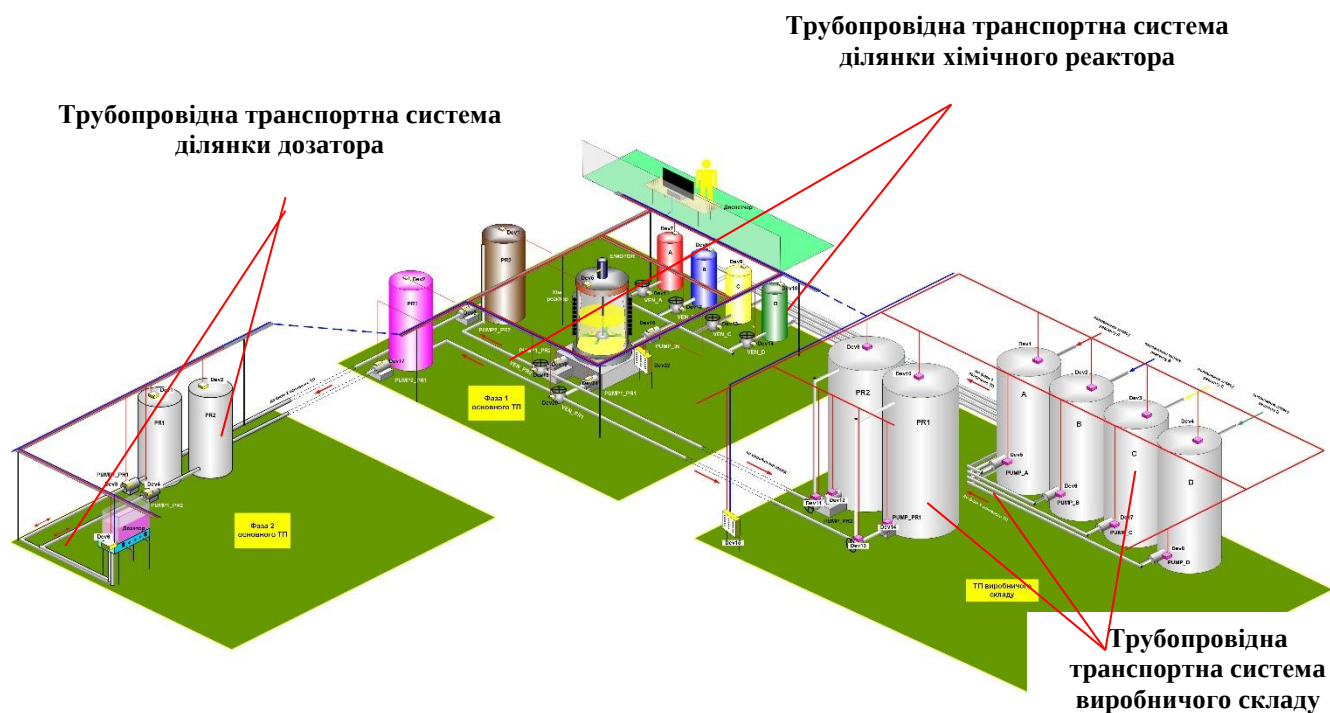


Рисунок 2.8 – Тривимірна графічна модель реального ТП трубопровідної транспортної системи підприємства

На цій моделі відображено реальне приміщення деякого хімічного підприємства, де змонтоване технологічне обладнання трьох фаз основного ТП, допоміжного ТП та ТП виробничого складу, а також промислове обладнання ТП усієї транспортної системи, що обслуговує дане реальне виробництво. Така модель

детально описується актором «Викладач» у відповідному текстовому документі, де означається не тільки конструкція реального ТП та його принцип дії, але і надається повний перелік встановленого промислового обладнання даного ТП та основні його конструктивні/технічні характеристики.

У таблиці 2.1 показаний зразок такого переліку.

Таблиця 2.1 – Промислове обладнання реального ТП

Позначення	Призначення	Характеристики
1	2	3
Фаза 1 основного ТП (ділянка хімічного реактора)		
A	Ємність для локального зберігання реагенту 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	- « -
PUMP1_PR2	... PR2 ...	- « -

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
PUMP2_PR1	Електричний насос подачі готового продукту PR1 з ємності локального зберігання до наступної фази основного ТП	- « -
PUMP2_PR2	... PR2 ...	- « -
Фаза 2 основного ТП (ділянка дозатора)		
PR1	Ємність для локального зберігання готового продукту PR1	Розмір, матеріал, властивості продукту
PR2	... PR2	- « -
PUMP1_PR1	Електричний насос 2-направленої дії для перекачування готового продукту PR1	- « -
PUMP1_PR2	... PR2 ...	- « -
ТП виробничого складу		
Tank_PR1	Резервуар для зберігання готової продукції типу 1	Габарити, об'єм, властивості рідини, що зберігається
Tank_PR2	Резервуар для зберігання готової продукції типу 2	- « -
PUMP_PR1	Електричний насос для перекачування готової продукції типу 1 зі складського резервуару до ТП хімічного реактора	Потужність, тип електродвигуна, розміри вхідного та вихідного фланців
PUMP_PR2	Електричний насос для перекачування готової продукції типу 2 зі складського резервуару до ТП хімічного реактора	- « -
VENT_PR1	Вентиль подачі готового продукту PR1 або з ТП хімічного реактора до складського резервуару, або зі складського резервуару до ТП хімічного реактора	Пропускна здатність, властивості готового продукту

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
VENT_PR2	Вентиль подачі готового продукту PR2 або з ТП хімічного реактора до складського резервуару, або зі складського резервуару до ТП хімічного реактора	- « -
Tank A	Ємність для складського зберігання реагенту А	Габарити, об'єм, властивості рідини, що зберігається
Tank B	Ємність для складського зберігання реагенту В	- « -
Tank C	Ємність для складського зберігання реагенту С	- « -
Tank D	Ємність для складського зберігання реагенту D	- « -
PUMP_A	Електричний насос для перекачування реагенту А зі складської ємності до ТП хімічного реактора	Потужність, тип електродвигуна, розміри вхідного та вихідного фланців
PUMP_B	Електричний насос для перекачування реагенту В зі складської ємності до ТП хімічного реактора	- « -
PUMP_C	Електричний насос для перекачування реагенту С зі складської ємності до ТП хімічного реактора	- « -
PUMP_D	Електричний насос для перекачування реагенту D зі складської ємності до ТП хімічного реактора	- « -

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

ТП. На рис. 2.9 показаний варіант «оживлення» тривимірної моделі реального трубопровідного транспорту для фази 1 основного ТП.

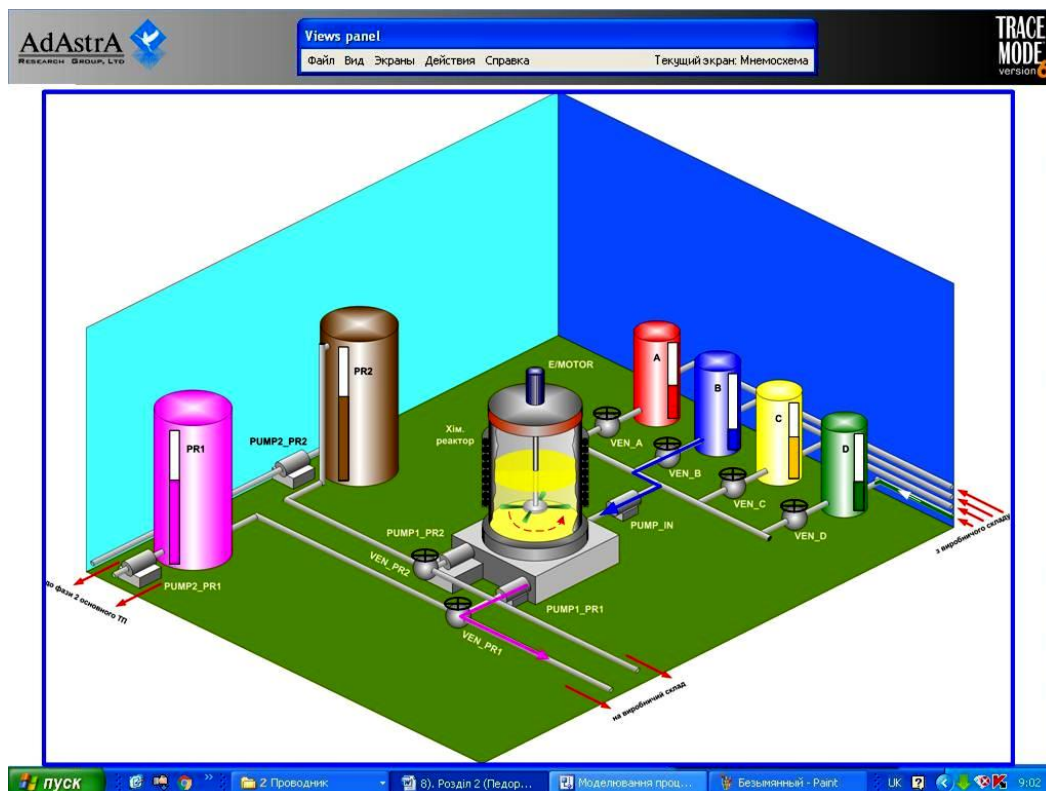


Рисунок 2.9 – Додавання засобів технічної анімації у 3D-модель реального ТП

З рисунку видно, що зображення ємностей реального ТП постачені штатними лінійчатыми 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).

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

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

2.3 Розробка моделей існуючого типу СА актором «Студент»

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

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

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

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

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

В результаті такої взаємодії вказаних функцій в лабораторній ІСА

«віртуального виробництва» здійснюється не тільки контроль наявних на виробництві рідких матеріальних ресурсів, але і управління їхнім переміщенням. При цьому вихідні дані для контролю ресурсів надає функція «Збір даних», яка інформаційно взаємодіє з функціями нижчого рівня, позначеними на рисунку як «АСУТП/SCADA».

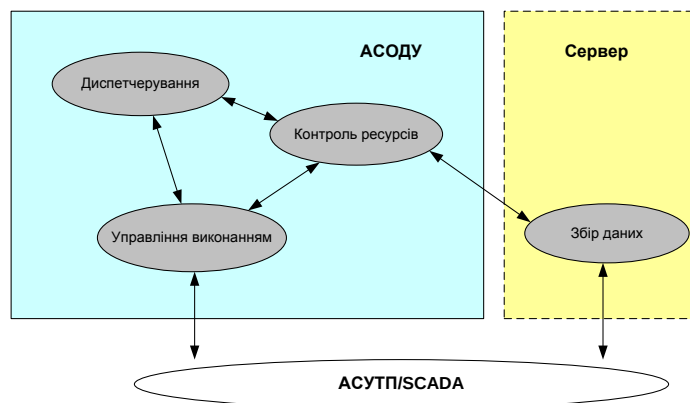


Рисунок 2.10 – Схема функціональної структури для контролю та управління рідкими матеріальними ресурсами

На рис. 2.11 показана інша графічна модель у вигляді архітектури

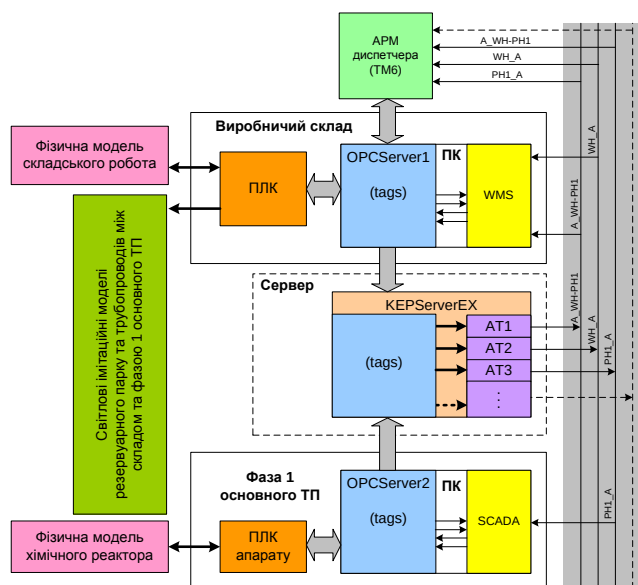


Рисунок 2.11 – Архітектура ПЗ для моделювання запасів та потоків рідких матеріальних ресурсів «віртуального виробництва»

програмного забезпечення для моделювання наявних на «віртуальному виробництві» запасів рідких матеріальних ресурсів та їх переміщення за допомогою відповідних трубопровідних потоків.

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

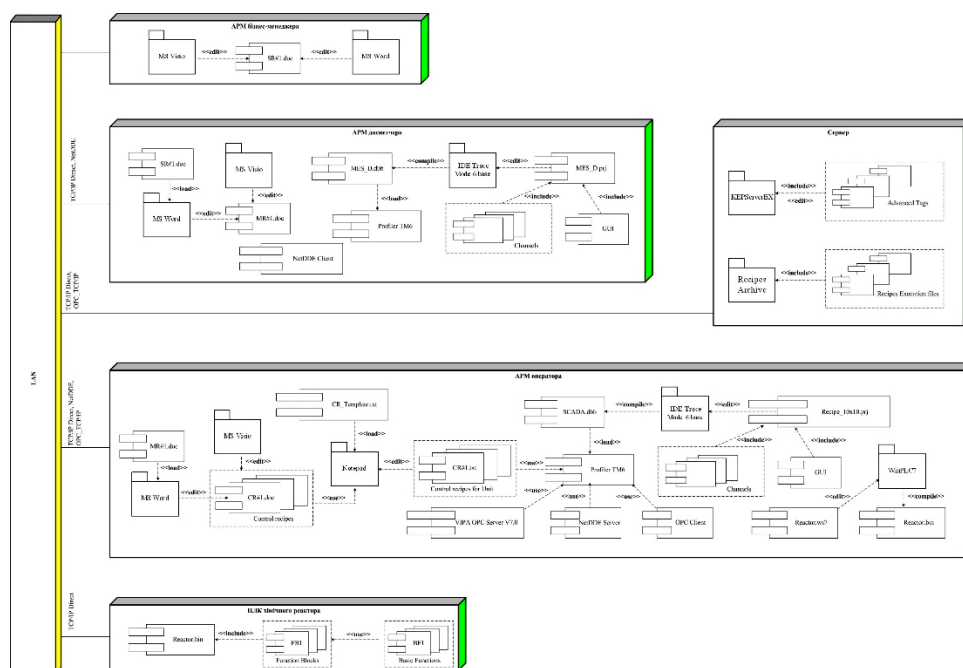


Рисунок 2.12 – Архітектурна модель ПЗ лабораторної ІСА

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

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

дисциплін (див. рис. 2.10 – 2.12).

На даному етапі актор «Студент» повинен розробити модель типу реальної ІСА, яка відображає, по суті, варіант реалізації лабораторної ІСА, але в умовах реального хімічного підприємства. Ці умови, без сумніву, відрізняються від тих умов, які є в лабораторії. На підприємстві встановлено реальне промислове обладнання, що має конкретні конструктивні та технічні характеристики, а у трубопроводах та в ємностях знаходяться реальні хімічні рідини з відповідними фізико-хімічними властивостями (вхідні реагенти, готова хімічна продукція).

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

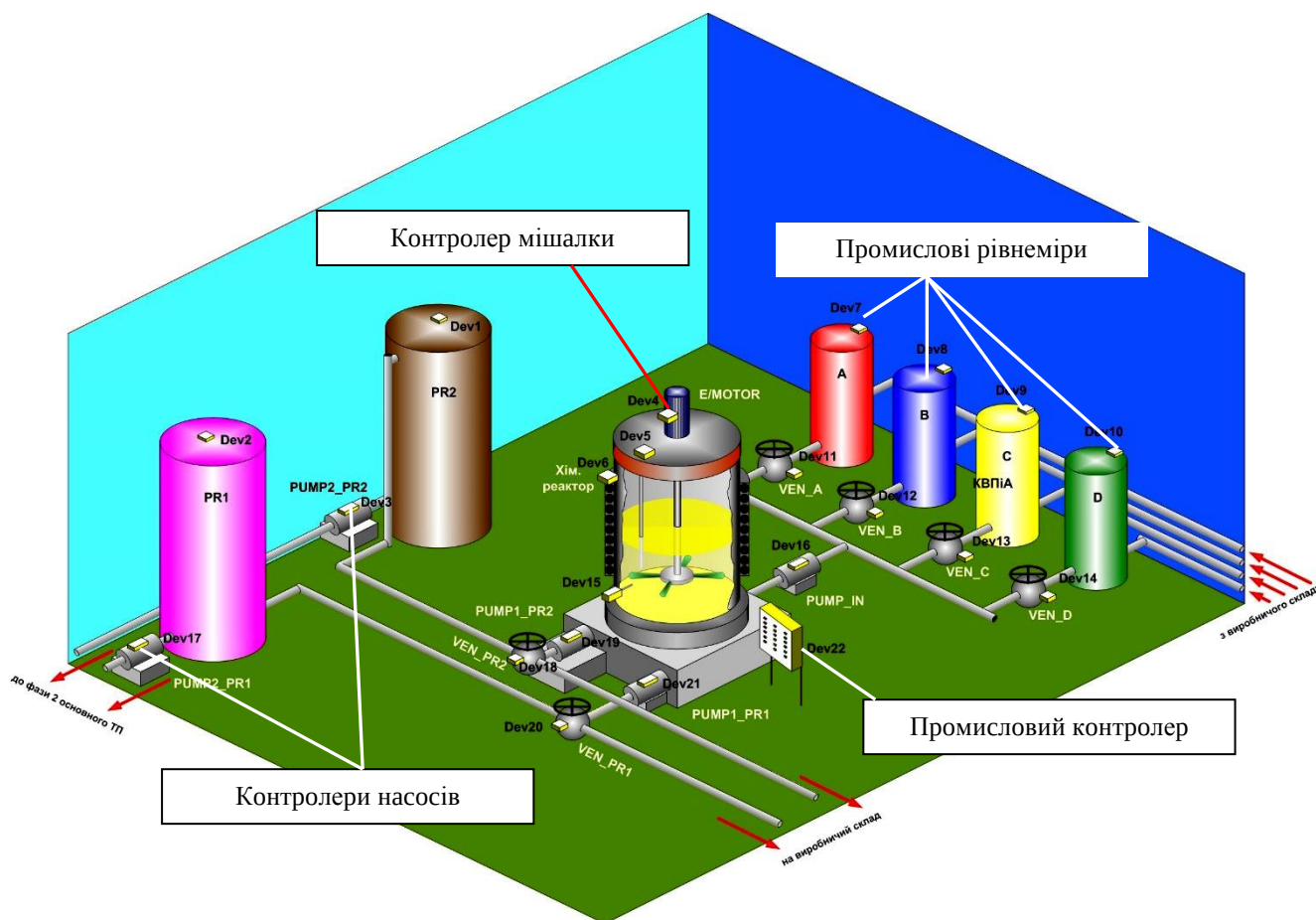


Рисунок 2.13 – Розміщення на тривимірній моделі реального ТП технічних засобів автоматизації для типу СА

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

Таблиця 2.2 – Технічні засоби автоматизації типу реальної СА

Поз. позначення	Призначення	Тип	Характеристики, функціонал
1	2	3	4
Dev1	Рівнемір ємності з готовим продуктом PR2	...	...
Dev2	Рівнемір ємності з готовим продуктом PR1	...	...
Dev3	Контролер насосу PUMP2_PR2	...	...
Dev4	Контролер є/приводу мішалки	...	...
Dev5	Рівнемір вмісту хімічного реактора	...	...
Dev6	Контролер нагрівача хімічного реактора	...	...
Dev7	Рівнемір ємності з реагентом А	...	...
Dev8	Рівнемір ємності з реагентом В	...	...
Dev9	Рівнемір ємності з реагентом С	...	...
Dev10	Рівнемір ємності з реагентом D	...	...
Dev11	Контролер вентиля VEN_A	...	...

Продовження таблиці 2.2

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

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

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

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

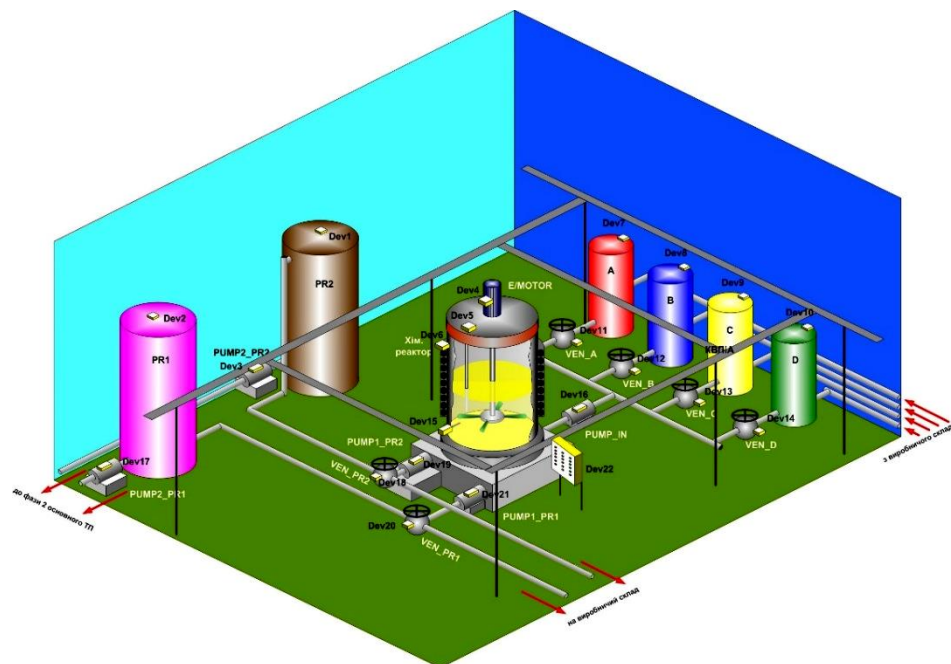


Рисунок 2.14 – Розміщення монтажної арматури для типу реальної СА

В результаті прокладки усіх сигнальних кабелів актор «Студент» отримає тривимірну модель електричного монтажу ТЗА для типу реальної СА (рис. 2.15).

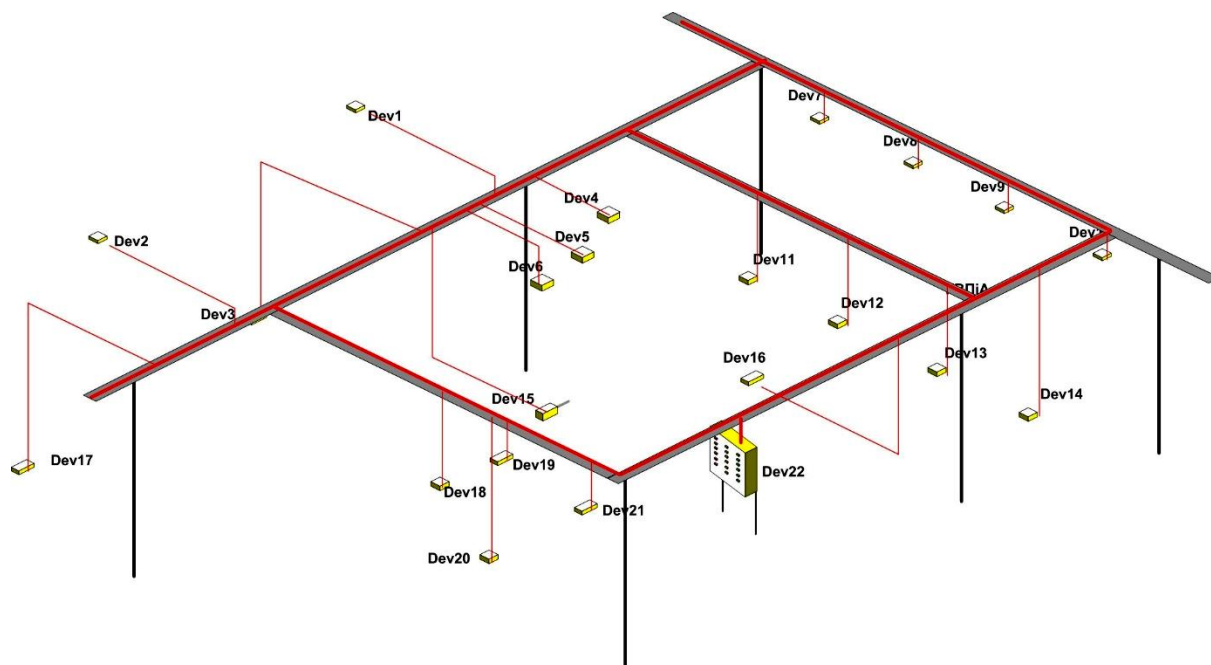


Рисунок 2.15 – Тривимірна модель електричного монтажу ТЗА для типу реальної СА

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

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

На рис. 2.16 показаний приклад введення в тривимірну модель типу реальної СА відповідних робочих місць оператора та диспетчера.

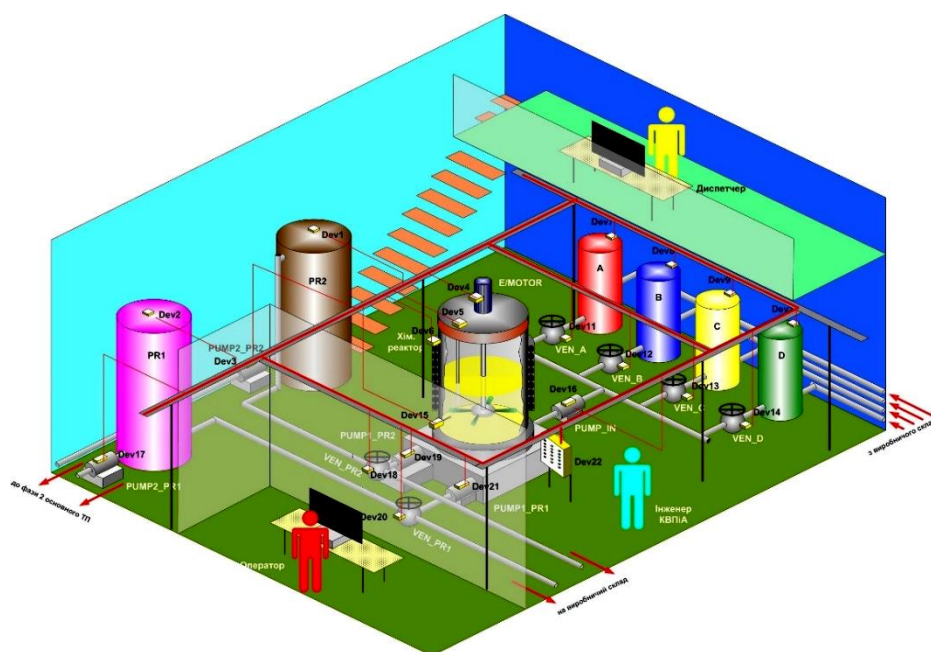


Рисунок 2.16 – Відображення на тривимірній моделі типу реальної СА автоматизованих робочих місць оператора та диспетчера

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

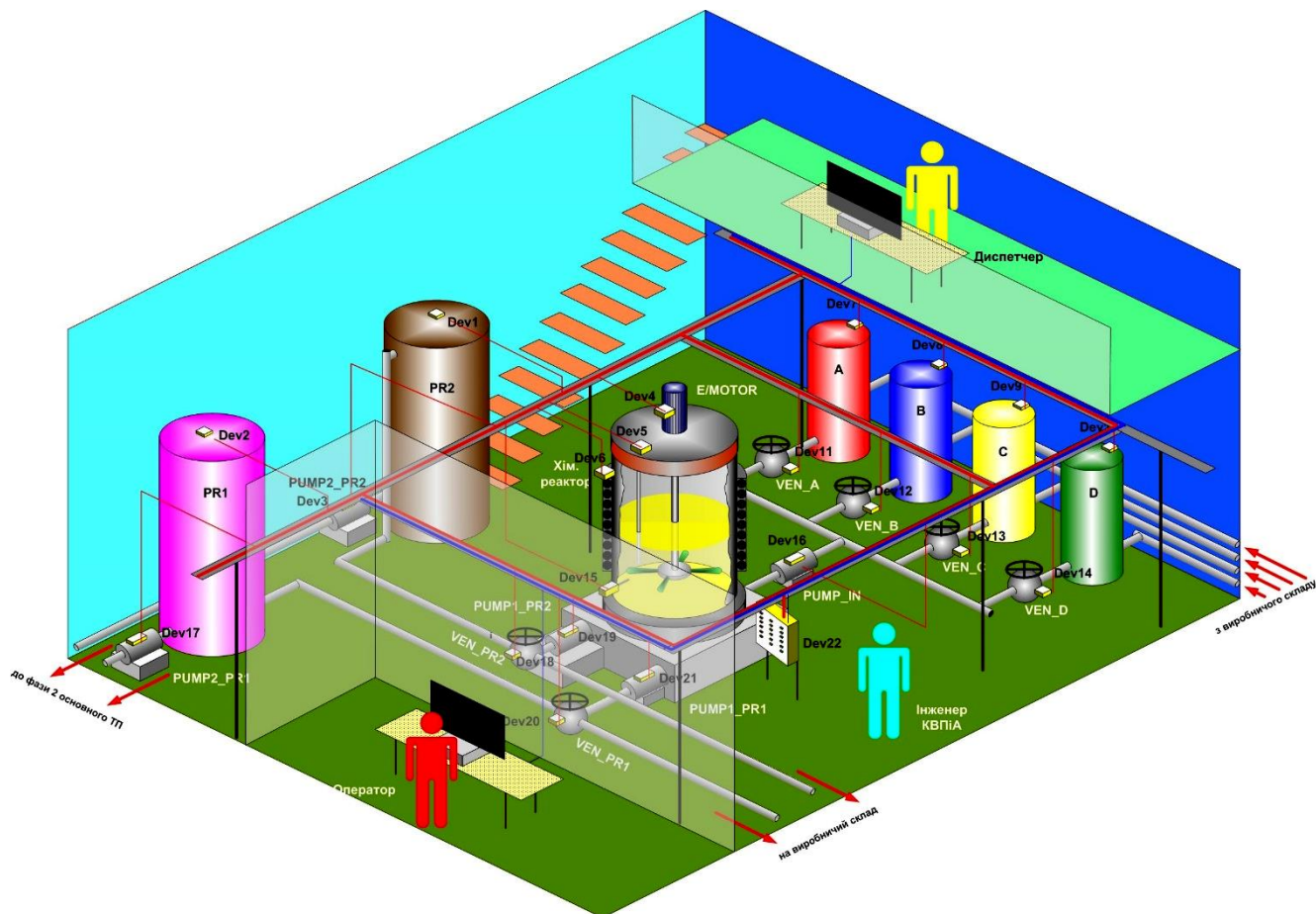


Рисунок 2.17 – «Монтаж» у тривимірній моделі типу реальної СА корпоративної цифрової мережі

На рис 2.16, 2.17 та в додатку В показаний також обов’язковий працівник реального автоматизованого виробництва – інженер з контрольно-вимірювальних пристроїв та автоматики (КВПіА), який має спостерігати за роботою окремих ТЗА та всієї системи автоматизації в цілому, а також виконувати їх ремонт та налаштування.

2.4 Висновки до розділу

В результаті виконання проєктних робіт у даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи була обґрунтована модель діяльності стадії «Моделювання існуючого типу СА», які виконують актори «Студент» і

«Викладач» в ході практичного вивчення цифрової трансформації цієї системи автоматизації. Зроблений огляд та наведені приклади основних графічних комп'ютерних моделей, що має розробляти актор «Викладач» в рамках навчально-методичного забезпечення практикуму професійної дисципліни. Також зроблений огляд та наведені приклади графічних комп'ютерних моделей, що має розробляти актор «Студент» в ході проходження відповідного практикуму з професійної дисципліни.

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

3 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «АНАЛІЗ ТИПУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ»

3.1 Загальне бачення

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

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

Згідно з цією загальною архітектурою, на стадії «Аналіз існуючого типу СА» студент повинен порівнювати будову та принцип дії типу реальної СА хімічного виробництва (детальне уявлення про це студент формує в ході попередньої стадії цифрової трансформації) з властивостями більш досконалого типу реальної СА цифрового «розумного виробництва», в результаті чого будуть виявлені недоліки існуючого типу реальної СА, які потім можна буде усунути шляхом його цифрової трансформації.

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

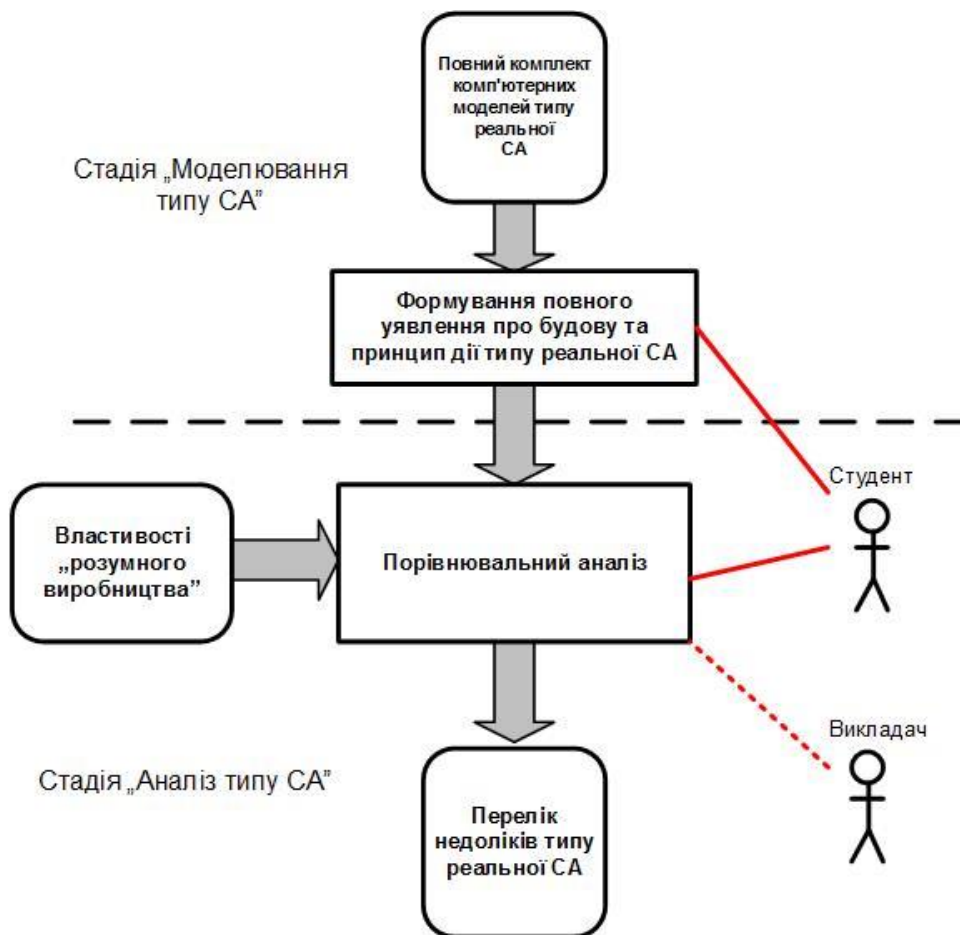


Рисунок 3.1 – Загальне бачення процесу виконання стадії

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

«розумного виробництва» (з точки зору автоматизації його процесів) можна буде представити у вигляді деякого переліку відповідних основних його ознак. В якості прикладу описаної діяльності складемо варіант такого переліку.

В основі організації виробничих підприємств «Індустрії 4.0» типу цифрова «розумна фабрика» лежать технології промислового Інтернету речей, хмарні технології, технології збору й обробки великих масивів виробничих даних і ін., що забезпечують роботу роботизованого автоматичного технологічного обладнання - кіберфізичних систем [45-47].

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

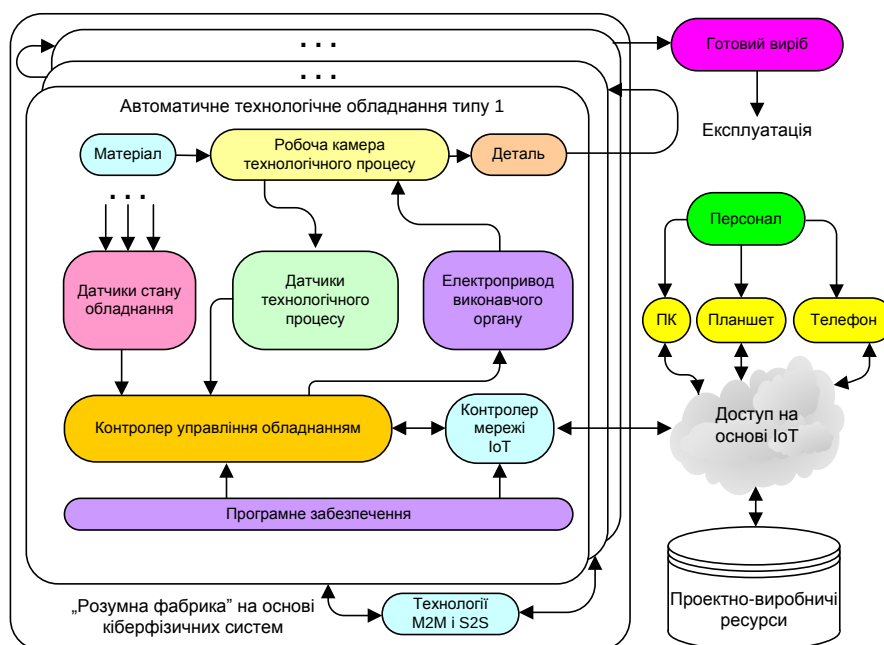


Рисунок 3.2 – Схема взаємодії персоналу й кіберфізичних систем на підприємствах І4.0 типу цифрова «розумна фабрика»

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

Інтерфейс IoT підтримується різними специфікаціями бездротових мереж.

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

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

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

- стан виконання технологічного процесу в робочій камері виробничого автомата (наприклад, установлення на друковані плати елементної бази, промивання друкованих плат, нанесення гальванічного покриття на деталі, отримані методом тривимірного друку й ін.), що реєструється спеціальною

системою убудованих датчиків;

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

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

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

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

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

виконання всієї програми випуску підприємства.

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

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

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

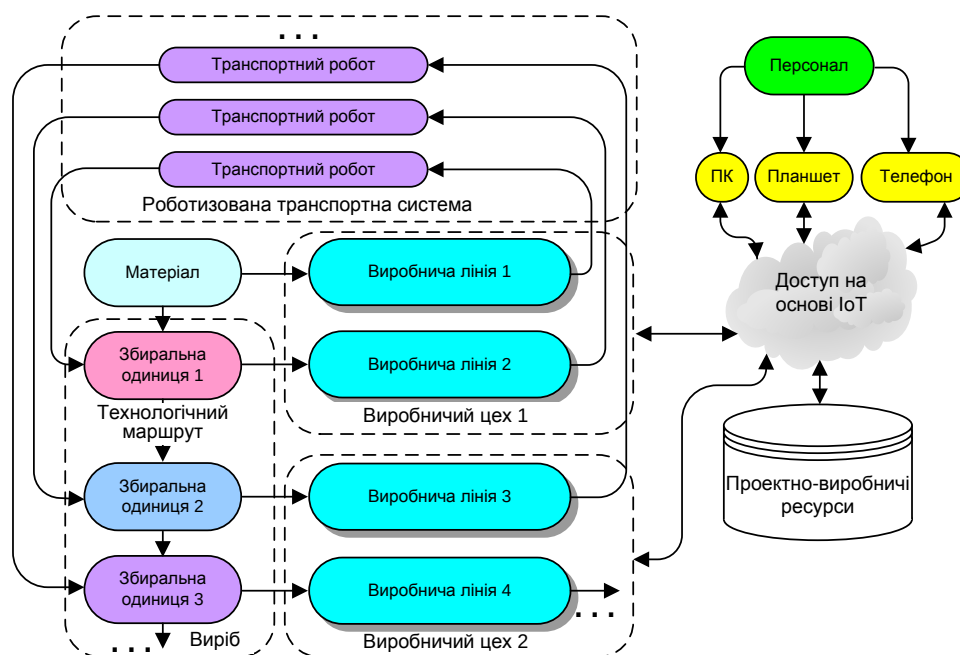


Рисунок 3.3 – Схема руху складальних одиниць на підприємствах І4.0

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

цеху повинне забезпечуватися спеціалізованою роботизованою транспортною системою.

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

Таким чином, транспортні роботи можуть бути цеховими (переміщують деталі в межах виробничих ліній і системи шаф зберігання виробів) і міжцеховими, призначеними для переміщення виробів відповідно до технологічного маршруту в межах виробничого комплексу підприємства 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 рис. 3.3 у вигляді бібліотеки «проектно-виробничі ресурси», підключеної із «хмари» до інтерфейсу IoT виробничого комплексу.

Аналізуючи цю систему автоматизації цифрового «розумного виробництва»

I4.0, можна виділити основні його ознаки (таблиця 3.1).

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

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

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 безпеність	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 безпеність	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 безпеність	Повне усунення людської праці з небезпечних та тяжких процесів виробництва; надання працівникам вдосконалених засобів захисту від дії небезпечних виробничих факторів, комплексного моніторингу середовища та попереджувальної сигналізації.
Принципово нові продукти (продукція)	Створення та швидкий вивід на ринок товарів, що використовують або нові технології (літаючі такси, окуляри доповненої реальності), або вдовольняють новим потребам користувачів (електричні автомобілі, цифрові екскурсоводи, цифровий метавсесвіт), або вимагають використання при виготовленні нових технологій (3D-принтери металом або цифрове моделювання процесів).

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

3.2 Розробка алгоритму виконання аналізу

Яку ж структурну будову слід вибрати в якості основи для виконання порівнювального аналізу – структуру існуючого типу реальної СА, створену за концепцією I3.0, чи структуру типу СА цифрового «розумного виробництва, створеного за концепцією I4.0?

На наш погляд, буде більш доцільним взяти за взірць структурної будови саме кінцевий варіант типу СА, тобто той, що має бути отриманий в результаті цифрової трансформації існуючого типу реальної СА. По-перше, властивості (ознаки) цифрового «розумного виробництва» ідеально суміщаються саме з цією структурою. По-друге, відсутність будь-якого компоненту структури I4.0 у складі структури існуючого типу реальної СА I3.0 можна буде зразу вважати його недоліком, тобто процес аналізу значно спрощується.

На даний час структурну будову цифрового «розумного підприємства» та цифрового «розумного виробництва» I4.0 регламентують декілька стандартних архітектурних моделей, які називаються референтними [48-50]. Розглянемо одну з них, що орієнтована саме на цифрове промислове виробництво.

Референтна модель Reference Architecture Model for Industry 4.0 (RAMI 4.0) описує нейтральну щодо подальшої реалізації найкращу (рекомендовану) архітектурну модель для тих додатків, що використовують Інтернет Речей (IoT), аналітику великих даних та інші технологічні новації у виробничих процесах і які відомі зараз під назвою «розумне виробництво», «інтелектуальне виробництво» та просто «Індустрія 4.0» (I4.0) [48]. 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 рис. 3.4, базується на трьохвимірній системі координат – «Шари» (Layers), «Життєвий цикл та потік

формування цінності» (Life Cycle & Value Stream) та «Ієрархічні рівні» (Hierarchy Levels). Ця структура може використовуватися для системної організації та подальшої розробки концепцій та технологій в рамках I4.0.

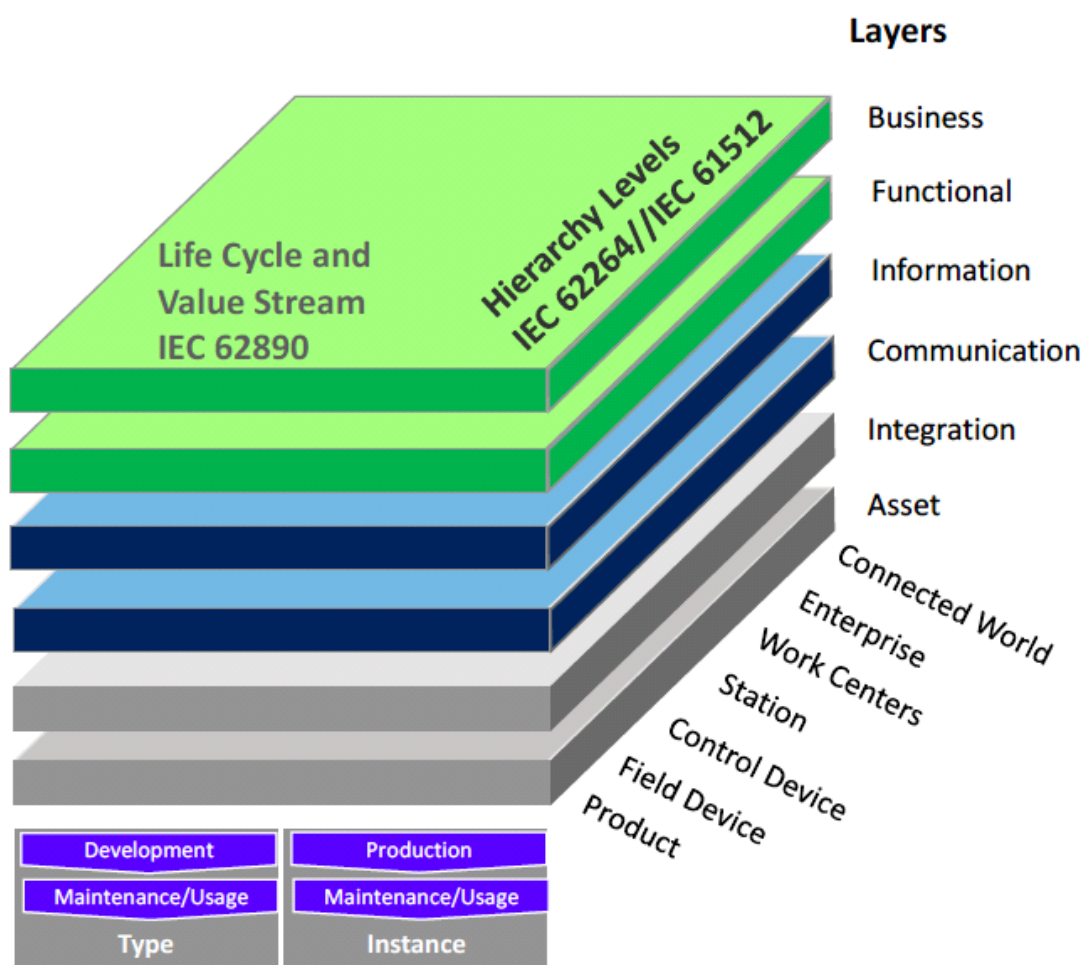


Рисунок 3.4 - Референтна архітектурна модель RAMI 4.0

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

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

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

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

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

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

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

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

6). Шар активів (Asset): представляє реальність, тобто фізичну сутність

активу (ресурсу), яка представлена усіма іншими шарами, або дані, що є результатом виконання активом відповідних функцій.

Таким чином, в процесі цифрової трансформації типу реальної СА 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 рис. 3.5 та в додатку В наведений алгоритм виконання студентом за участі викладача даної стадії цифрової трансформації, який пропонується для використання у новому НЗ.

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

На першому етапі виконання стадії аналізу даного типу СА студент повинен вибрати певну точку зору, з якої він буде далі його розглядати.

Точка зору студент визначає наступним чином. Спочатку на вісі «Life Cycle» архітектурної моделі RAMI 4.0 студент вибирає одну з чотирьох стадій життєвого циклу СА – або стадію «Development» для типу СА, або стадію

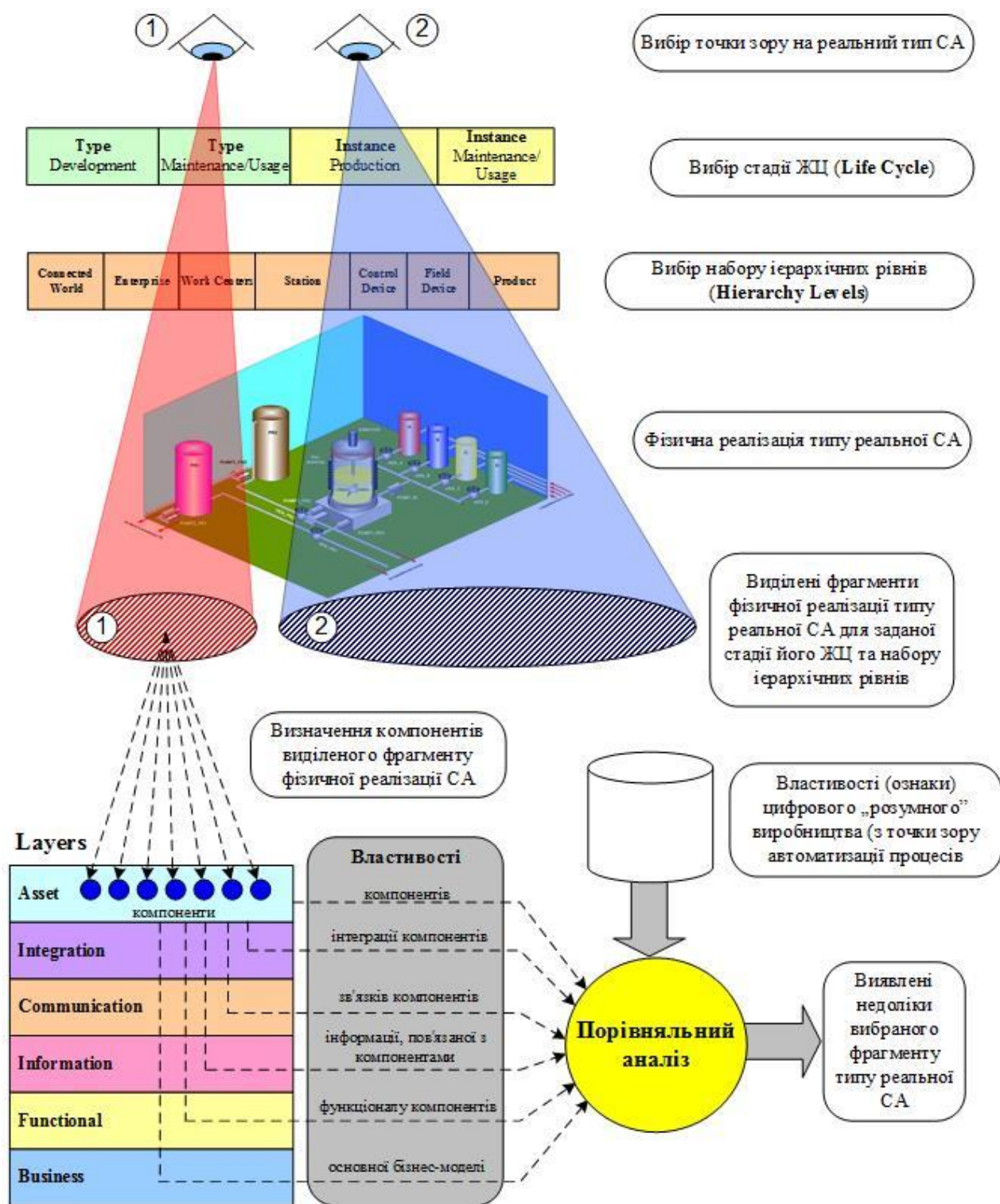


Рисунок 3.5 – Алгоритм виконання стадії «Аналіз реального АТП»

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

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

Для прикладу на рисунку показаний вибір двох точок зору на типу реальної СА для виконання подальшого аналізу:

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

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

На наступному етапі студент аналізує будову вибраного фрагменту фізичної реалізації типу реальної СА і визначає в ній основні складові компоненти, які стосуються або фізичної реалізації ТП, або фізичної реалізації ТЗА, або обох цих частин типу реальної СА. Визначені компоненти студент умовно переносить у шар «Актив» (Asset) вісі «Шари» (Layers) архітектурної моделі RAMI 4.0, щоб далі у інших шарах архітектурної моделі описати різні властивості окремих компонентів чи їх груп:

- у шарі «Актив» (Asset) треба описати загальні властивості окремих компонентів (назва, призначення і т.п.) вибраного фрагменту СА;

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

- у шарі «Зв’язок» (Communication) треба описати властивості різного роду зв’язку або між компонентами вибраного фрагменту СА, або між ними і зовнішніми компонентами, які не увійшли у вибраний фрагмент СА, що дозволяє реальній СА виконувати свою основну задачу;
- у шарі «Інформація» (Information) треба описати властивості тієї інформації (форма представлення, зміст, обсяг, часові параметри і т.п.), яка пов’язана з окремим вибраним компонентом або з групою вибраних компонентів і використовується в СА для виконання її основної задачі;
- у шарі «Функціонал» (Functional) треба описати властивості вибраних окремих компонентів чи їх груп з точки зору виконуваних ними функцій при виконанні реальною СА її основної задачі;
- у шарі «Бізнес» (Business) треба описати властивості тієї бізнес-моделі, яку забезпечує реальна СА в ході виконання своєї основної задачі.

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

В результаті такого порівняння поступово формується перелік виявлених недоліків, наприклад типу реальної СА, в цілому чи її компонентів у порівнянні з автоматизованим «розумним» виробництвом чи з окремими його компонентами референтної архітектурної моделі RAMI4.0.

3.3 Приклади виконання аналізу реального типу СА

Розглянемо приклади використання запропонованого алгоритму. Візьмемо спочатку фрагмент реалізації типу реальної СА промислової транспортної системи,

яка обслуговує фазу 1 основного ТП промислового виробництва рідкої хімічної продукції (рис. 3.6). Ця трубопровідна транспортна система призначена для перекачування реагенту D з ємності локального зберігання «Tank D» через вентиль «VEN_D» та насос «PUMP_IN» до хімічного реактора «Reactor».

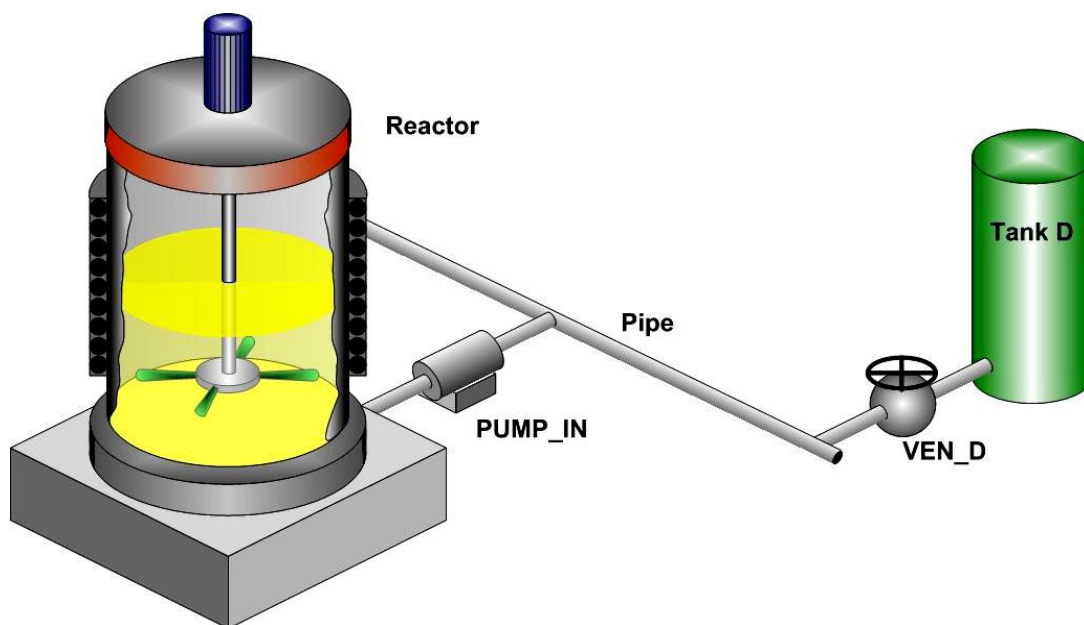


Рисунок 3.6 – Частина типу реальної СА для виконання порівняльного аналізу

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

Тепер розподілимо ці компоненти по групах так, щоб ці групи відповідали конкретному ієрархічному рівню (Hierarchy Levels) моделі RAMI4.0 (рис. 3.7 та додаток В). Отримаємо дві групи – група «Product», до якої входять компоненти «Reactor», «Tank D» і «Pipe», та група «Field Device», до якої входять «VEN_D» та «PUMP_IN».

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

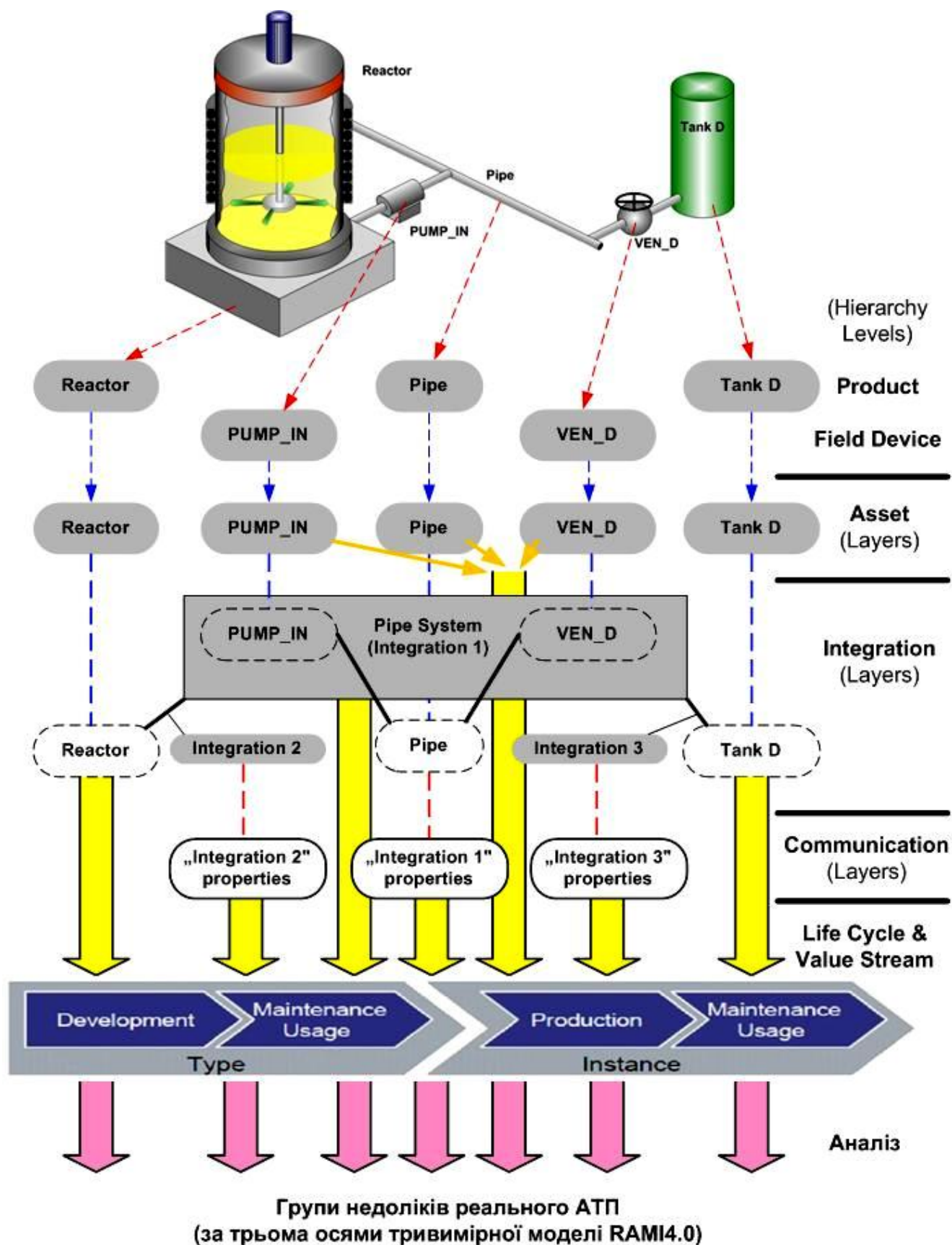


Рисунок 3.7 – Приклад виконання порівнювального аналізу для фрагмента типу реальної СА трубопровідної транспортної системи

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

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

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

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

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

Таким чином, у нас сформований такі групи компонентів фрагменту фізичної реалізації типу реальної СА трубопровідної транспортної системи для проведення їх аналізу у порівнянні з властивостями «розумного виробництва»:

- «Pipe», «VEN_D», «PUMP_IN», «Reactor» та «Tank D» (компоненти

ієрархічних рівнів системи автоматизації);

- «Pipe», «VEN_D», «PUMP_IN», «Reactor» та «Tank D» (компоненти шару «Asset» вісі «Layers» IT – інфраструктури системи автоматизації);

- «Integration 1», «Integration 2», «Integration 3», «Pipe System» (компоненти шару «Integration» вісі «Layers» IT – інфраструктури системи автоматизації);

- «Integration 1 properties», «Integration 2 properties» та «Integration 3 properties» (компоненти шару «Communication» вісі «Layers» IT – представлення системи автоматизації).

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

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

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

бізнес-модель ведення господарської діяльності..

Усі перелічені недоліки вибраного фрагменту фізичної реалізації типу реальної СА трубопровідної транспортної системи насправді складають невелику частку тих недоліків, які можна виявити шляхом ретельного порівнювального аналізу усіх компонентів даного типу СА.

3.4 Висновки до розділу

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

4 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ТИПУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ»

4.1 Означення основних діяльностей

На цій стадії практичного вивчення процесу цифрової трансформації типу реальної СА 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 (рис. 4.1 та додаток В). Виконання даної стадії практичного вивчення починається з етапу «Пошук способу цифрової трансформації типу реальної СА». Цей тип СА побудований за концепцією I3.0 і тому має суттєві недоліки, що були виявлені на попередній стадії. Тому в результаті його цифрової трансформації потрібно отримати більш досконалий тип СА, 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 типу реальної СА, вибравши спосіб (способи) цифрової трансформації, він має визначити I4.0 цифрову технологію або технології для реалізації вибраного способу (способів). Щоб кваліфіковано здійснити цей вибір студент обов'язково повинен ретельно дослідити предметну область I4.0 промислової автоматизації, використовуючи при цьому як доступні ресурси Інтернет, так і наявні навчально-методичні матеріали, підготовлені викладачем в рамках відповідної професійної дисципліни або проєктного практикуму.

Коли потрібна технологія або технології цифрової трансформації будуть знайдені, то студент переходить до виконання наступного етапу – «Розробка концепції цифрової трансформації типу реальної СА». На цьому етапі для представлення свого бачення цієї концепції студент може використовувати як

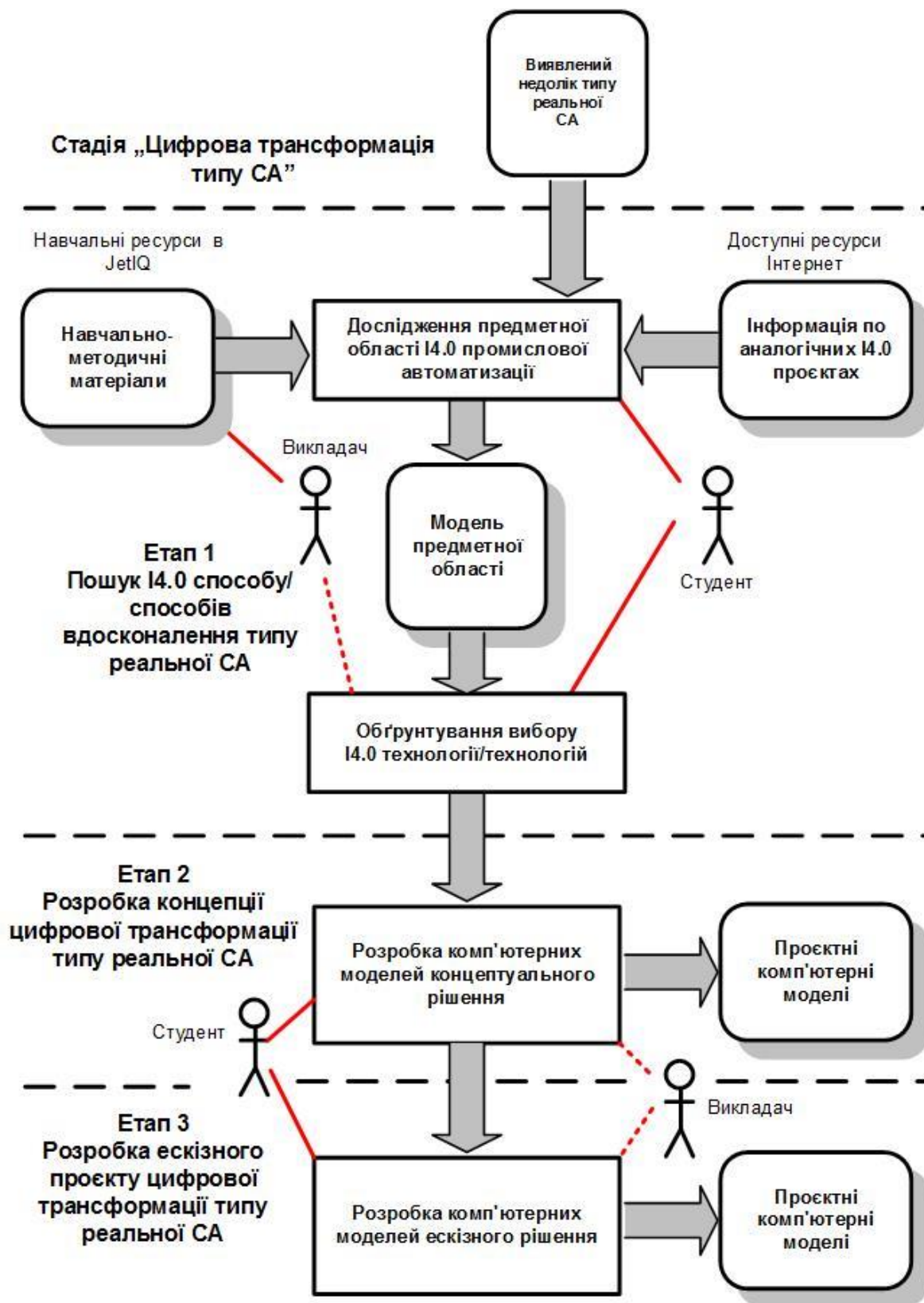


Рисунок 4.1 – Модель діяльності заключної стадії практичного вивчення цифрової трансформації типу реальної СА

доступні «хмарні» сервіси цифрового моделювання того чи іншого виду, так і

наявні локальні програмні засоби такого моделювання. Готовий проєкт, що відображає запропоноване концептуальне рішення цифрової трансформації типу реальної СА, буде першим результатом практичного вивчення студентом процесу цифрової трансформації за допомогою нового НЗ.

Бажано, щоб цей практичний результат студент отримав в ході навчального процесу бакалаврського рівня підготовки, наприклад, це може бути навчальний процес у рамках професійної дисципліни «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва».

Якщо студент продовжить навчання в магістратурі вузу, то він зможе на основі описаного вище концептуального рішення цифрової трансформації типу реальної СА продовжити практичне вивчення його цифрової трансформації шляхом виконання наступного його етапу – «Розробка ескізного проєкту цифрової трансформації типу реальної СА». Цей етап характеризується більшою деталізацією проєктних рішень і також передбачає активне використання студентом як доступних «хмарних» сервісів цифрового моделювання того чи іншого виду (наприклад з цифровою симуляцією роботи вдосконаленої СА), так і наявних локальних програмних засобів такого моделювання.

Результатом діяльності студента на цьому етапі стане ескізний проєкт цифрової трансформації типу реальної СА, який повинен бути представлений у вигляді відповідних комп'ютерних моделей, що описують його устрій та принцип дії (наприклад архітектура ПЗ, структура технічних засобів, цифрова симуляція роботи СА). Усі розроблені студентом комп'ютерні моделі ескізного проєкту повинні мати формат, який дозволяє викладачу переглядати їх або на комп'ютерах навчальної лабораторії, або на доступних «хмарних» сервісах цифрового моделювання, або за допомогою наявних локальних програмних засобів моделювання.

Таким чином, ескізний проєкт стане заключним результатом практичного вивчення цифрової трансформації типу реальної СА на новому НЗ. Цей практичний результат може бути досягнутий або в рамках професійної дисципліни магістерського рівня підготовки, наприклад, «Промисловий Інтернет речей», або в рамках відповідного проєктного практикуму.

4.2 Дослідження предметної області І4.0 промислової автоматизації

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

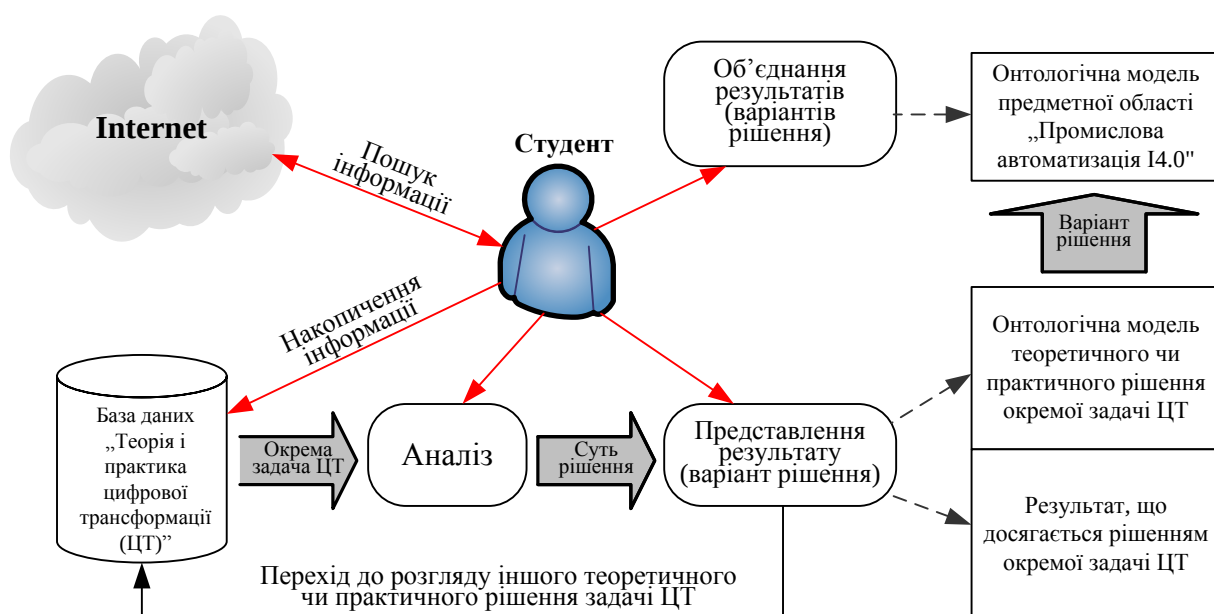


Рисунок 4.2 – Схема проведення онтологічного дослідження

В якості джерел інформації для онтологічного дослідження використовуються чисельні Інтернет - ресурси, пошук на яких студент може здійснювати за допомогою штатних інструментів ОС Windows. Знайдену інформацію по промисловій автоматизації I4.0 студент вносить у базу даних «Теорія і практика цифрової трансформації (ЦТ)». Паралельно з подальшим пошуком інформації і її накопиченням, студент виконує послідовний аналіз всіх знайдених практичних рішень окремих задач ЦТ, будує для кожного такого рішення відповідну онтологічну модель, що відображає концепцію застосованого способу ЦТ, та фіксує той позитивний результат, який досягається цим способом для окремої задачі ЦТ. Такий окремих результат дослідження буде вважатися одним із багатьох можливих варіантів рішення конкретної задачі ЦТ.

Крім описаних дій, студент може проводити і узагальнення отриманих результатів дослідження варіантів рішення задач ЦТ. Наприклад, він може будувати загальну графічну онтологічну модель всієї предметної області промислової автоматизації I4.0. В першу чергу це буде сприяти поглибленню його знань в області автоматизації I4.0, а в подальшому допоможе самостійно розв'язувати на рівні концепції будь-які складні або оригінальні задачі ЦТ.

На рис. 4.3 та в додатку В наведений варіант побудови такої графічної онтологічної моделі предметної області промислової автоматизації I4.0. В якості відправної точки її будування вибране класичне означення промислової кіберфізичної системи (КФС), яка є фундаментом промислової автоматизації I4.0, а саме, «Кіберфізична система промислової автоматизації – це людська праця, «розумні» машини й транспорт, інтегровані в єдиному цифровому просторі за допомогою мереж, «розумних» пристроїв, сенсорних систем, аналітичних платформ і хмарних обчислень» [51]. Усі наведені у цьому означенні поняття (базові об'єкти) зв'язані між собою класичними відношеннями (базові «зв'язки»), які відображені на класичній графічній моделі предметної області промислових КФС. Ця класична модель на рис. 4.3 розміщена в середині моделі у площині базових об'єктів та «зв'язків» I4.0.

Нижче та вище площини базових об'єктів та «зв'язків» I4.0 поміщені площини, де відображується подальший розвиток промислової автоматизації I4.0

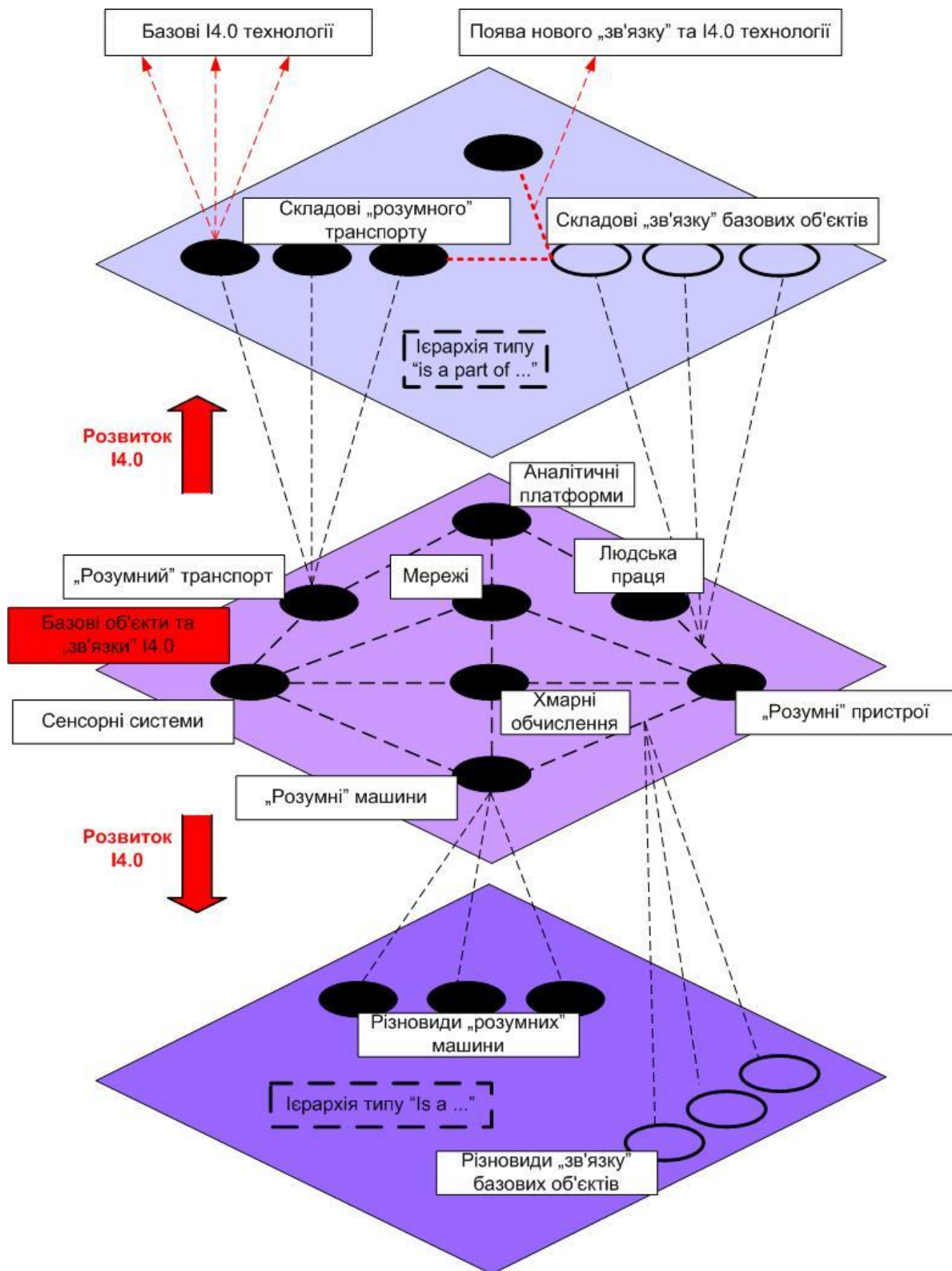


Рисунок 4.3 – Варіант графічної онтологічної моделі предметної області І4.0 промислової автоматизації

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

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

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

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

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

Продовження таблиці 4.1

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

Продовження таблиці 4.1

1	2
Висока якість продукції	1. Комплексне управління якістю в реальному часі в масштабі всього підприємства. 2. Цифрова підтримка забезпечення якості, відстеження й доступу до історичних цифрових даних про деталі, процеси й ресурси. 3. Забезпечення швидких дій по усуненню неполадок і проблем з якістю. 4. Використання контексту у моделі даних для рішення задач по якості за рахунок застосування комплексного набору типів даних і джерел. 5. 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 <u>АІ</u>, що враховують широкий спектр проблем якості продукції й процесів.
Технічні/функціональні ознаки	
Цифрова виробнича система	1. Цифровізація виробничих процесів. Невід'ємна частина (початкова стадія) більш масштабної цифрової трансформації - перетворення всієї промислової екосистеми в єдину <u>віртуальну цифрову структуру</u>. Вимагає комплексного підходу із продуманою концепцією й поетапним планом розвитку підприємства і його екосистеми. Наприклад, для початку задіяти <u>цифровий зв'язок для взаємодії з постачальниками, покупцями, партнерами та виробничими підрозділами</u>. 2. Цифрові технології. Вони підвищують продуктивність і конкурентоспроможність за рахунок моделювання й оцінки виробів 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. Збирання <u>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 3D-моделювання 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
Віртуалізація виробничого середовища	1. Використання інфраструктури спеціальної віртуальної платформи. Таке рішення дозволяє здійснювати через віртуальне середовище візуалізацію і контроль того, що неможливо фізично побачити в реальному світі, - єдину промислову екосистему. 2. Цифрові мережі створення цінності. Дозволяють <u>усунути бар'єри</u> між потенційними бізнес-партнерами й створити нові бізнес-моделі для надання інноваційної продукції споживачам. 3. Об'єднання можливостей віртуального середовища й реального світу. Дозволяє знизити ризики, вдосконалити процеси і <u>прогнозувати показники продуктивності</u>. Люди отримують можливість використовувати машини для трансформації виробництва. Підприємства одержують доступ <u>до всіх видів аналітики</u> (deskриптивної, діагностичної, предикативної та такої, що пропонує), використовуючи для швидкої й ефективної роботи з даними повноцінні <u>платформи Big Data або IoT</u> (драйвери, шлюзи, транспортна мережа, аналітичні можливості). 4. Комплексне цифрове моделювання й симуляція. Створення <u>віртуальних моделей</u> будь-яких виробничих активів, виробів і процесів для рішення поточних і майбутніх завдань. Приклад – <u>цифрові «двійники» активів</u>. При цьому об'єднання цифрових технологій стирає границі між фізичними й цифровими системами, утворюючи так звані "кіберфізичні системи". <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.
Абсолютна гнучкість виробничих процесів	1. Модульність (Modularity). Впровадження <u>комплексного й спеціалізованого набору технологій</u> з можливістю масштабування. Дає можливість системним компонентам бути зібраними, розібраними та скомпонованими іншим чином досить швидко та легко. На рівні виробництва цей принцип означає можливість додавання, переміщення або зміни порядку слідування компонентів виробничої лінії без значних зусиль за мінімальний час. Вищий рівень модульного проектування дає можливим швидкої інтеграції розумних активів від різних виробників. 2. Структурований контроль кожної зміни виробничих процесів.
Децентралізація (Decentralization)	1. <u>Перенесення децентралізованого та автономного прийняття рішень до машин та кіберфізичних систем</u>, в тому числі, і <u>до автономних системних елементів</u> – модулів, систем обробки матеріалів та продуктів, що розміщені де завгодно на рівні виробництва. 2. Надання кіберфізичним системам можливості приймати рішення без втручання централізованого управління (людини чи машини). Кіберфізична система приймає рішення щодо виробничого процесу автономно у реальному часі, якщо результат не порушує бізнес-цілей високого рівня. 3. <u>Дозвіл вбудованим комп'ютерам (модулям управління) надавати автономним кіберфізичним системам можливість взаємодіяти з їх виробничим середовищем через сенсори та виконавчі пристрої.</u>

Продовження таблиці 4.1

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

Для прикладу на рис. 4.4 показані два варіанти концептуального рішення ЦТ типу СА трубопровідної транспортної системи, що означені на графічній онтологічній моделі предметної області промислової автоматизації І4.0.

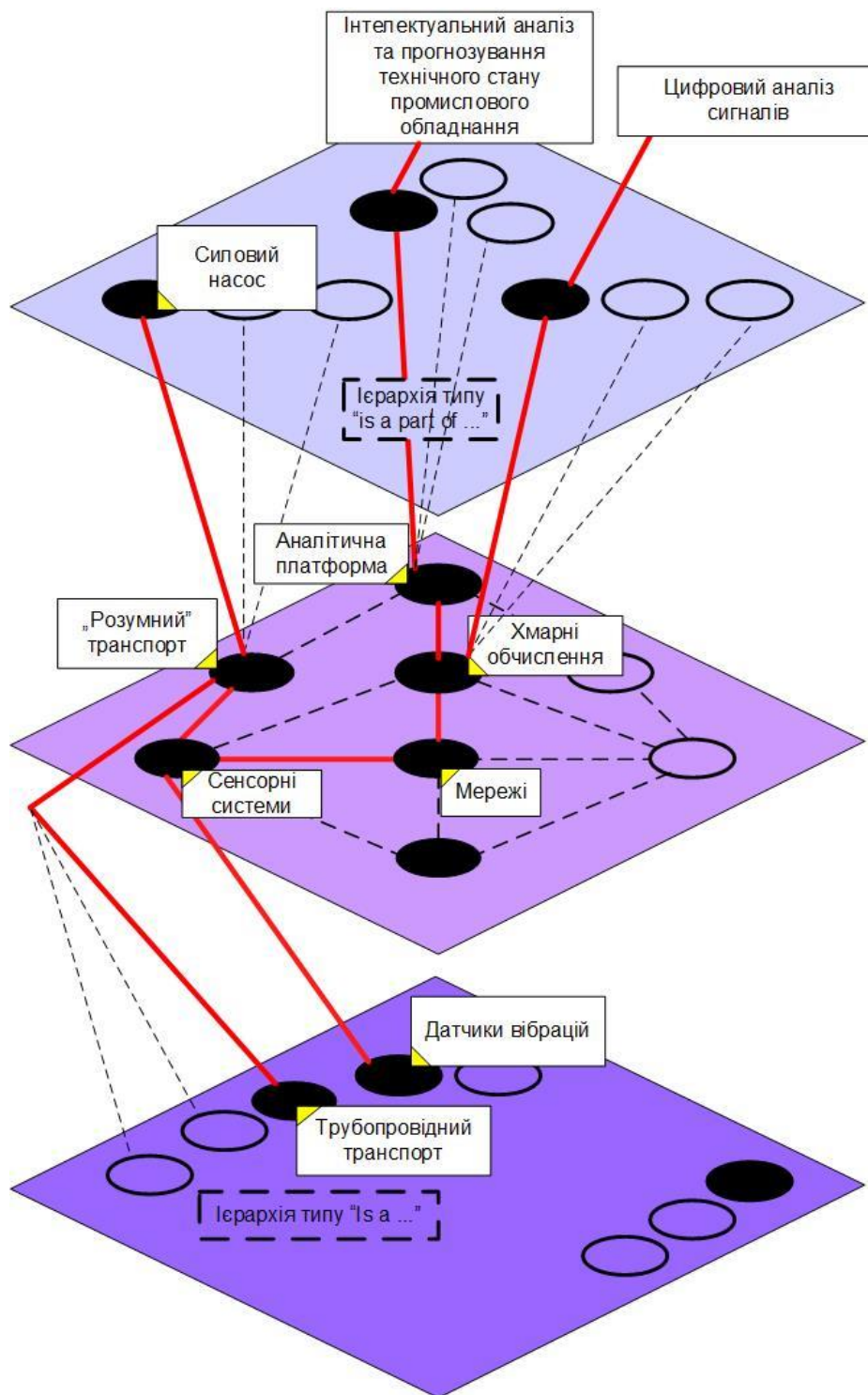


Рисунок 4.4 – Означення концептуальних рішень цифрової трансформації типу реальної СА

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

4.3 Приклад виконання цифрової трансформації реального АТП

Розглянемо приклад виконання на новому НЗ заключної стадії цифрової трансформації типу реальної СА хімічного виробництва. При цьому будемо орієнтуватися на функціонал аналітичної платформи «OPcenter Intelligence».

Ця платформа дозволяє покращити управління виробництвом за рахунок аналітичної обробки великих об'ємів виробничої інформації, представленої у різноманітних цифрових форматах. Тому першою задачею цифрової трансформації типу реального СА, яку можна вирішити в ході навчального проєктування, є різке збільшення об'єму виробничої інформації, яка передається до «OPcenter Intelligence».

На рис. 4.5 показане концептуальне рішення, яке дозволяє розраховувати додаткові виробничі дані за допомогою шлюзу Інтернету речей «SIMATIC IOT2000» (Siemens), який потім передаватиме їх до хмарного додатку на платформі хмарній платформі «Mindsphere OPcenter Intelligence».

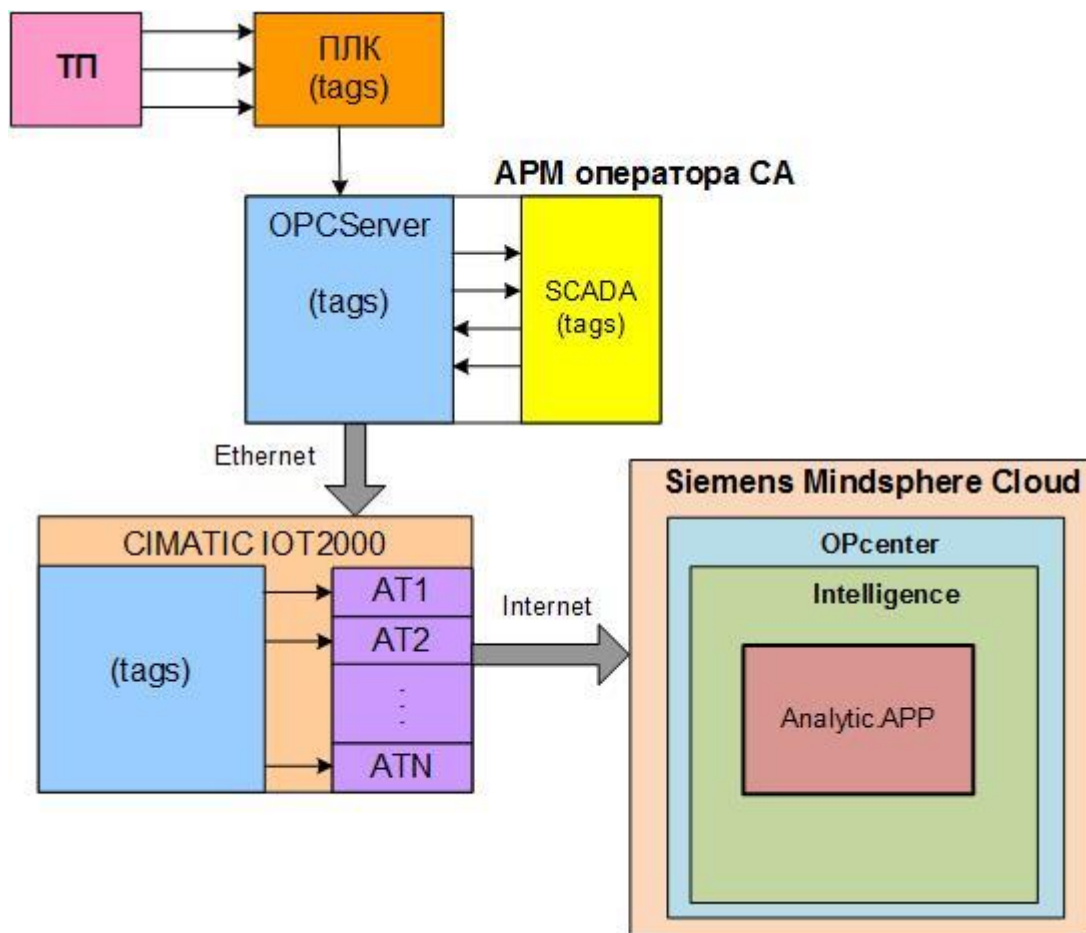


Рисунок 4.5 – Розрахунок додаткових виробничих даних за допомогою "Advanced Tags" «CIMATIC IOT2000»

Різноманітні вихідні електричні сигнали з технологічного процесу ТП вводяться до відповідного промислового контролера ПЛК, а потім передаються в цифровій формі до значень тегів (tags) відповідного OPC-сервера (OPCServer). До тегів відповідних OPC-серверів додаються також дані з прикладної програми SCADA («APM оператора СА»). Шлюз «CIMATIC IOT2000» створює комунікаційний IoT-сервер, теги якого читають дані з відповідних тегів OPC-сервера (OPCServer). Крім цих тегів в даному сервері користувач може створити теги типу "Advanced Tags" (AT1, AT2, ... ATN), які в якості вхідних значень використовують вихідні значення звичайних тегів сервера (tags). Кожний з "Advanced Tags" реалізує певну обробку вхідних даних, яку задає користувач. В результаті на виході кожного такого тегу формується нові вихідні виробничі дані. Вихідні значення тегів AT1 – ATN передаються відповідним програмним агентом

до платформи «OPcenter Intelligence» на хмарі «Siemens Mindsphere Cloud», де виконується відповідний програмний додаток «Analytic.APP».

Для прикладу таких розрахунків розглянемо реальний ТП промислового накопичувача/дозатора рідини. При моделюванні типу СА цього ТП визначаються його вхідні та вихідні сигнали, що формуються в процесі роботи даної СА. На основі обробки деяких з цих сигналів чи їх комбінацій можна розраховувати додаткові показники роботи СА, які будуть корисними для подальшої аналітичної обробки. Наприклад, можна розраховувати сумарні витрати рідини за час роботи СА. На рис. 4.6 і в додатку В показана схема аналітичної обробки ADP1, що реалізується на основі тегів «SIMATIC IOT2000».

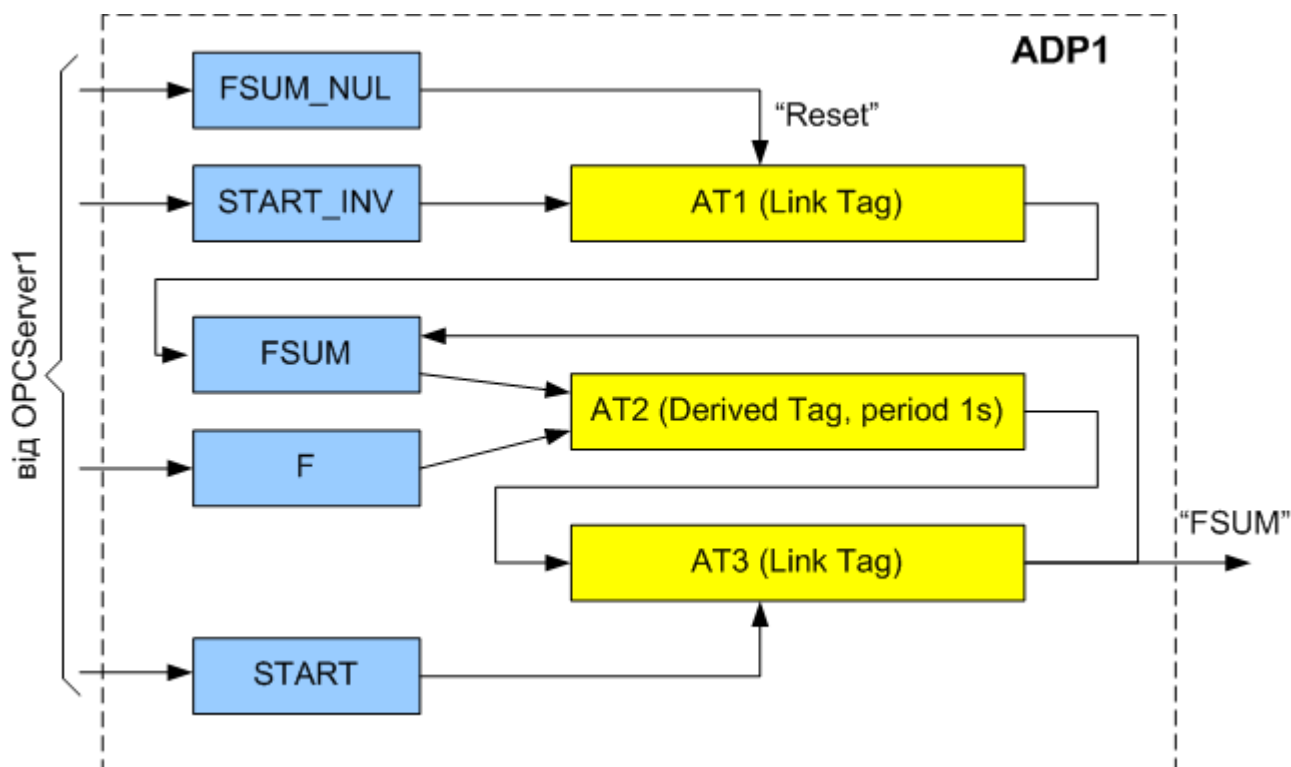


Рисунок 4.6 – Схема ADP1 розрахунку загальних витрат рідини

Зліва показані звичайні теги шлюзу, які пов'язані з відповідними тегами OPC-сервера OPCServer1, що встановлений на «APM оператора СА». Теги "FSUM_NUL", "START_INV" та "START" записуються в OPC-сервер прикладною програмою SCADA ("START" – логічна змінна пуску роботи системи управління,

"START_INV" – інверсна логічна змінна пуску системи управління, "FSUM_NUL" – короткий одиничний імпульс, що формується по передньому фронту змінної "START"). Тег "F" записується в OPC-сервер з прикладної програми контролера ("F" – поточні витрати рідини на вході накопичувача). Для розрахунку загальних витрат рідини "FSUM" в IoT шлюзі створюються три "Advanced Tags": два типу "Link Tag" (AT1, AT3) та один типу "Derived Tag" (AT2). Тег AT1 призначений для запису нуля (операція скидання "Reset") в тег "FSUM" при пуску системи до роботи. Тег AT3 призначений для запуску або зупинення розрахунків (коли тег "START" приймає значення логічного "нуля", то розрахунок зупиняється). Тег AT2 повинен перераховуватися з періодом 1 с, тоді в тег "FSUM" кожену секунду буде додаватися поточне значення витрати рідини з тегу "F" (витрата рідини за секунду). Результат аналітичної обробки "FSUM" може зчитуватися прикладною програмою SCADA і, наприклад, виводиться на графічний інтерфейс оператора.

Також на основі сигналів даної СА можна організувати інший розрахунок додаткових виробничих даних. Наприклад, можна по вихідному сигналу "L1" ультразвукового датчика рівня рідини в баку №1 розрахувати її поточний запас (об'єм). Такий розрахунок буде залежати від форми баку №1. Так на рис. 4.7 показаний бак прямокутної форми та його геометричні розміри.

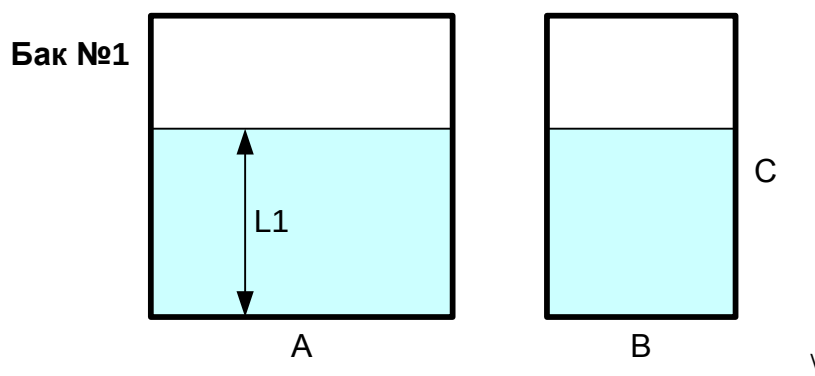


Рисунок 4.7 – Форма баку накопичувача (варіант 1)

Розрахунок запасу (об'єму) рідини всередині баку V1 по значенню L1 виконується за формулою:

$$V1 = A \cdot B \cdot L1 \text{ [м}^3\text{]}. \quad (4.1)$$

На рис. 4.8 показана схема реалізації такого розрахунку (ADP2) в шлюзі. Тег типу "Derived Tag" (AT1) розраховує запас (об'єм) рідини за формулою (4.1). Тег "START" записується в OPC-сервер програмою SCADA.

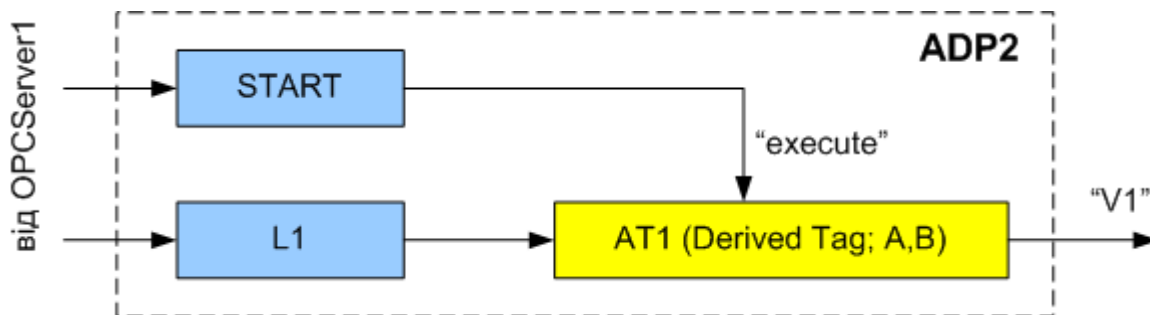


Рисунок 4.8 – Схема ADP2 розрахунку запасу (об'єму) рідини в баку

На рис. 4.9 показаний бак більш складної форми та його геометричні розміри.

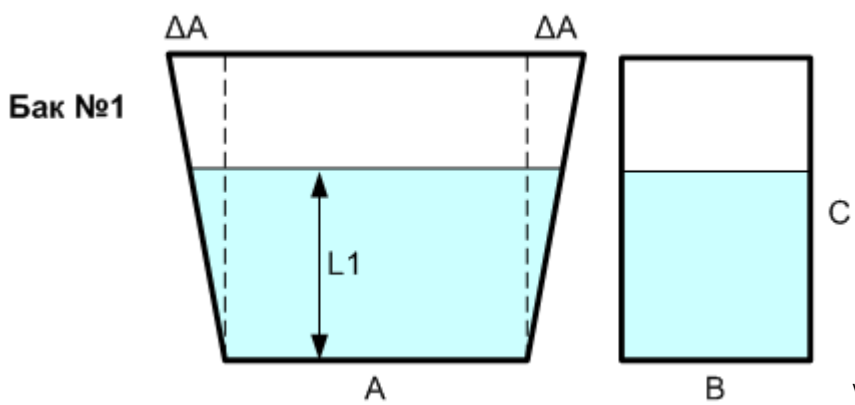


Рисунок 4.9 – Форма баку накопичувача (варіант 2)

Розрахунок запасу (об'єму) рідини всередині такого баку $V1$ по значенню $L1$ виконується за формулою:

$$V1 = A \cdot B \cdot L1 + \frac{\Delta A}{C} \cdot L1^2 \text{ [м}^3\text{]}. \quad (4.2)$$

На рис. 4.10 показана схема реалізації такого розрахунку (ADP3) в IoT шлюзі.

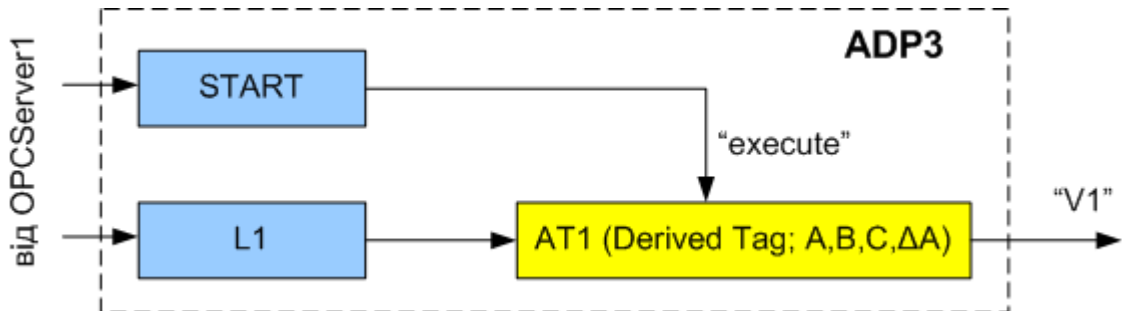


Рисунок 4.10 – Схема ADP3 розрахунку запасу (об’єму) рідини в баку

На рис. 4.11 показаний бак ще більш складної форми та його геометричні розміри.

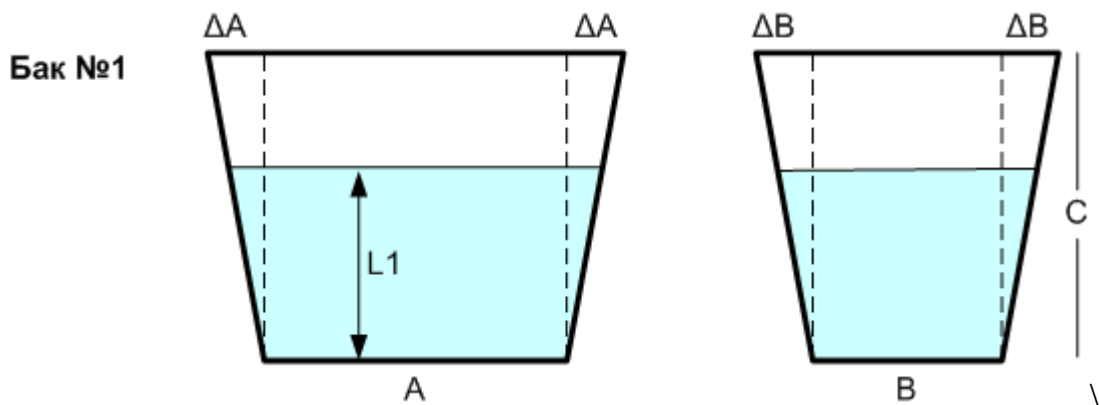


Рисунок 4.11 – Форма баку накопичувача (варіант 3)

Розрахунок запасу (об’єму) рідини всередині такого баку V1 по значенню L1 виконується за формулою:

$$V1 = A \cdot B \cdot L1 + \left(\frac{\Delta A + \Delta B}{C}\right)^2 \cdot L1^2 + 2 \cdot \frac{\Delta A \cdot \Delta B}{C^2} \cdot L1^3 \text{ [м}^3\text{]}. \quad (4.3)$$

На рис. 4.12 показана схема реалізації такого розрахунку (ADP4) в IoT сервері.

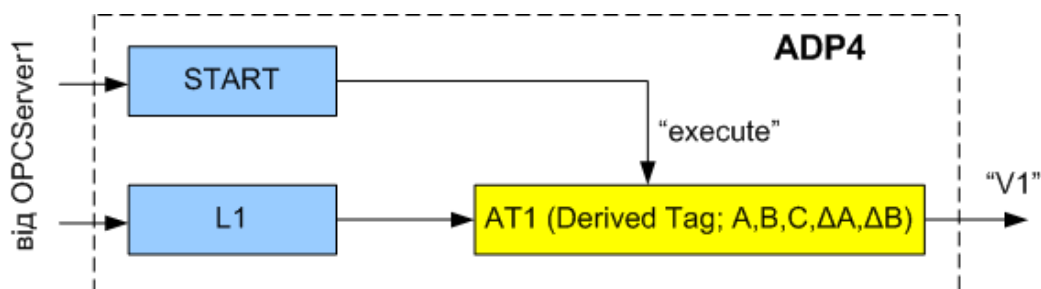


Рисунок 4.12 – Схема ADP4 розрахунку запасу (об’єму) рідини в баку

Розглянемо тепер кілька варіантів організації обробки даних, пов’язаних з технологічним процесом промислового хімічного реактора.

На рис. 4.13 показана схема аналітичної обробки ADP6, в результаті якої розраховуються загальні витрати електричної енергії “WSUM” за один цикл роботи хімічного реактора.

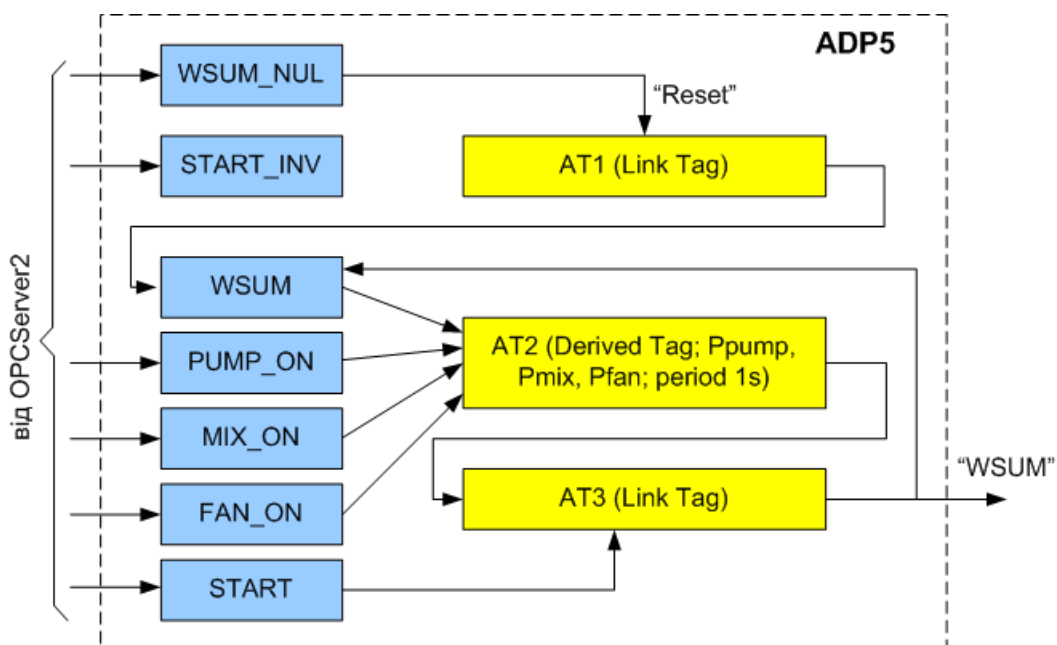


Рисунок 4.13 – Схема ADP5 розрахунку загальних витрат електроенергії

Зліва показані звичайні теги IoT шлюзу, які пов'язані з відповідними тегами OPC-сервера OPCServer2, що встановлений на «APM оператора СА». Теги "WSUM_NUL", "START_INV" та "START" записуються в OPC-сервер прикладною програмою SCADA ("START" – логічна змінна пуску роботи системи управління, "START_INV" – інверсна логічна змінна пуску системи управління, "WSUM_NUL" – короткий одиничний імпульс, що формується по передньому фронту змінної "START"). Теги "PUMP_ON", "MIX_ON" та "FAN_ON" записуються в OPC-сервер з прикладної програми контролера ("PUMP_ON" – логічний сигнал вмикання насосу, "MIX_ON" – логічна змінна вмикання змішувача, "FAN_ON" – логічна змінна вмикання нагрівача). Для розрахунку загальних витрат реагентів "WSUM" в шлюзі створюються три "Advanced Tags": два типу "Link Tag" (AT1, AT3) та один типу "Derived Tag" (AT2). Тег AT1 призначений для запису нуля (операція скидання "Reset") в тег "WSUM" при пуску системи до роботи. Тег AT3 призначений для запуску або зупинення розрахунків (коли тег "START" приймає значення логічного "нуля", то розрахунок зупиняється).

Тег AT2 повинен перераховуватися з періодом 1 с, тоді в тег "FSUM" кожную секунду буде додаватися потужність тих пристроїв, які в даний момент ввімкнені ("Pump" – потужність насосу, "Pmix" – потужність двигуна змішувача, "Pfan" – потужність нагрівача).

Також шляхом подальшої аналітичної обробки вмісту тегу "WSUM" можна розрахувати собівартість одиниці (одного літру) готової продукції хімічного реактора.

Для цього розрахунку потрібна деяка додаткова інформація, а саме, геометричні розміри ємності хімічного реактора (А – ширина, В – глибина, С – висота), а також вартість одиниці електричної енергії (W_PRICE).

На рис. 4.14 показана конструкція ємності хімічного реактора та вказані його габаритні розміри.

В цій ємності встановлений датчик реле рівня, який спрацьовує тільки на рівні LMAX, тобто за кожний цикл роботи реактора виробляється однаковий об'єм готової продукції.

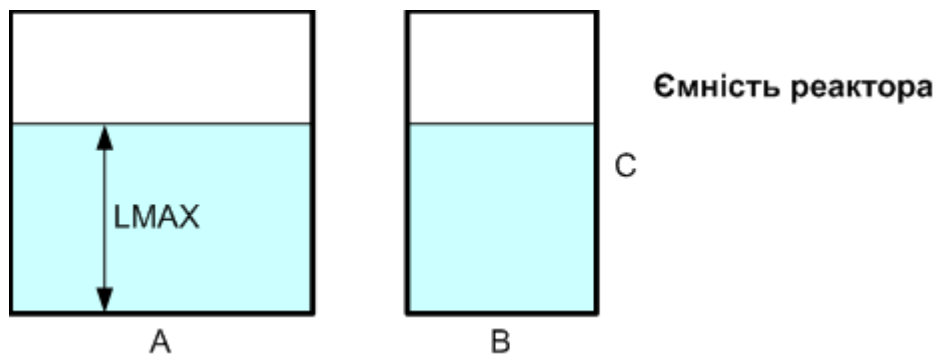


Рисунок 4.14 – Форма та габаритні розміри ємності реактора

На рис. 4.15 показана схема розрахунку ADP6, що реалізований у IoT шлюзі.

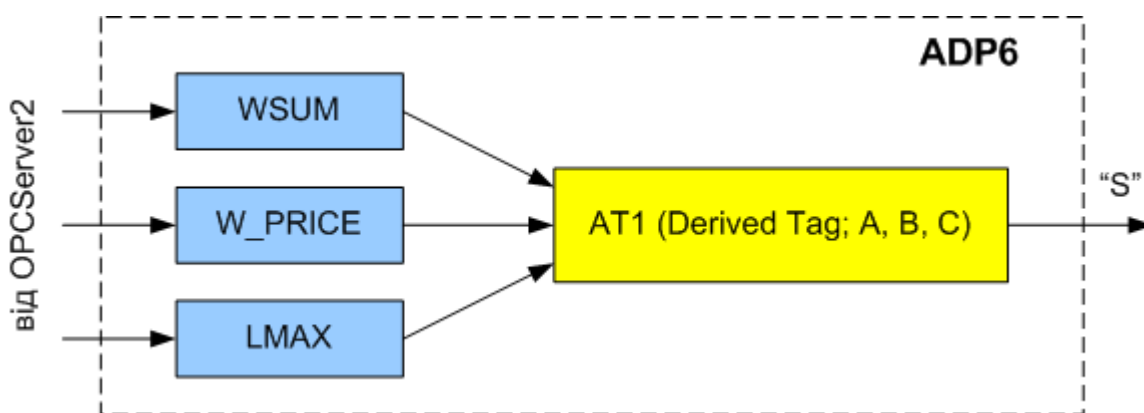


Рисунок 4.15 - Схема ADP6 розрахунку собівартості одиниці продукції

Зліва показано звичайний тег "WSUM" шлюзу, що був розрахований за схемою ADP5, а також теги "W_PRICE" (вартість одиниці електроенергії) та "LMAX", які пов'язані з відповідними тегами OPC-сервера OPCServer2,. Тег "W_PRICE" записується в OPC-сервер прикладною програмою SCADA. Тег "LMAX" записується в OPC-сервер з прикладної програми контролера (рівень, до якого наповнюється реактор). Для розрахунку собівартості "S" одиниці продукції в IoT шлюзі створюється "Advanced Tags" типу "Derived Tag" (AT1). Тег AT1 помножує значення двох тегів "WSUM" і "W_PRICE", а потім ділить їх на об'єм продукту V, який розраховується як добуток трьох значень – A, B та LMAX. Результат аналітичної обробки "S" може зчитуватися прикладною програмою SCADA і, наприклад, виводитись на графічний інтерфейс оператора.

Розглянемо тепер кілька варіантів організації аналітичної обробки даних, пов'язаних з технічним процесом виробничого складу. На рис. 4.16 показана схема аналітичної обробки ADP7, в результаті якої проводиться аналіз розподілу складських операцій поміж полицями складу.

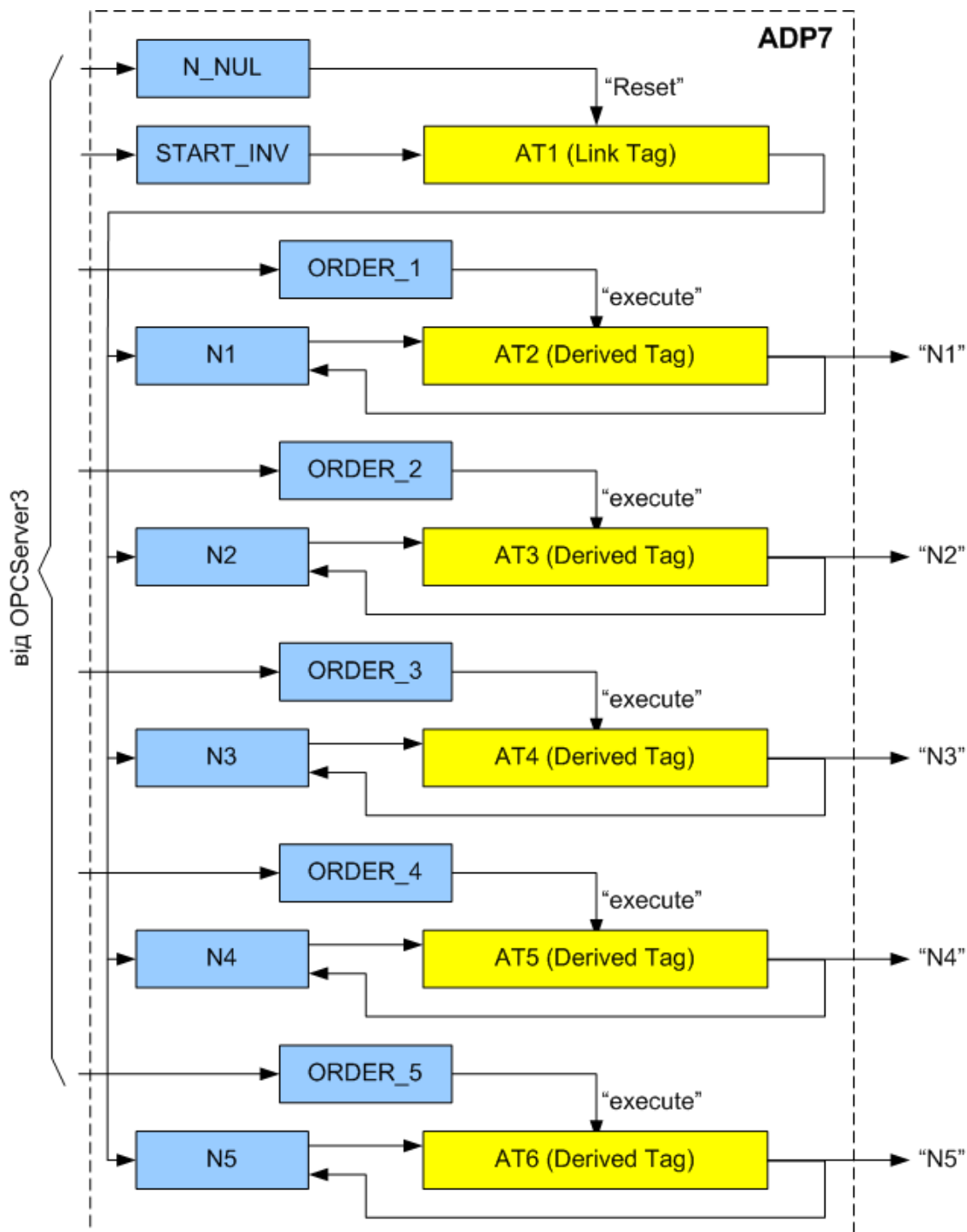


Рисунок 3.16 – Схема аналізу ADP7 розподілу складських операцій

Зліва показані звичайні теги шлюзу, які пов'язані з відповідними тегами OPC-сервера OPCServer3, що встановлений на ПК лабораторного столу №3. Теги "N_NUL" та "START_INV" записуються в OPC-сервер прикладною програмою SCADA ("START_INV" – інверсна логічна змінна пуску системи управління, "N_NUL" – короткий одиничний імпульс, що формується по передньому фронту змінної "START_INV"). Теги "ORDER_1" – "ORDER_5" записуються в OPC-сервер з прикладної програми контролера ("ORDER_1" – логічний сигнал наказу на виконання складської операції, пов'язаною з полицею №1, "ORDER_2" – логічний сигнал наказу на виконання складської операції, пов'язаною з полицею №2, "ORDER_3" – логічний сигнал наказу на виконання складської операції, пов'язаною з полицею №3, "ORDER_4" – логічний сигнал наказу на виконання складської операції, пов'язаною з полицею №4, "ORDER_5" – логічний сигнал наказу на виконання складської операції, пов'язаною з полицею №5). Для розрахунку кількості складських операцій для кожної полиці складу (N1, N2, N3, N4, N5) в сервері KEPServerEX створюються іст' "Advanced Tags": одн типу "Link Tag" (AT1) та п'ять типу "Derived Tag" (AT2-AT6). Тег AT1 призначений для запису нуля (операція скидання "Reset") в теги "N1" – "N5" при пуску системи до роботи. Тег AT2 повинен збільшувати значення тегу "N1" на одиницю при кожному встановленні логічної змінної тегу "ORDER_1" в одиницю (виконується операція с полицею №1). Теги AT3-AT6 працюють аналогічно, перераховуючи, відповідно, значення тегів "N2" – "N5". Результати аналітичної обробки "N1" – "N5" можуть зчитуватися прикладною програмою SCADA і, наприклад, виводитись на графічний інтерфейс оператора.

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

Тоді, використовуючи значення тегу "N1", що розрахований в ADP7, можна визначити загальну вартість усіх складських операції з полицею №1:

$$S1 = 2 \cdot N1 \cdot \Delta W \cdot W_PRICE \text{ [грн.]}. \quad (4.4)$$

Схема організації такого розрахунку в IoT шлюзі показана на рис. 4.17.

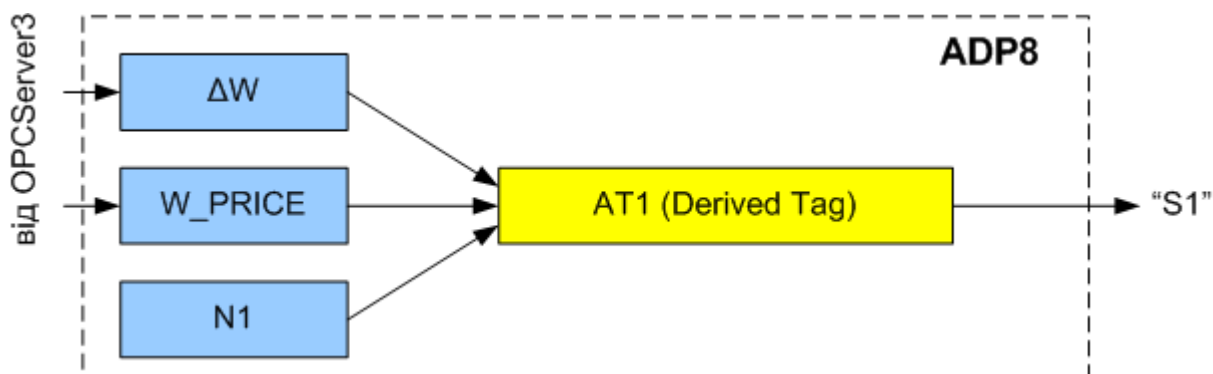


Рисунок 4.17 – Схема ADP8 розрахунку вартості операцій з полицею №1

Аналогічно можна розрахувати вартість складських операцій по іншим полицям складу. Для полиці №2 за формулою:

$$S2 = 4 \cdot N2 \cdot \Delta W \cdot W_PRICE \text{ [грн.]}. \quad (4.5)$$

Для полиці №3:

$$S3 = 6 \cdot N3 \cdot \Delta W \cdot W_PRICE \text{ [грн.]}. \quad (4.6)$$

Для полиці №4:

$$S4 = 8 \cdot N4 \cdot \Delta W \cdot W_PRICE \text{ [грн.]}. \quad (4.7)$$

Для полиці №5:

$$S5 = 10 \cdot N5 \cdot \Delta W \cdot W_PRICE \text{ [грн.]}. \quad (4.8)$$

На рис. 4.18 показана вихідна онтологічна модель, яку можна покласти в основу іншого навчального проєктування цифрової трансформації типу реальної СА трубопровідної транспортної системи хімічного виробництва.

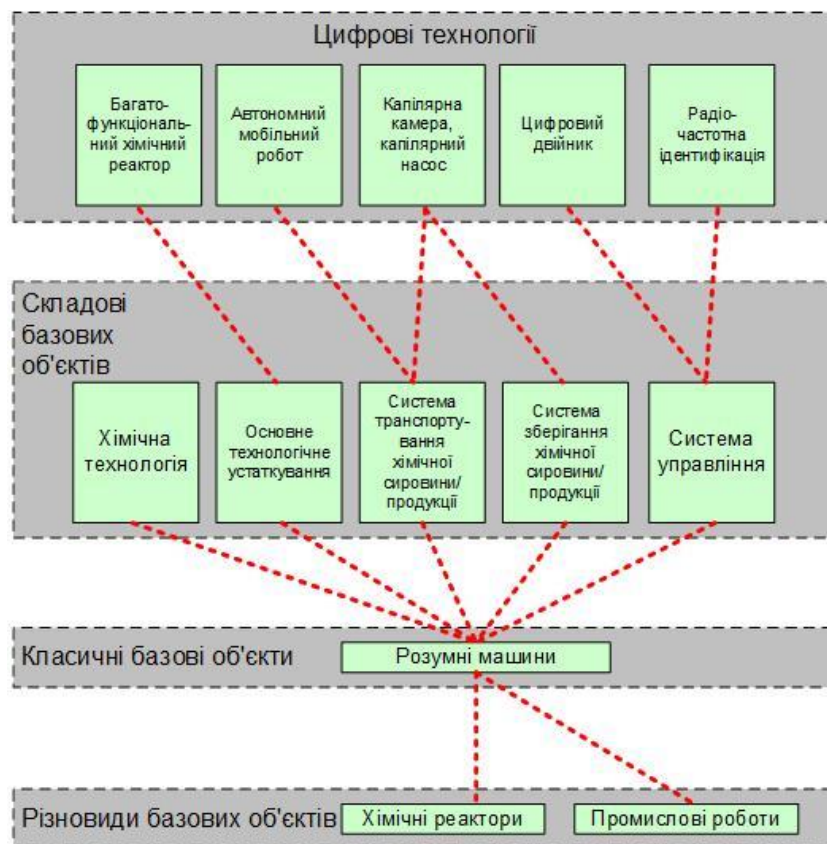


Рисунок 4.18 – Вихідна онтологічна модель для навчального проєктування

Першим етапом такого проєктування є розробка концептуального рішення (концепції) вдосконаленого типу СА, яке дозволить означити загальне бачення нового технічного рішення. На рис. 4.19 показана загальна ідея цього рішення.

А на рис. 4.20 показане вже концептуальне рішення нового типу СА у вигляді кіберфізичної системи автоматизації ТП транспортування рідин.

Загальна ідея цифрової трансформації типу СА трубопровідної транспортної системи (див. рис. 4.19) полягає в тому, що замість трубопроводів на «розумному» цифровому підприємстві будуть використовуватися автономні транспортні роботи, які переміщують вихідні хімічні реагенти, що зберігаються на складі у спеціальних транспортних камерах невеликого об'єму з вбудованими

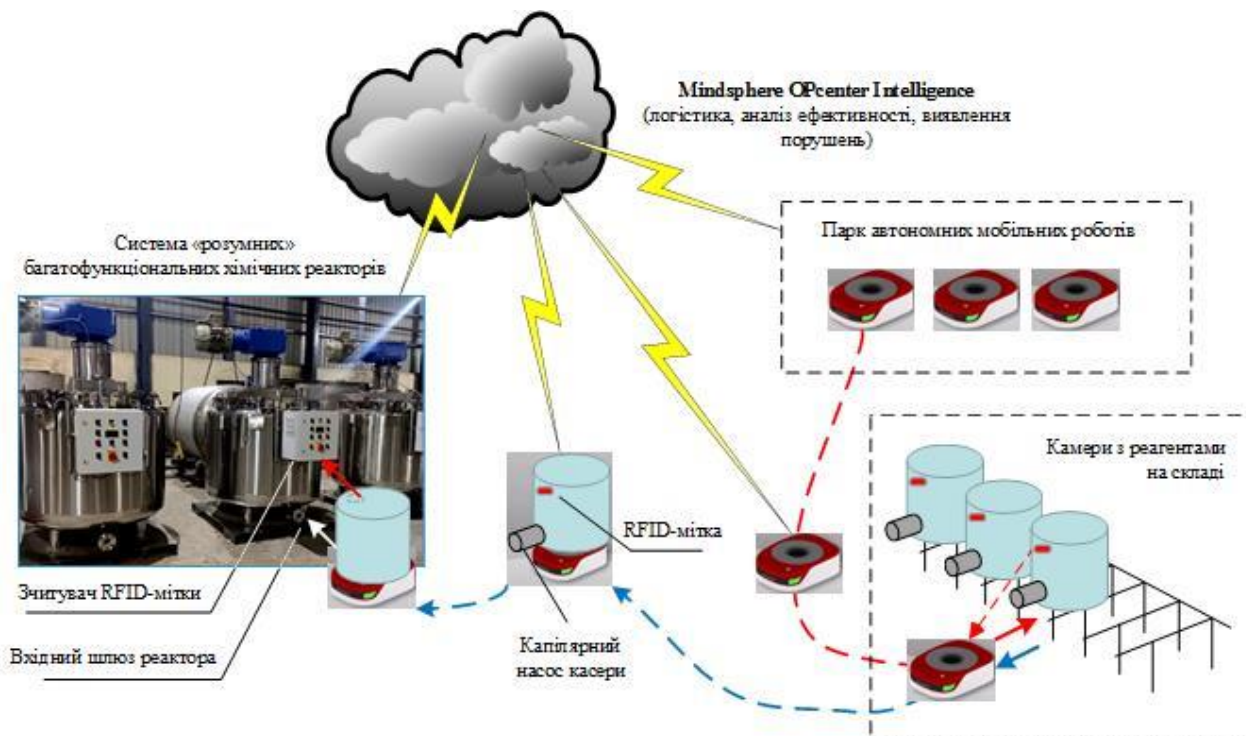


Рисунок 4.19 – Ідея цифрової трансформації СА трубопровідної транспортної СИСТЕМИ

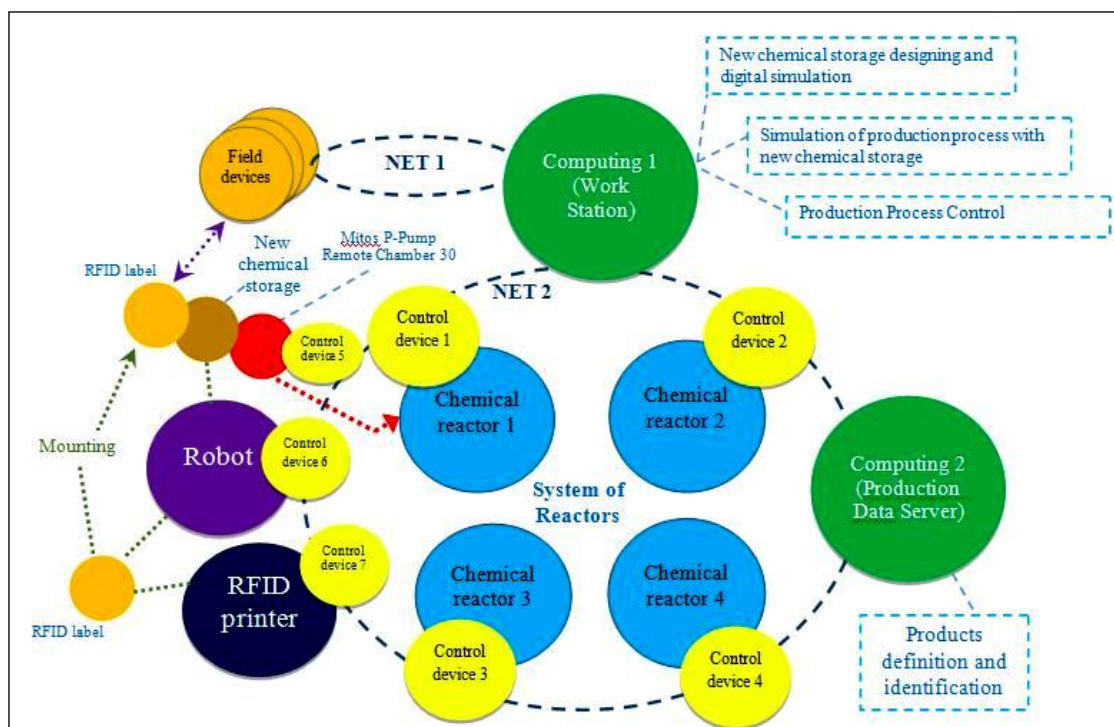


Рисунок 4.20 – Концепція цифрового «розумного» транспорту у вигляді кіберфізичної системи автоматизації

цифровими капілярними насосами і цифровими RFID-мітками, до того чи іншого «розумного» хімічного реактора. При цьому зчитувачі RFID-міток встановлюються на кожному автономному транспортному роботі та на кожному хімічному реакторі. Управління всією транспортною системою здійснюватиметься програмним забезпеченням, що працює на «хмарному» сервері. Воно буде наказувати кожному транспортному роботу рухатись за заданим маршрутом до конкретної камери, що зберігається на складі, завантажувати цю камеру на себе і переміщувати її за вказаним маршрутом до потрібного хімічного реактора. За допомогою цифрових міток транспортний робот знайде потрібну камеру на складі, а хімічний реактор ідентифікує той вихідний хімічний реагент, який до нього доставив транспортний робот. Тільки після того, як буде підтверджена відповідність цього реагенту поточному рецепту на виготовлення готового хімічного продукту, система дозволить закачування вихідного хімічного реагенту за допомогою цифрового насосу транспортної камери всередину хімічного реактора.

На основі цієї загальної ідеї можна запропонувати відповідне концептуальне рішення кіберфізичної системи автоматизації описаної транспортної системи (див. рис. 4.20), яке у довільній формі описує побудову цієї системи з таких концептуальних компонентів:

- система хімічних реакторів («System of Reactors»), яка складається з чотирьох реакторів – «Chemical reactor 1», «Chemical reactor 2», «Chemical reactor 3», «Chemical reactor 4»;
- промисловий робот («Robot»);
- принтер («RFID printer») для RFID-міток («RFID label»);
- капілярні камери для зберігання/транспортування хімічних реагентів («New chemical storage»);
- капілярні насоси («Mitos P-Pump Remote Chamber 30») для точного дозування хімічних реагентів з капілярних камер;
- система безконтактних зчитувачів («Field devices») для RFID-міток, кожної капілярної камери;
- система контролерів, вбудованих у технологічне обладнання («Control

device 1» хімічного реактора «Chemical reactor 1», «Control device 2» хімічного реактора «Chemical reactor 2», «Control device 3» хімічного реактора «Chemical reactor 3», «Control device 4» хімічного реактора «Chemical reactor 4», «Control device 5» одного капілярного насосу «Mitos P-Pump Remote Chamber 30», «Control device 6» промислового робота «Robot», «Control device 7» принтера для RFID-міток «RFID printer»);

- робоча станція, що виконує функції цифрового моделювання та управління ТП («Computing 1 (Work Station)»);

- сервер виробничих даних, що виконує функцію означення продуктів виробництва та їх ідентифікацію («Computing 2 (Production Data Server)»);

- бездротова мережа «NET 1» для передавання цифрових даних з системи зчитувачів RFID-міток кожної капілярної камери («Field devices») до робочої станції «Computing 1 (Work Station)»;

- дротова цифрова мережа виробництва «NET 2» для обміну цифровими даними між вбудованими у технологічне обладнання контролерами, робочою станцією «Computing 1 (Work Station)» та сервером виробничих даних «Computing 2 (Production Data Server)».

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

Управління технологічним процесом конкретного хімічного реактора здійснюється вбудованим контролером за керівним рецептом, який завантажений до нього з робочої станції «Computing 1 (Work Station)».

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

На робочій станції «Computing 1 (Work Station)» передбачено також виконання на попередній стадії життєвого циклу «розумного» ТП таких функцій як розробка та моделювання окремих продуктів даного виробництва, наприклад капілярних камер («New chemical storage designing and digital simulation»), так і моделювання виробничого процесу з новим видом продукту («Simulation of production process with new chemical storage»). Таке рішення повністю відповідає баченню «розумного» виробництва у архітектурній моделі RAMI4.0.

Після формування такого загального бачення технічного рішення нового типу СА промислової транспортної системи для обслуговування «розумного» ТП на основі системи хімічних реакторів можна буде перейти до наступного етапу навчального проєктування – до його архітектурного проєктування.

4.4 Висновки до розділу

В результаті виконання проєктних робіт у даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи була обґрунтована модель діяльностей заключної стадії практичного вивчення цифрової трансформації типу реальної СА хімічного підприємства, які виконують студент і викладач.

На основі запропонованого методу онтологічного дослідження предметної області промислової автоматизації I4.0 була побудована її концептуальна модель та означені способи її використання для цифрової трансформації типу реальної СА хімічного підприємства.

В якості прикладу виконання цієї стадії практичного вивчення цифрової трансформації було розроблене два концептуальних рішення нового типу СА для цифрового «розумного» хімічного підприємства.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання досліджень в рамках розділу 1 магістерської кваліфікаційної роботи 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 цифрової трансформації типу системи автоматизації була досліджена існуюча в комп'ютеризованій навчальній лабораторії реалізація інтегрованої системи автоматизації, яка функціонує в рамках «віртуального» виробництва уявної хімічної продукції. Досліджена предметна область цифрової трансформації аналогічних систем автоматизації та намічені ті її напрями, які можуть вивчатися студентами на новому навчальному засобі. Розроблена архітектура нового комп'ютеризованого навчального засобу, яка відображає як його складові частини, так і основні стадії виконання студентами відповідного проектного практикуму. На основі такого загального бачення нового комп'ютеризованого навчального засобу було розроблене технічне завдання на виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

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

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

В результаті виконання розділу 3 магістерської кваліфікаційної роботи було сформоване загальне бачення процесу виконання стадії «Аналіз реального типу СА» при практичному вивченні цифрової трансформації типу реальної СА хімічного виробництва. На основі цього бачення був розроблений детальний алгоритм виконання робіт студентом та викладачем в рамках даної стадії практичного навчання. Для пояснення практичного застосування такого алгоритму наведений приклади виконання порівняльного аналізу деякого фрагменту фізичної реалізації існуючого типу реальної СА трубопровідної транспортної системи та виявлення основних її недоліків.

В результаті виконання розділу 4 магістерської кваліфікаційної роботи була обґрунтована модель діяльностей заключної стадії практичного вивчення цифрової трансформації типу реальної СА хімічного підприємства, які виконують студент і викладач.

На основі запропонованого методу онтологічного дослідження предметної області промислової автоматизації І4.0 була побудована її концептуальна модель та означені способи її використання для цифрової трансформації типу реальної СА хімічного підприємства.

В якості прикладу виконання цієї стадії практичного вивчення цифрової трансформації було розроблене два концептуальних рішення нового типу СА для цифрового «розумного» хімічного підприємства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стандарт вищої освіти бакалавра за спеціальністю 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" галузі знань 15 "Автоматизація та приладобудування": затверджено і введено в дію Наказом Міністерства освіти і науки України від 4.10.18 р. №1071 [Електронний ресурс]. URL : <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/12/21/151-avtomatizatsiya-ta-kompyuterno-integrovani-tekhnologii-bakalavr.pdf>.

2. Стандарт вищої освіти магістра за спеціальністю 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" галузі знань 15 "Автоматизація та приладобудування" [Електронний ресурс]. URL : https://mon.gov.ua/storage/app/media/vyshcha/naukovo-metodychna_rada/proekty_standartiv_VO/151-avtomatizacziya-ta-kompyuterno-integrovani-texnologiyi-magistr-22052017-bez-matri.doc..

3. Working and learning [Електронний ресурс]: Festo Corporate. URL : <https://www.festo.com/group/ru/cms/10968.htm>.

4. An integrated learning system for Industry 4.0 ?Електронний ресурс?: Festo Didactic. URL : <https://www.festo-didactic.com/int-en/highlights/qualification-for-industry-4.0/project-workstation-i4.0-cp-lab/>.

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

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

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

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

9. Литлфильд Мэтью. Big Data в АСУ ТП [Електронний ресурс] : Ua.Automation.com. URL : <http://ua.automation.com/content/big-data-v-asu-tp>.

10. Сивараман Раджив. Що таке «цифровізація» підприємства? [Електронний ресурс]: Ua.Automation.com. URL : <http://ua.automation.com/content/chto-takoe-cifrovizacija-predprijatija>.

11. Лайдон Білл. Нова ера архітектури автоматизації: що вона означає для користувачів? [Електронний ресурс]: Ua.Automation.com. URL : <http://ua.automation.com/content/novaja-jera-arhitektur-avtomatizacii-chto-ona-oznachaet-dlja-polzovatelej>.

12. Юхименко А.О. Навчальний засіб на основі Siemens Opcenter Intelligence для цифрової трансформації типу (type) промислової системи автоматизації / Матеріали 53-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-2024/paper/view/20587/17135>.

13. More quality for production in Industry 4.0 from sensors, IoT and Data Analysis [Електронний ресурс]. URL: <https://www.italtel.com/more-quality-for-production-in-industry-4-0-from-sensors-iot-and-data-analysis/>.

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

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

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

17. 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.

18. Automated Guided Vehicles (AGV) for baggage and cargo ULDs [Електронний ресурс]. URL: <https://youtu.be/DqhkuLvPFIM>.

19. Эрлі Сет. Аналітика, машинне навчання та Інтернет речей [Електронний ресурс]. URL: <https://www.osp.com/os/2015/02/13046273/>.

20. Орлов О. Машинне навчання для Великих Даних [Електронний ресурс]. URL: <https://www.osp.com/os/2016/01/13048651/>.

21. Кітов В. Практичні аспекти машинного навчання [Електронний ресурс]. URL: <https://www.osp.com/os/2016/01/13048648/>.

22. Quadrant Knowledge Solutions: PTC ThingWorx is Positioned as 2018 Technology Leader in IoT Platform Market by Quadrant Knowledge Solutions [Електронний ресурс]: Ua.Automation.com. URL: <https://quadrant-solutions.com/ptc-thingworx-2018-technology-leader-iot-platform-market-quadrant-knowledge-solutions/>.

23. Пірогов М.О. ThingWorx – платформа розробки ефективних рішень з цифрової трансформації сільського господарства [Електронний ресурс]. URL: <http://events.agbz.com/>.

24. Офіційний сайт Kepware Technologies [Електронний ресурс]. URL: www.kepware.com.

25. Industrial Connectivity [Електронний ресурс] : Kepware Technologies. - URL: <https://www.kepware.com/products/kepserverex/>.

26. Advanced Tags [Електронний ресурс] : Kepware Technologies. URL: <https://www.kepware.com/products/kepserverex/advanced-plug-ins/advanced-tags>.

27. ThingWorx Manufacturing Apps [Електронний ресурс] : PTC. URL: <https://www.ptc.com/en/thingworx-applications/manufacturing>.

28. ThingWorx Controls Advisor [Електронний ресурс] : PTC. URL: https://www.ptc.com/en/thingworx-applications/controls-advisor-old#_ga=2.179541543.267592167.1539066294-1590801074.1539066294.

29. ThingWorx Asset Advisor [Електронний ресурс] : PTC. URL: https://www.ptc.com/en/thingworx-applications/asset-advisor-old#_ga=2.180395684.

267592167.1539066294-1590801074.1539066294.

30. 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/>.

31. The evolution of digital transformation [Електронний ресурс]. URL: <https://www.analyticsinsight.net/the-evolution-of-digital-transformation/>.

32. Nathan Furr, Andrew Shipilov, Didier Rouillard, Antoine Hemon-Laurens. The 4 Pillars of Successful Digital Transformations [Електронний ресурс]. URL: <https://hbr.org/2022/01/the-4-pillars-of-successful-digital-transformations>. (є текст статті)

33. 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.

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

35. Opcenter Intelligence Cloud [Електронний ресурс]. URL: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/opcenter/manufacturing-intelligence/intelligence-cloud/>.

36. Opcenter Intelligence [Електронний ресурс]. URL : <https://plm.sw.siemens.com/en-US/opcenter/manufacturing-intelligence/>.

37. Opcenter Intelligence - Free Trial [Електронний ресурс]. URL : <https://snicsolutions.com/opcenter/opcenter-intelligence>.

38. Opcenter Intelligence - Developer Documentation [Електронний ресурс]. URL : <https://documentation.mindsphere.io/MindSphere/apps/distribution/Opcenter-Intelligence.html>.

39. Insights Hub OEE Introduction [Електронний ресурс] / URL : <https://support.sw.siemens.com/en-US/product/268530510/knowledge-base/PL8791658>.

40. Opcenter Intelligence MindSphere : ProductSheet : SpecificTerms [Електронний ресурс]. URL : <https://assets.ctfassets.net/17si5cpawjzf/>

[1Fx9ETWUdkbHBTlx5X5o0d/3d2b1c16399ace466c383d472a83ef4d/App_OpcenterIntelligenceMindSphere_ProductSheet_SpecificTerms_v1.1.pdf](https://www.plm.automation.siemens.com/media/global/en/Siemens%20SW%20OpcenterIntelligenceMindSphere_ProductSheet_SpecificTerms_v1.1.pdf).

41. Opcenter Intelligence Electronics.[Електронний ресурс]. URL : https://www.plm.automation.siemens.com/media/global/en/Siemens%20SW%20Opcenter%20Intelligence%20Electronics%20e-Book_tcm27-91420.pdf.

42. 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.

43. 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.

44. 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>.

45. 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.

46. 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.

47. 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.

48. 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.

49. Peter Adolphs. RAMI 4.0: An architectural Model for Industrie 4.0/ [Електронний ресурс]. URL : www.plattform-i40.de.
50. Тривимірна еталонна архітектурна модель RAMI 4.0 / [Електронний ресурс]. URL : https://www.phoenixcontact.com/online/portal/ru?1dmy&urile=wcm:path:/ruru/web/offcontext/insite_landing_pages/1323f37f-e566-4009-8645-661c715cea23/6ddf5dfb-dbc8-47c8-8f1a-dc915d263cd3/605016fb-ed97-4b22-a6fb-de1f93556226/605016fb-ed97-4b22-a6fb-de1f93556226.
51. Черняк Л. Кіберфізичні системи на старті [Електронний ресурс]. URL : <https://www.osp.com/os/2014/02/13040038/>.

ДОДАТКИ

Додаток А
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: « Навчальний засіб на основі ORcenter Intelligence для цифрової трансформації типу системи автоматизації»

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

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

Підрозділ кафедра комп'ютерних систем управління

(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Керівник Папінов В.М., професор кафедри АІТ

(прізвище, ініціали, посада)

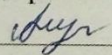
Показники звіту подібності

Turnitin	
Оригінальність	88%
Загальна схожість	12%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

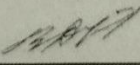
Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи (додається)

Автор 
(підпис)

Анастасія ЮХИМЕНКО
(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Володимир ДУБОВОЙ
(прізвище, ініціали)

Експерт

(за потреби) (підпис)

(прізвище, ініціали, посада)

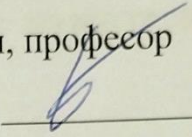
Додаток Б
(обов'язковий)

Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра комп'ютерних систем управління

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри КСУ ВНТУ,

д.т.н, професор

 В'ячеслав КОВТУН

« 14 » 10 2024 р.

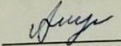
ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

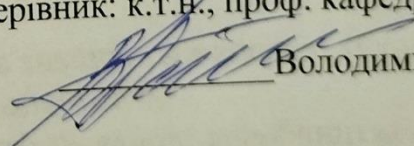
НАВЧАЛЬНИЙ ЗАСІБ НА ОСНОВІ ORCENTER INTELLIGENCE ДЛЯ
ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТИПУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

08-33.МКР.016.02.000 ТЗ

Студенка групи ЗАКІТР-23м

 Анастасія ЮХИМЕНКО

Керівник: к.т.н., проф. кафедри АІТ

 Володимир ПАПІНОВ

Вінниця 2024

1 Назва і галузь застосування

1.1 Назва - Навчальний засіб (НЗ) на основі OPcenter Intelligence для цифрової трансформації типу системи автоматизації (СА).

1.2 Галузь застосування - навчальний процес вищого навчального закладу з підготовки фахівців зі спеціальностей 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка".

2 Підстава для проведення розробки

Тема магістерської кваліфікаційної роботи затверджена наказом по ВНТУ № 310 від « 17 » вересня 20 24 р..

3 Мета та призначення розробки

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

НЗ призначений для забезпечення практикумів професійних дисциплін "Кіберфізичні системи автоматизації виробництва" (4 курс бакалаврської підготовки) та "Промисловий Інтернет речей" (1 курс магістерської підготовки). НЗ повинен створювати умови для індивідуальної когнітивної діяльності студентів при рішенні реальних проєктних задач, сприяти більш глибокому вивченню студентами теоретичного матеріалу вказаних навчальних дисциплін, а також давати можливість сформулювати у студентів відповідні професійно-орієнтовані практичні уміння та навички проєктування цифрової трансформації реальних автоматизованих технічних та технологічних процесів.

4 Джерела розробки

Магістерська кваліфікаційна робота виконується вперше. В ході проведення розробки повинні використовуватись такі документи:

1. Пупена О. Огляд сучасних стандартів інтегрованого виробництва / О. Пупена, І. Ельперін, Р. Міркевич Є. // Автоматизація технологічних і бізнес - процесів. – 2016. – Т. 8. – №3. – С. 63-74.
2. 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/>.
3. OPcenter Intelligence [Електронний ресурс]. URL : <https://plm.sw.siemens.com/en-US/opcenter/manufacturing-intelligence/>.

4. OPcenter Intelligence MindSphere : ProductSheet : SpecificTerms [Електронний ресурс]. URL : https://assets.ctfassets.net/17si5cpawjzf/1Fx9ETWUdkbHBTlx5X5o0d/3d2b1c16399ace466c383d472a83ef4d/App_OPcenterIntelligenceMindSphere_ProductSheet_SpecificTerms_v1.1.pdf
5. 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.
6. 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.

5 Вимоги до розробки

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

Предметом досліджень є підвищення ефективності практичного вивчення студентами методів та засобів цифрової трансформації існуючого типу промислової системи автоматизації у «розумну» кіберфізичну систему за рахунок використання в лабораторному практикумі сучасного комп'ютеризованого навчального засобу.

Задачі, що вирішуються в ході розробки:

Задачі виконання магістерської кваліфікаційної роботи:

1. Дослідження системи автоматизації «віртуального» виробництва та виявлення її недоліків у порівнянні з вимогами концепції «Індустрія 4.0».
2. Дослідження існуючих методів та засобів цифрової трансформації систем автоматизації для «розумного» цифрового підприємства.
3. Науково-технічне обґрунтування загальної архітектури нового комп'ютеризованого навчального засобу.
4. Розробка технічного завдання на виконання магістерської кваліфікаційної роботи.
5. Проектування процесу виконання стадії «Моделювання типу системи автоматизації».
6. Проектування процесу виконання стадії «Аналіз типу системи автоматизації».
7. Проектування процесу виконання стадії «Цифрова трансформація типу системи автоматизації».

Новий НЗ 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» ФІІТА:

– на програмно-технічних моделях промислових технологічних та технічних процесів (ТП);

- на організаційній імітаційній моделі «віртуальне» виробництво;
- на програмно-технічній імітаційній моделі інтегрованої системи автоматизації (ІСА) «віртуального» виробництва.

Архітектура нового НЗ відображає послідовність практичного вивчення студентом усіх основних стадій процесу цифрової трансформації існуючого типу системи автоматизації, яка моделюється в лабораторії, у аналогічний тип СА 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 типу СА на реальному хімічному підприємстві (виконується студентом у вигляді самостійного дослідження предметної області та отримання необхідних консультацій від викладача);

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

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

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

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

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

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

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

Умови експлуатації навчального засобу:

- температурний повітря від плюс 10 °С до плюс 35 °С;
- допустима вологість повітря до 90%;
- динамічні удари та вібрація виключені.

6 Стадії та етапи розробки

1. Науково-технічне обґрунтування роботи та розробка технічного завдання - 15.10.24 р.
2. Проектування процесу виконання стадії «Моделювання типу системи автоматизації» - 31.10.24 р.
3. Проектування процесу виконання стадії «Аналіз типу системи автоматизації» - 15.11.24 р.
4. Проектування процесу виконання стадії «Цифрова трансформація типу системи автоматизації» - 25.11.24 р.

7 Порядок контролю та приймання

7.1 Хід виконання роботи контролюється керівником роботи. Рубіжний контроль провести до 25.11.24 р.

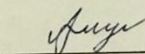
7.2 Атестація МКР здійснюється на попередньому захисті. Попередній захист магістерської кваліфікаційної роботи провести з 29.11.24 р. по 1.12.24 р.

7.3 Підсумкове рішення щодо оцінки якості виконання роботи приймається на засіданні ЕК. Захист кваліфікаційної роботи провести до 13.12.24 р.

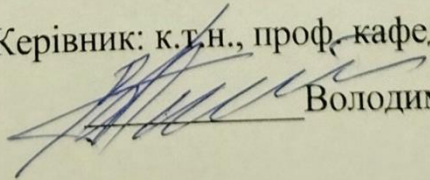
Додаток В
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
НАВЧАЛЬНИЙ ЗАСІБ НА ОСНОВІ ORCENTER INTELLIGENCE ДЛЯ
ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТИПУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Студентка групи ЗАКІТР-23м

 Анастасія ЮХИМЕНКО

Керівник: к.т.н., проф. кафедри АІТ

 Володимир ПАПІНОВ

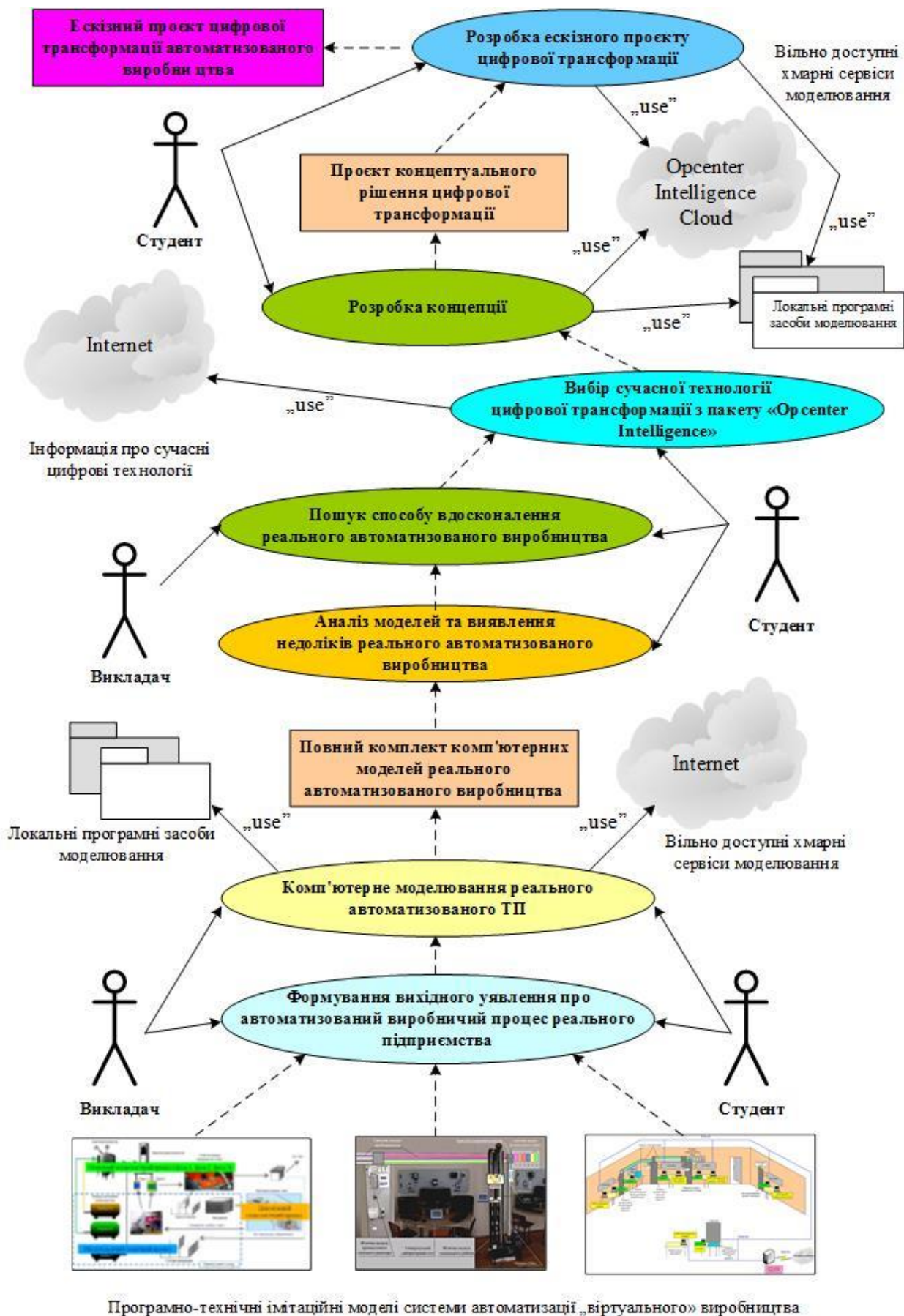


Рисунок В.1 - Архітектура комп'ютеризованого навчального засобу

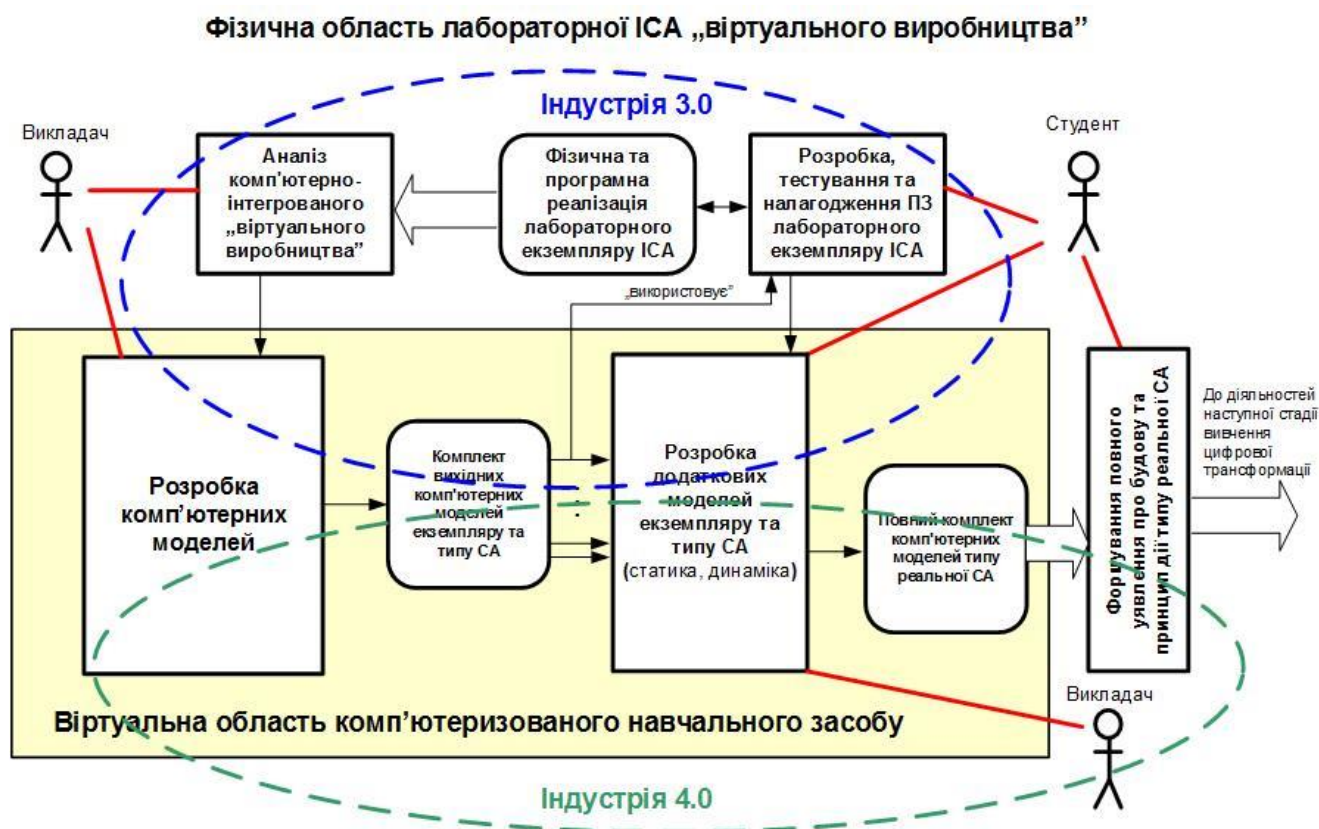


Рисунок В.2 - Проектування процесу виконання стадії «Моделювання типу системи автоматизації»

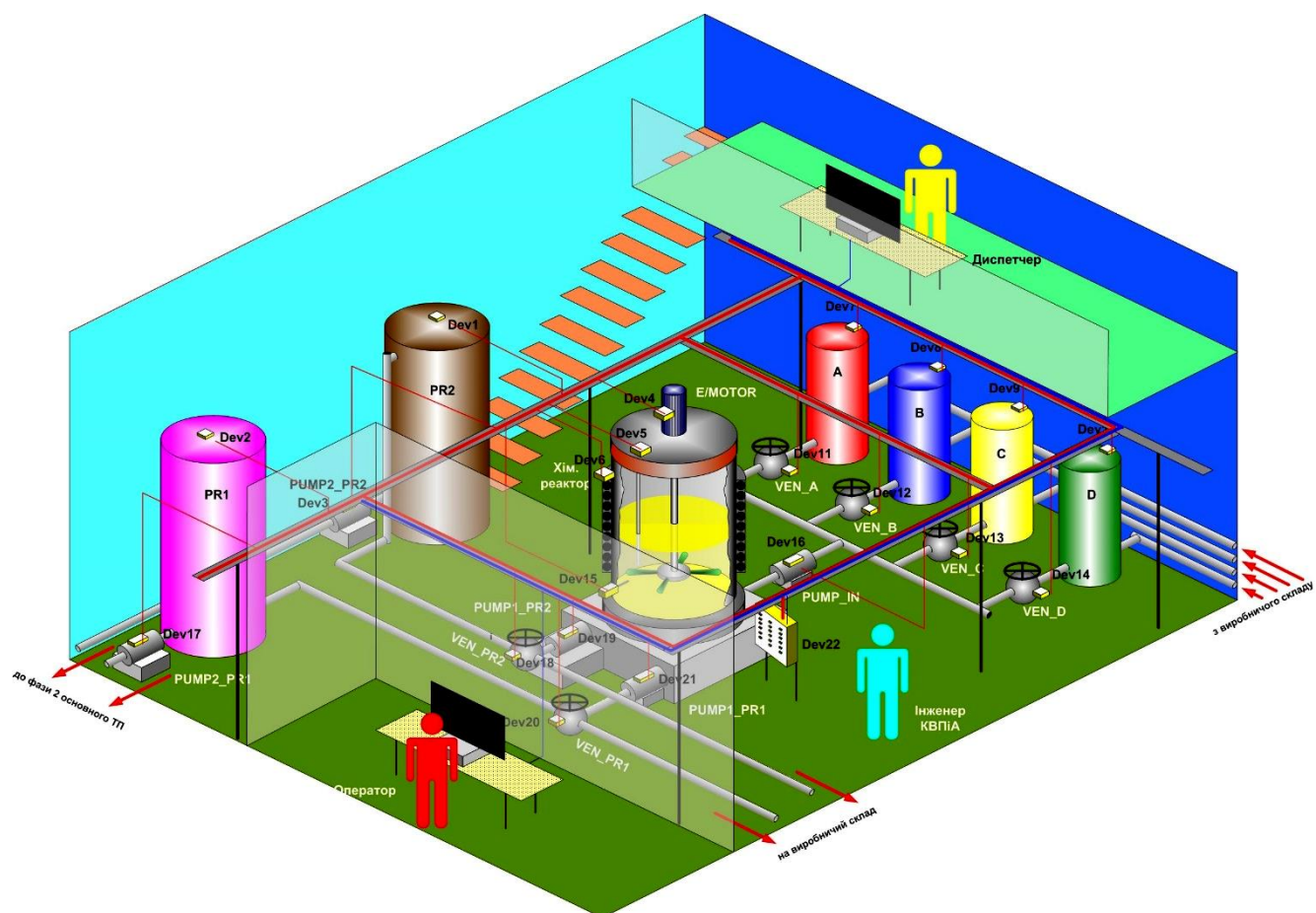


Рисунок В.3 - Моделювання типу системи автоматизації

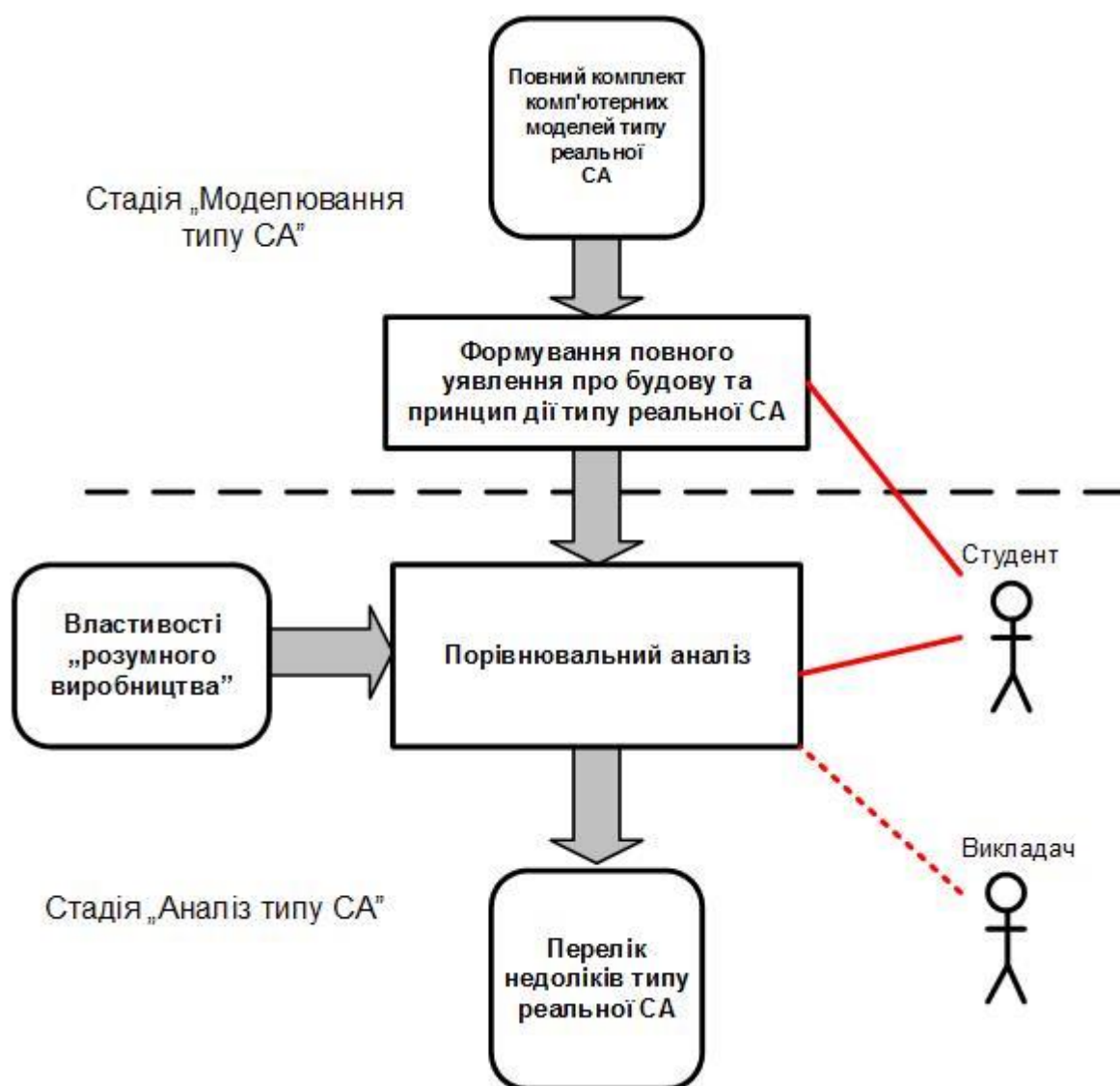


Рисунок В.4 - Проектування процесу виконання стадії "Аналіз типу системи автоматизації"

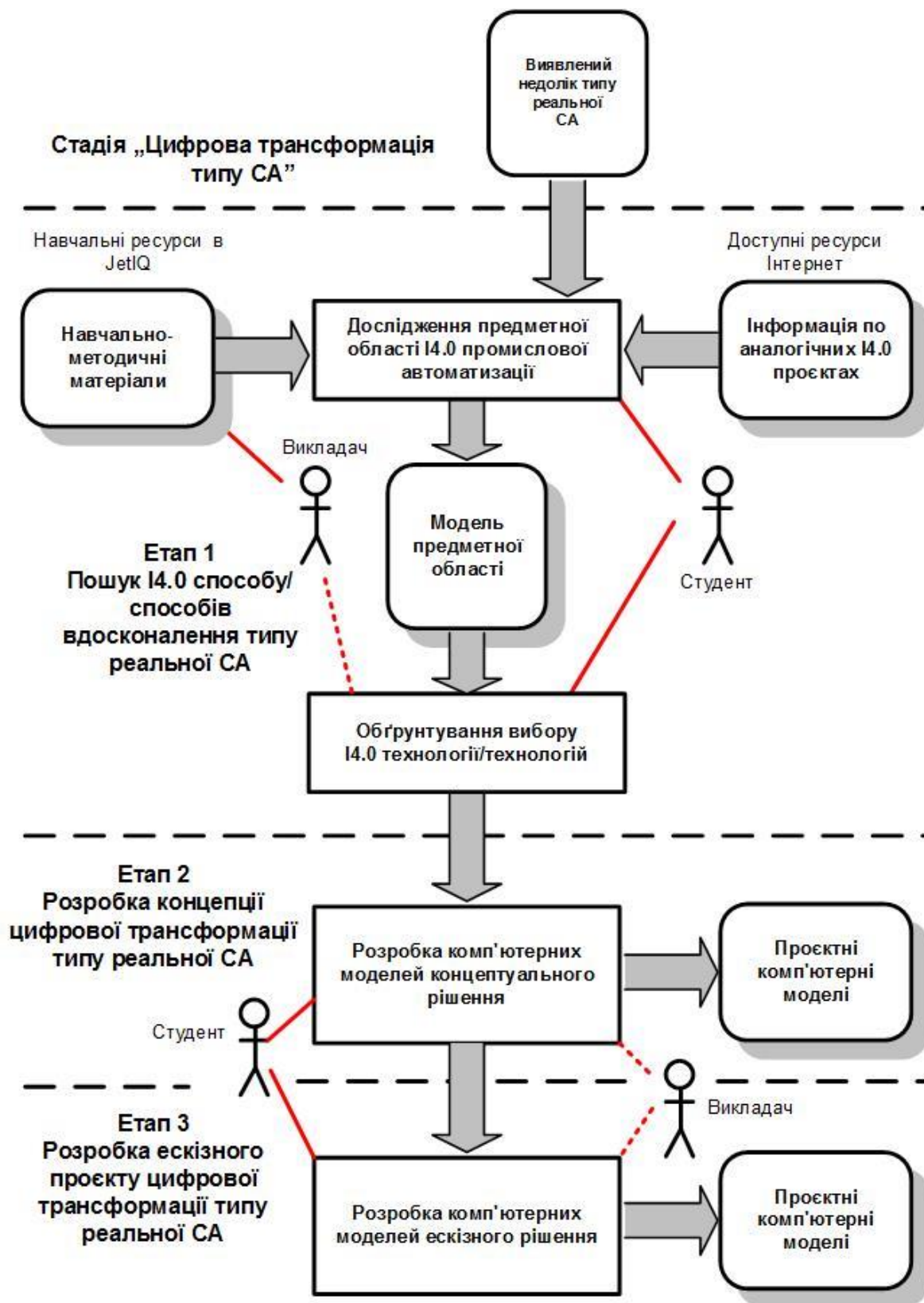


Рисунок В.5 - Проектування процесу виконання стадії «Цифрова трансформація типу системи автоматизації»

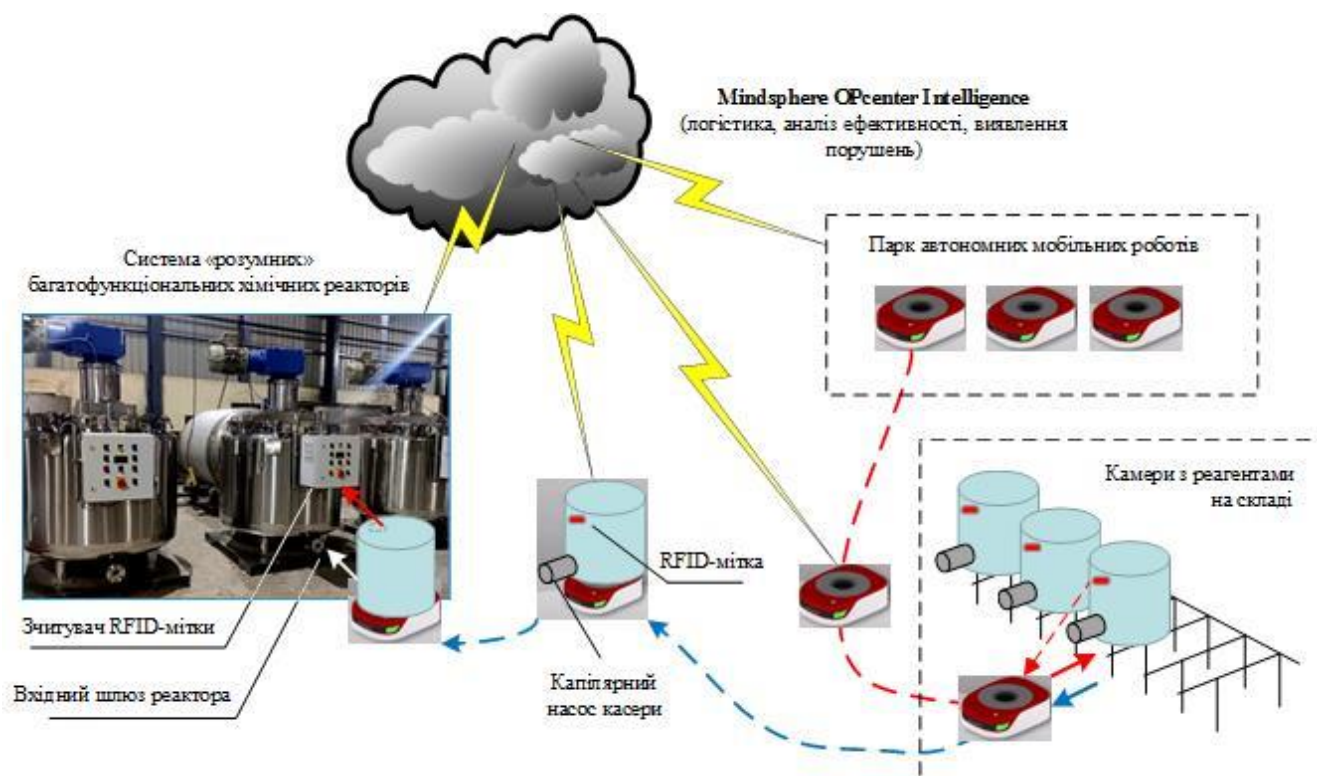


Рисунок В.6 - Приклад виконання проєктів цифрової трансформації типу системи автоматизації