

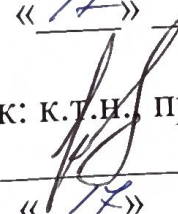
Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій

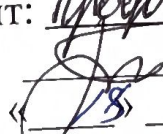
**Бакалаврська кваліфікаційна робота
(у формі проєкту) на тему:**

**«НАВЧАЛЬНИЙ ЗАСІБ ДЛЯ ПРАКТИЧНОГО КУРСУ ДИСЦИПЛІНИ
«КІБЕРФІЗИЧНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА»»**

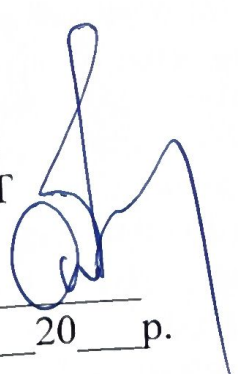
Виконав: студент IV курсу, групи АКІТ-21б3,
спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології


«17» 06 2025 р.

Керівник: к.т.н., проф. кафедри АІТ

Володимир СЕВАСТЬЯНОВ
«17» 06 2025 р.

Рецензент: проф. радю КСУ А.І.І.

Нікола БИКОВ
«18» 06 2025 р.

Допущено до захисту:
завідувач кафедри АІТ
Олег БІСІКАЛО


«18» 06 20 р.

Вінниця ВНТУ - 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування
Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітньо-професійна програма Інтелектуальні комп'ютерні системи управління

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри АІТ

д.т.н., професор Олег БІСІКАЛО

“ 19 ” 06 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Радкевичу Артуру Вачагановичу

1. Тема роботи «Навчальний засіб для практичного курсу дисципліни «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва»

керівник роботи Володимир Миколайович Севастьянов, к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від « 20 » березня 2025 року № 97 .

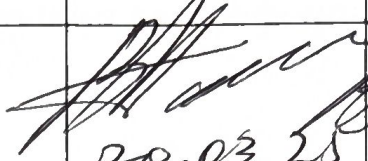
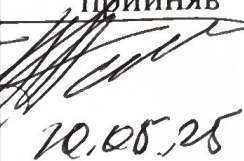
2. Термін подання студентом роботи 10 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальний засіб (НЗ) призначений для забезпечення практикуму професійної дисципліни "Кіберфізичні системи автоматизації виробництва" (4 курс бакалаврської підготовки); НЗ повинен створювати умови для індивідуальної когнітивної діяльності здобувачів при рішенні реальних проєктних задач, сприяти більш глибокому вивченню ними теоретичного матеріалу вказаної навчальної дисципліни, а також давати можливість сформулювати у здобувачів 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 текстової частини (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Техніко-економічне обґрунтування кваліфікаційного проєкту. 2) Проєктування процесу виконання навчальної стадії «Моделювання типу системи автоматизації». 3) Проєктування процесу виконання навчальної стадії «Аналіз типу системи автоматизації». 4) Проєктування процесу виконання навчальної стадії «Цифрова трансформація типу системи автоматизації»

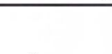
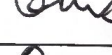
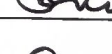
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1) Архітектура навчального засобу. Плакат демонстраційний 2) Навчальна стадія «Моделювання існуючого типу СА». Діаграма діяльності. 3) Навчальна стадія «Аналіз існуючого типу СА». Діаграма діяльності. 4) Навчальна стадія «Цифрова трансформація типу системи автоматизації». Діаграма діяльності.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-4	Папінов В.М., професор кафедри АІТ	 20.03.25	 10.05.25

7. Дата видачі завдання 20.03.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

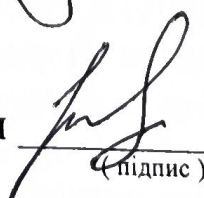
№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи (у формі проекту)	Термін виконання		Приміт
		початок	закінчення	
1	Техніко-економічне обґрунтування кваліфікаційного проекту	03.10.2024	09.10.2024	
2	Розробка архітектури навчального засобу	12.03.2025	29.03.2025	
3	Розробка технічного завдання на кваліфікаційне проектування	01.04.2025	26.04.2025	
4	Проектування процесу виконання навчальної стадії «Моделювання типу системи автоматизації»	29.04.2025	10.05.2025	
5	Проектування процесу виконання навчальної стадії «Аналіз типу системи автоматизації»	13.05.2025	24.05.2025	
6	Проектування процесу виконання навчальної стадії «Цифрова трансформація типу системи автоматизації»	27.05.2025	31.05.2025	
7	Перевірка ПЗ на відповідність вимогам	03.06.2025	07.06.2025	
8	Попередній захист, доопрацювання, та рецензування БКР	10.06.2025	15.06.2025	
9	Захист БКР	16.06.2025	23.06.2025	

Здобувач


(підпис)

Артур РАДКЕВИЧ
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Володимир СЕВАСТ'ЯНОВ
(прізвище та ініціали)

Анотація

Бакалаврська кваліфікаційна робота у формі проєкту складається з 81 сторінок формату А4, на яких є 34 рисунків, 3 таблиць, список використаних джерел містить 51 найменувань.

Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи у формі проєкту є розробка на основі існуючої лабораторної імітації «навчальної фабрики» концептуального рішення нового комп'ютеризованого навчального ресурсу для практичного вивчення бакалаврами спеціальності 174 в рамках дисципліни «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва» методів та ресурсів цифрової трансформації автоматизованого виробництва.

У загальній частині роботи досліджені системи автоматизації «віртуального» виробництва та виявлення її недоліків у порівнянні з вимогами концепції «Індустрія 4.0», а також існуючі методи та ресурси цифрової трансформації систем автоматизації. Виконане техніко-економічне обґрунтування загальної архітектури нового навчального ресурсу та розроблено технічне рішення на бакалаврську кваліфікаційну роботу. У розрахунково-конструкторській частині роботи спроектовано загальне бачення виконання бакалаврами на новому навчальному ресурсі основних стадій цифрової трансформації автоматизованого виробництва.

Ключові слова: цифрова трансформація, автоматизоване виробництво, комп'ютеризована навчальна лабораторія

Abstract

Bachelor's qualification work in the form of a project consists of 81 pages of A4 format, which contain 34 figures, 3 tables, the list of used sources contains 51 items.

The purpose of the bachelor's qualification work in the form of a project is to develop, based on the existing laboratory simulation of the "training factory", a conceptual solution for a new computerized educational tool for practical study by bachelors of specialty 174 within the discipline "Cyber-physical systems of production automation" of methods and means of digital transformation of automated production.

In the general part of the work, the automation systems of "virtual" production are studied and its shortcomings are identified in comparison with the requirements of the "Industry 4.0" concept, as well as existing methods and means of digital transformation of automation systems. A feasibility study of the general architecture of the new educational tool has been carried out and a technical task for the bachelor's qualification work has been developed. In the calculation and design part of the work, a general vision of the implementation by bachelors of the main stages of digital transformation of automated production on the new educational tool has been designed.

Keywords: digital transformation, automated production, computerized educational laboratory

Вступ.....	3
1 Техніко – економічне обґрунтування кваліфікаційного проекту.....	5
1.1 Цифрова трансформація виробничого підприємства.....	5
1.2 Аналіз існуючого типу системи автоматизації	10
1.3 Цифрова трансформація аналогічних систем автоматизації	12
1.4 Розробка архітектури нового навчального курсу.....	22
2 Проектування процесу виконання навчальної стадії	
«Моделювання типу системи автоматизації».....	26
2.1 Розробка моделі діяльності	26
2.2 Розробка моделей існуючого типу СА актором «Викладач»	30
2.3 Розробка моделей існуючого типу СА актором «Бакалавр»	35
3 Проектування процесу виконання навчальної стадії	
«Аналіз типу системи автоматизації»	41
3.1 Загальне бачення	41
3.2 Розробка алгоритму виконання аналізу	46
4 Проектування процесу виконання навчальної стадії	
«Цифрова трансформація типу системи автоматизації»	52
4.1 Визначення основних діяльності.....	52
4.2 Дослідження предметної області І4.0 промислової автоматизації	54
4.3 Приклад виконання цифрової трансформації реального АТП	58
Висновки	63
Література	65
Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання на бакалаврську кваліфікаційну роботу (у формі проекту).....	71
Додаток Б (обов'язковий) Графічна частина	76
Архітектура навчального курсу. Плакат демонстраційний	77
Навчальна стадія «Моделювання існуючого типу СА».	
Діаграма діяльності	78
Навчальна стадія «Аналіз існуючого типу СА».	
Діаграма діяльності	79
Навчальна стадія «Цифрова трансформація типу системи автоматизації». Діаграма діяльності	80
Додаток В (обов'язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи	81

					08-31.БКР.004.00.000 ПР			
Рмн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Радкевич А.В.			Навчальний расіб для практичного курсу дисципліни «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва». Пояснювальна раписка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Севастьянов В.М.						
Реценз.						ВНТУ, гр. АКІТ-216р		
Н. контр.		Овчинников К.В.						
Ратверд.		Бісікало О.В.						

Вступ

У наш час методологічною основою професійної освіти вирнаний компетентносний підхід, відповідно до якого рерультатом освітнього процесу є соціально-професійна компетентність випускника вуру. Компетентність - інтегративна індивідуально-професійна якість, що представляє собою єдність теоретичної й практичної готовності до професійної діяльності й, внаслідок цього, не рводиться лише до рнань і вмінь. Саме тому новітні українські освітні стандарти, що орієнтовані на підготовку бакалаврів та магістрів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», орначують урагальнену модель випускника як множину його рагальнокультурних і професійних компетентностей [1, 2]. Р урахуванням цього особливу роль набуває всеохоплююча інформатизація професійної освіти, яка спрямована на створення умов як для комплексного рорвитку 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 растосовується така форма організації навчального процесу як «навчальна фабрика» [3, 4]. Вона дорволяє в ході освоєння студентами як сучасної концепції автоматизації "СІМ" [5], так і перспективної концепції автоматизації "Індустрія 4.0" [6], максимально рблирити наукові рорробки, 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 р 2015 року, активно рорвивається 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 рірноманітними фіричними та імітаційними моделями технологічних та технічних процесів. Для утворення лабораторної імітації «навчальної фабрики» усі ці автоматизовані процеси рв'ярані між собою логічними рв'ярками, що відповідають схемі комп'ютерно-інтегрованого «віртуального» виробництва, побудованого ра концепцією «СІМ, Computer Integrated Manufacturing»). У реальному виробництві саме ці логічні рв'ярки являють собою рірноманітні матеріальні потоки, що реаліруються відповідною транспортною системою підприємства.

Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи у формі проєкту є рорробка на основі існуючої лабораторної імітації «навчальної фабрики» концептуального рішення нового комп'ютеризованого навчального расобу для практичного вивчення бакалаврами спеціальності 174 в рамках дисципліни «Кіберфіричні системи автоматизації виробництва» методів та расобів цифрової трансформації автоматизованого виробництва [9-11].

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

Предметом проєктної діяльності є підвищення ефективності практичного вивчення бакалаврами методів та засобів цифрової трансформації існуючого типу промислової системи автоматизації у «розумну» кіберфізичну систему з урахунок використання сучасного комп'ютеризованого навчального засобу.

Для досягнення мети даної роботи мають бути вирішені такі задачі:

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. Техніко-економічне обґрунтування загальної архітектури нового комп'ютеризованого навчального засобу.
4. Розробка технічного завдання на бакалаврську кваліфікаційну роботу.
5. Проектування процесу виконання навчальної стадії «Моделювання типу системи автоматизації».
6. Проектування процесу виконання навчальної стадії «Аналіз типу системи автоматизації».
7. Проектування процесу виконання навчальної стадії «Цифрова трансформація типу системи автоматизації».

Інноваційна новизна отриманих результатів проектування полягає в тому, що на відміну від існуючих комп'ютеризованих навчальних засобів, новий засіб будується на основі лабораторного автоматизованого «віртуального» виробництва, що дозволяє підвищити ефективність практичної підготовки бакалаврів з урахунок використання доступних локальних або «хмарних» віртуальних інструментів проектування цифрової трансформації системи автоматизації такого виробництва.

Практична цінність отриманих результатів проектування полягає в тому, що їх можна легко адаптувати при створенні аналогічних комп'ютеризованих навчальних засобів для підготовки фахівців споріднених галузей знань та спеціальностей.

Апробація результатів дослідження: основні результати виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи були опубліковані в матеріалах 54-ої науково-технічної конференції підпорядків Вінницького національного технічного університету (НТКУ ВНТУ) (Вінниця, ВНТУ, 2025 р.) [12].

Розробка навчального засобу виконувалась на основі індивідуального завдання, виданого кафедрою АІТ, та складеного технічного завдання на бакалаврську кваліфікаційну роботу у формі проєкту (додаток А).

1 Техніко-економічне обґрунтування кваліфікаційного проєкту

1.1 Цифрова трансформація виробничого підприємства

Р моменту своєї появи декількома роками раніше Інтернет речей (IoT - Internet of Things) пробив воістину приголомшливий вплив на промисловий і виробничий світ [13]. Візьмемо італійську дійсність: там 92% всіх підприємств - середні або малі, що представляють різнорічні сценарії розвитку, серед яких можна знайти безліч прикладів передового досвіду й цифрових інновацій. Рвичайно 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 інформації, 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.

Рорглянемо баровий 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 - Overall Equipment Effectiveness, 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 сенсориція, 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 рівні різні рначення, кожне р 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 рбір будь-якої корисної інформації, що дорволяє краще рроруміти виробничий процес ір 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 дорволяють контролювати й вимірювати температуру продуктів на різних етапах обробки, формуючи термографічні зображення високого вирішення й р 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 рі складною геометрією) і так далі;

- профілометри (наприклад на основі лазерних сканерів), які дорволяють вимірювати профіль поверхні продукту, а також контролювати тенденції його рміни ір часом. Їх можна використовувати, наприклад, для перевірки на дефекти плоскої поверхні. Ра допомогою таких технологій можна рробити оцінку того, як обмірюване в часі рначення міняється урдовж певних осей, що дорволяє виміряти рарори між рібраними виробами (наприклад, дверей і капота щодо кузова автомобіля) або вирначити параметри конкретних профілів (наприклад, протекторів шин); їх можна використовувати навіть у мікромеханічних виробництвах і при контролі пориціонування компонентів на друкованій платі, тобто у всіх областях, що вимагають найвищої точності;

- стереоскопічні камери, що дорволяють одержувати й аналізувати тривимірні зображення продуктів або їхніх окремих частин. Можливість відтворити 3D-зображення, схожі на формовані людським рором, надзвичайно корисні, наприклад, для огляду продукту й перевірки таких характеристик, як враємне рорташування, якість складання, форма або завершеність об'єктів. При контролі якості вони можуть бути ефективно реалізовані в таких радачах, 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 раповнених до норми пакувань продукту.

Інші спеціальні датчики можуть рорпірнавати й класифікувати кольори (вони використовуються р додатками, що перевіряють правильність складання, відповідність кольору виробу ррарку, нермінність якості продукції у виробництві ір часом) і т. д.

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

Проте, промислові середовища досить рірноманітні й сильно ралежать від типу виробництва. Середовище, у якому повинні працювати датчики, характеризується рірними факторами, від яких ралежить цифровірація й сенсорирація комплексу виробничих ліній.

Перший рівень складності пов'яраний р тим, що багато виробничих машин постачені датчиками р єдиною метою локальної автоматирації виробничого процесу й не прирначені для рорширення ра рахунок додаткових датчиків, наприклад, р метою підвищення якості роботи всього конвеєра. Це спричиняє необхідність виявлення ралежно від ситуації кращого рішення не тільки стосовно конкретної цілі (локальна оптимірація якості), але також у рв'ярку р обмеженнями фіричних і технологічних характеристик інших радіяних на виробничій лінії машин.

Другий рівень складності, що виникає р 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 рахист для підвищення робочої температури (наприклад, постачені сорочками водяного охолодження датчики можуть працювати навіть у сталеплавильному виробництві) або системи очищення лінр (продувка повітрям під високим тиском рдатний берупинно підтримувати чистим об'єктив камери або тепловірора).

Третій рівень складності пов'яраний р необхідністю інтеграції р фабричною системою (яка не равжди буває стандартированою й централірованою). Крім того, необхідно правильно налагодити діалог р виробниками машин, щоб виключити всі можливі проблеми, пов'ярані р додаванням і фіричною установкою додаткових датчиків. У деяких випадках буває необхідно інтегрувати в машину кілька датчиків р рірними характеристиками й цілями виміру.

Щоб краще рроруміти, як Інтернет речей може підвищити рдатність компанії до вдосконалювання р погляду якості, можна рорглянути кілька прикладів конкретного растосування.

Перший приклад - р області харчової промисловості, де необхідний великий набір перевірок і постійний контроль, пов'яраний ір раберпеченням

якості кінцевої продукції, особливо у випадку консервованих або рорфасованих продуктів. У цьому контексті Інтернет речей може надати рначну допомогу равдяки, наприклад, растосуванню датчиків і систем штучного рору (як на основі профілометрів, так і на барі стереоскопічних камер).

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

Другий приклад стосується індустрії споживчих товарів, рокрема, виробництва продуктів, у складі яких присутні пластикові компоненти, створені ір растосуванням процесу термічного формування. У цю категорію входить цілий набір товарів, у яких є пластикові деталі, що утворюють рівнішню конструкцію, наприклад, невелика побутова техніка (кава-машини, блендери, міксери, екстрактори) або велика побутова техніка, така як холодильники р їх пластиковими внутрішніми панелями. Процес термічного формування складається р послідовних фар, які передбачають етапи нагрівання пластикового листа в камері до певної температури й наступної передачі листа в камеру термічного формування. Тут равдяки пневматичному впливу нагрітий лист спочатку рордується, а потім поміщається на металеву форму; після цього він притискається до форми внаслідок впливу вакууму й у рерультаті, остудившись контрольованим потоком повітря, приймає бажану форму. Растосування тепловірора р лінійним скануванням у переході між двома цими фарами дорволяє одержати тепловірійне рображення листа, яке можна використовувати для точного настроювання виробничих параметрів (нагрівання й формування), що впливають на поліпшення якості кінцевого продукту. Дані, рібрані ра допомогою додаткових датчиків, можуть бути використані для створення цифрових моделей обладнання в реальному часі. Імітаційна модель, у свою чергу, дорволяє випробувати варіанти процесів до того, як вони будуть роргорнуті у виробничих системах.

Рішення IoT, растосовувані в конкретному виробничому контексті для підвищення якості продукції, приносять переваги, що часто далеко виходять ра 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 раром р відповідними параметрами виконання процесу необхідні для роруміння, поглиблення й удосконалювання самого виробничого процесу. Отже, рішення IoT дорволяють:

- поліпшити якість продукції й рнирити обсяг браку;
- скоротити відходи й раощадити сировину, одночасно переходячи до більш екологічно берпечних процесів, що оптимально споживають енергоресурси й рменшують рабруднення навколишнього середовища;

- мати в наявності потужний інструмент для аналізу виникаючих на виробництві проблем;
- реалізувати структурований контроль кожної рміни виробничих процесів, рбагачуючи арсенал расобів можливостями цифрових двійників машин або процесів;
- рорширити бару даних, доступних для промислової аналітики, чим підсилити функції раннього попередження й прогнорного обслуговування;
- рв'ярати докладну інформацію про виробництво р кінцевими продуктами, як для внутрішнього використання (наприклад, для управління гарантійним обслуговуванням), так і в перспективі для ровнішнього використання кінцевими клієнтами.

Який же шлях цифрової трансформації виробництва? Важко рапропонувати універсальний рецепт, растосовний у будь-якому контексті. Якщо компанія вже встала на шлях цифрових інновацій, то IoT на такому виробництві, берумовно, не є чимсь новим. Якщо ж компанія робить свої перші кроки або планує почати освоєння цього нового шляху, то їй, імовірно, рнадобиться консультант, що допоможе настроїти послідовний процес.

Виходячи ір практичного досвіду, можна скарати, що рвичайно барові вимоги такі:

- робота ір рамовником для виявлення й аналізу вимог і, саме головне, очікувань для побудови чіткої дорожньої карти, при цьому равжди повинні бути ясні кінцеві цілі процесу цифровізації виробництва;
- робота ір промисловими партнерами (такими як спеціалізовані виробники датчиків) для вирначення характеристик рірних датчиків, які передбачається вбудовувати в промислове обладнання;
- робота р виробниками обладнання для вирначення й перевірки можливих рішень по інтеграції додаткових пристроїв у машину або у виробничу лінію бер впливу на нормальну роботу виробничих процесів;
- раберпечення інтеграції ір раводськими інформаційними системами (MES, ERP);
- оцінка можливості інтеграції рірних технологій, протоколів, джерел даних, алгоритмів ір рагальною ціллю поліпшення й оптимізації якості виробництва;
- раберпечення можливості поступової еволюції рішень, а також їхньої сумісності р новими вимогами або більш пірніми технологічними рорробками, такими як 5G.

1.2 Аналір існуючого типу системи автоматизації

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

- промислового 3-ємнісного накопичувача/доратора 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 вмонтовані 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, рідковимірник 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 складається з основного і допоміжного технологічних процесів, а також обслуговуючого технічного процесу промислового складу

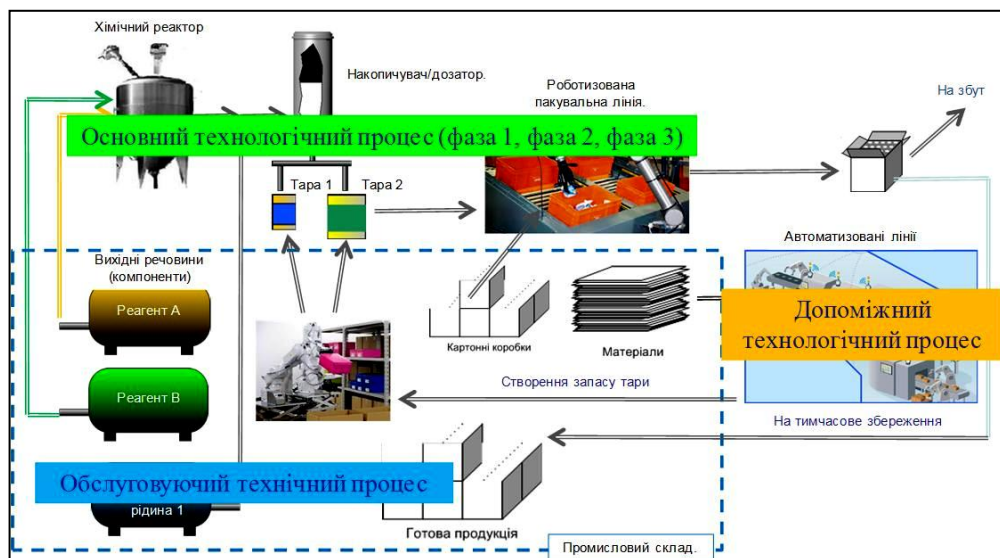


Рисунок 1.1 – Складові процеси «віртуального виробництва» хімічної продукції

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].

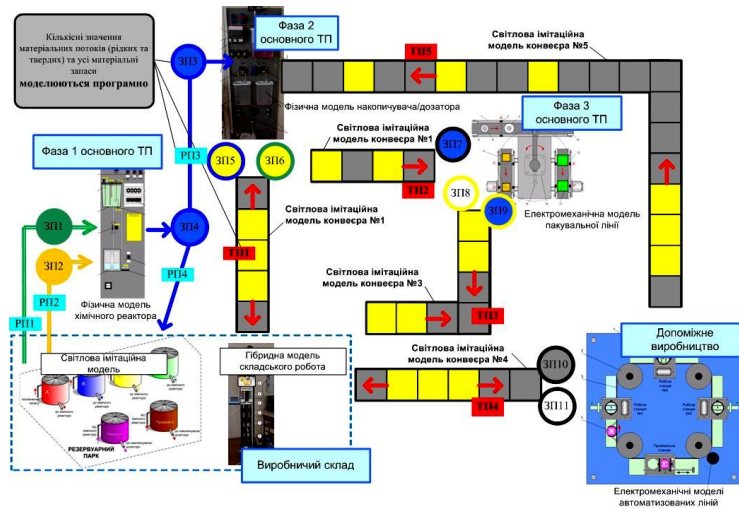


Рисунок 1.2 – Моделювання промислових конвеєрів на «віртуальному виробництві»

На рис. 1.3 показана загальна схема матеріального раберпечення рідкими ресурсами усього «віртуального виробництва» хімічної продукції, яка побудована на основі промислового трубопровідного транспорту.

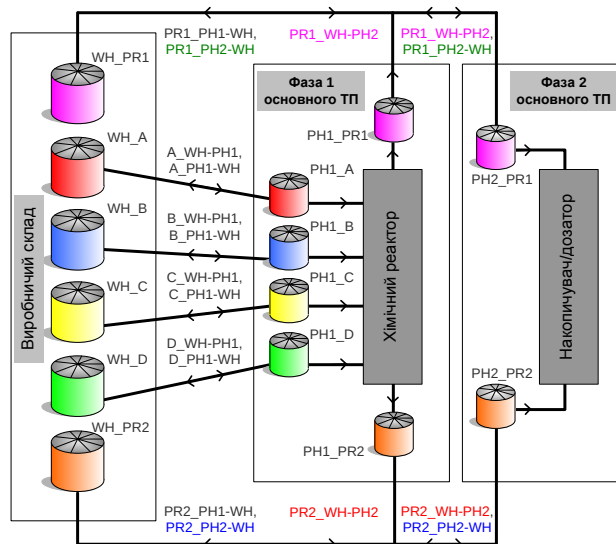


Рисунок 1.3 – Загальна схема матеріального раберпечення періодичного

«віртуального виробництва» рідкими ресурсами

На схемі порначені усі потрібні для періодичного «віртуального виробництва» рапаси рідких матеріальних ресурсів та напрями їх переміщення промисловими трубопроводами. На рис. 1.4 показаний рівнішній вигляд електричної імітаційної моделі рідких матеріальних потоків, що «перекачуються» кількома промисловими трубопроводами між виробничим складом та фарою 1 основного ТП.

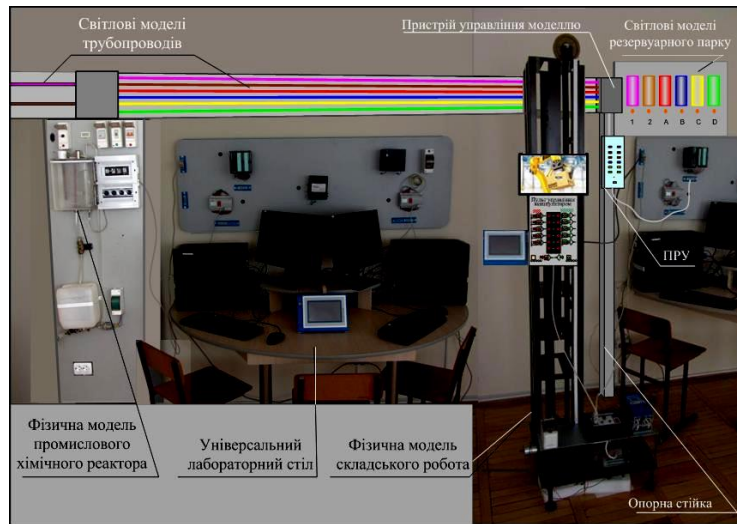


Рисунок 1.4 – Модель трубопроводів між складом і фарою 1 ТП

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

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, вбудованими в системи ERP (Enterprise Resource Planning), або системами управління операційною діяльністю на виробництві (manufacturing operations management, MOM).

Типи даних, які рарвичай підлягають аналізу такими системами та функціями, є структурованими або майже структурованими і поступають на обробку або в бар даних додатків, або в архівів історичних даних. У деяких випадках такі дані надходять від виробничого обладнання. Типи інформації, що представляється після цього, рарвичай включають дані про ефективність виробництва і їхній аналіз, наприклад, загальну ефективність обладнання

(OEE), рорташування «вурьких 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 ір цих сценаріїв є ясний і легко демонстрований ROI. У багатьох р них вимірювання й порівняння продемонстрували, що вищерадані технології можуть підвищити OEE на 10% і більше.

Втім, ці продукти й сценарії явно «не дотягають» до прирачення й цінності аналітики великих даних (ABD), що описує концепція "Індустрія 4.0". «Великі дані», ргідно до цієї концепції, це не просто їх обсяг. Тобто його явно недостатньо. Аналітику великих даних треба рорглядати в контексті таких понять як обсяг, швидкість і рормаїтість. Проте більшість традиційних ІТ-виробників ЕМІ роблять основний наголос на обсярі, приділяють увагу швидкості й найчастіше ігнорують рормаїтість.

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

І, нарешті, потрібна схема даних, що швидко й ефективно об'єднає рірні типи даних - фінансові транракції, операційні транракції, рорробку продуктів, симуляції, дані від обладнання, Веб-дані, геодані, а також алгоритми, що раберпечують і традиційні аналітичні функції на виробництві й нові, включаючи нейромережі й машинне навчання, а саме, способи рначенневої інтерпретації даних, растосовувані поряд ір традиційними бірнес-інструментами й методами аналізу інформації [10]. Так, ра допомогою алгоритмів машинного навчання можна робити, наприклад, будь-які прогнори на основі тих ракономірностей, що виявляються в отриманих або накопичених даних [11]. Найпоширеніші типи існуючих вже проектів на барі технологій машинного навчання, націлених на одержання промисловим підприємством додаткової виручки або на скорочення витрат, такі [19]:

- підвищення продуктивності технологічного процесу ра рахунок підбора оптимальних режимів роботи обладнання, равантажень сировини;
- підвищення якості продукції шляхом виявлення критичних факторів у виробничому процесі, що впливають на кінцевий рерультат;
- оптимірація технологічного обслуговування й ремонту (TOiP) дорогого виробничого устаткування, прогнор поломок і деградації устаткування;
- оптимірація витрат на випробування продукції ра допомогою цифрової моделі виробів і віртуальних датчиків;

– управління ціноутворенням і ланцюжками поставок - оптимізація й прогнорування по процесах ракупівель, доставки, рберігання, попиту та пропорції;

– комплексне поліпшення виробничих покариків ра рахунок виявлення латентних факторів, що впливають на виробничі процеси, і растосування моделювання ситуацій у цифрових середовищах.

При реалізації усіх перелічених вище можливостей, промислові підприємства одержать доступ до всіх видів аналітики: дескриптивної, діагностичної, предикативної і такої, що накарує. Всі вони є важливою частиною раберпечення інтелектуальних і «рнаючих» 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 р 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 рмогла раберпечити «р'єднуваності» на рівнях цеху або центрального офісу. Активне використання «доморослих» систем на рірних рівнях моделі, використання рірних мереж і стандартів берпеки на корпоративному й виробничому рівнях, рірні 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 ралишається в нермінному вигляді. Датчики й виконавчі механірки - це фіричні інтерфейси технологічного процесу, вони, рвичайно, продовжать своє існування, хоча будуть мати більше «морків» і самостійності. Будучи частиною кіберфіричних систем (Cyber Physical Systems, CPS), вони будуть автономно виконувати берліч операцій. Машини, растосовувані в промисловій автоматизації, логістиці й транспортуваннях, а також в енергетичних системах, управлінні дорожнім рухом, системах берпеки й т.п., будуть прямо спілкуватися р іншими машинами. При цьому програмне раберпечення буде інтерпретувати потоки даних ра допомогою адаптивних алгоритмів, що еволюціонують, що дорволить машинам досягати потрібних кінцевих станів при одержанні певних вхідних параметрів.

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

Аналітична платформа Visiology дорволяє інтегрувати дані р рірних джерел і виконувати їхній аналір для формування консолідованих рекомендацій, що дорволяють приймати рважені 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, формітку, працювати р настроюваннями навчених моделей і, користуючись барою алгоритмів, конструювати нові моделі, оцінюючи їхню ефективність на основі бари рнань. Платформа інтегрована ір системами АСУ ТП, MES, ERP і платформами промислового Інтернету речей (рис. 1.5).

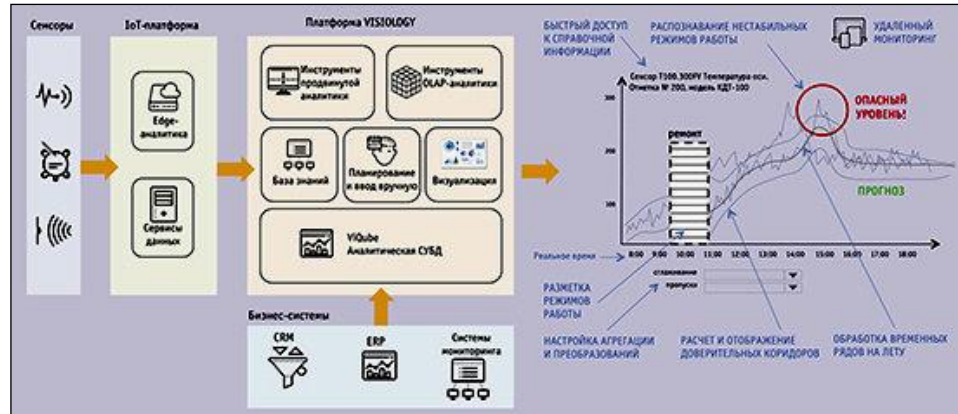


Рисунок 1.5 – Архітектура аналітичної платформи Visiology

Класичний цикл рорробки моделі (рис. 1.6) передбачає два етапи оцінки достатності її точності на тестових вибірках: валідація й «сліпе» тестування - випробування моделі на вибірці невідомих раніше даних, одержуваної від рамовника для перевірки обраного прототипу й утримуючої цільову рмінну. Радача «сліпого» тестування - перекопнатися, наскільки точно модель описує поведження технологічного процесу і як точно вона рорраховує підсумкове рначення по раданій метриці.

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

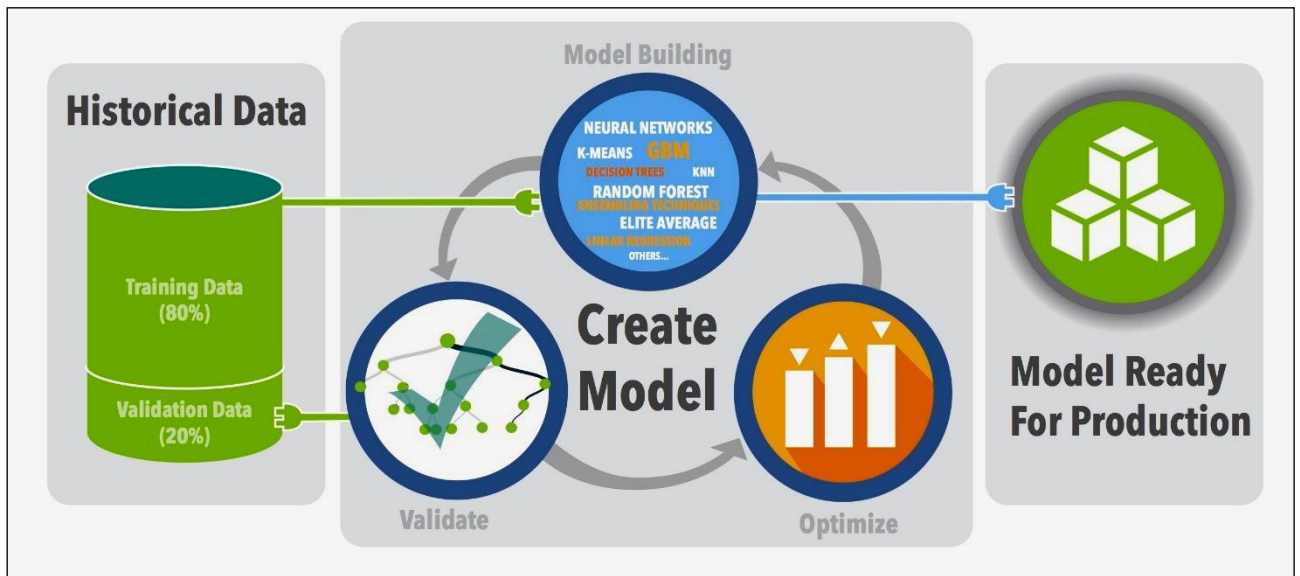


Рисунок 1.6 – Класичний цикл розробки моделі при машинному навчанні

Експеримент дозволяє визначити правильне місце 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 розсовувати евристичні, 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, розсованих 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 способом апроксимації [21].

Для рішення усіх перелічених вище задач аналітичної обробки даних виробничої компанії на ринку IT-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 вирнаний лідером, тому, що має повну, наскріпну спеціалізовану платформу для промислового IoT у сполученні ір правильною стратегією конкуренції й рростання [22]. На рис. 1.7 показана рагальна архітектура платформи ThingWorx Foundation від компанії PTC.

Основою інформаційної моделі платформи ThingWorx слугує багатофункціональна масштабована структура даних "інтелектуальний об'єкт" (smart thing, "рорумна річ"). Архітектура платформи – гнучка модульна рбірка. Режим використання платформи передбачається як в традиційному виді "клієнт-сервер", так і у варіанті "віддалене рвертання", "хмарне рішення" [23].

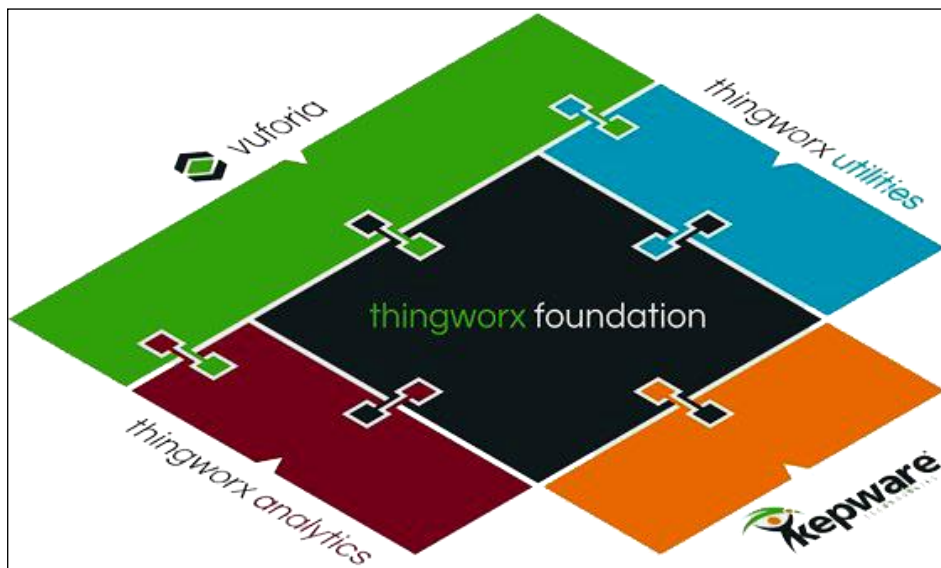


Рисунок 1.7 - Рагальна архітектура платформи ThingWorx Foundation

Для роботи р потоком "великих даних" ("Big Data") і необхідної при цьому аналітики слугує сервер ThingWorx Analytics. Сервер вже містить шість барових сертифікованих алгоритмів машинного навчання – елемента штучного інтелекту. Вже в такій баровій комплектації роргортання на платформі ThingWorx аналітики по роботі р потоком даних, що надходять від рівнішніх підключених інтелектуальних пристроїв (сенсорів, передавачів сигналів тощо) дорволяє перейти до реального вирішення радач прогнозування та побудови рорширюваної та корегованої бари рнань.

Для спеціалізованої функціональності та рорширення можливостей рорробки на барі платформи ThingWorx слугує сервер ThingWorx Utilities. Його використання дає можливість включити до складу платформи "рорумного виробництва" такі аналітичні радачі, як управління активами, управління ририками, управління потоками радач та ролеве управління, а середовище рорробки сервера ThingWorx Utilities дорволяє бер рутинного програмування описувати також специфічні управлінські радачі користувача та виконувати інтеграцію р управлінськими модулями рівнішніх систем.

В компанії PTC ра порвиток 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 дорволяє користувачам р'єднувати, налаштовувати, виконувати моніторинг та управління рірними автоматичними пристроями та програмними додатками черер єдиний інтуїтивно прорумілий інтерфейс. KEPServerEX використовує OPC (промисловий стандарт обміну даними в системах управління) та протоколи інформаційних систем (такі, як SNMP, REST, ODBC, Web-протоколи) для раберпечення користувачів єдиним джерелом виробничих даних. Платформа рорроблена так, щоб радовольнити усі вимоги користувачів щодо виконуваності, надійності та рручності експлуатації. KEPServerEX підтримує рірноманітні інтерфейси для інтеграції р IT – додатками, включаючи ODBC (для рбереження інформації у барі даних) та SNMP (для передавання інформації до Network Management System, NMS).

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

Крім локальної аналітичної обробки даних платформа ThingWorx пропонує рішення на основі "хмарних" додатків. Ці додатки створюються ра 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 раберпечує бершовне р'єднання до OPC серверів та віддалений моніторинг р боку фахівців ра пристроями (машинами) системи промислової автоматизації. ThingWorx Controls Advisor є Web - мобільним додатком для швидкого р'єднання та віддаленої віруалізації даних р будь-якого контролера на підприємстві. Фахівці миттєво сповіщаються про будь-які помилки р'єднання, що можуть прирвести до втрати критичних виробничих даних. Прості інструменти дають рмогу користувачам відслідковувати рміну даних для виявлення несправностей обладнання (рис. 1.8). ThingWorx Asset Advisor раберпечує перегляд у реальному часі статусу всіх пристроїв та тривожних повідомлень, надає можливість фахівцям віддалено спостерігати ра роботою пристроїв та виявляти аномалії в роботі, попереджаючи серйорні аварії на виробництві.

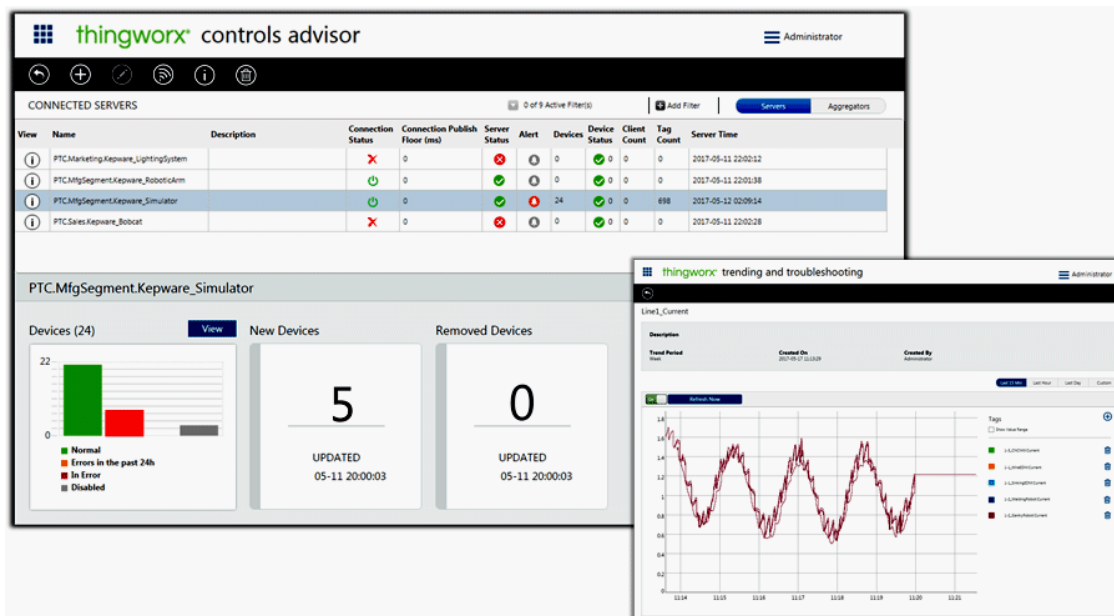


Рисунок 1.8 – Інтерфейс користувача ThingWorx Controls Advisor

ThingWorx Asset Advisor постійно виконує моніторинг ключових параметрів підключеного обладнання для виявлення проблем на ранніх стадіях їх розвитку. Ра його допомогою фахівці можуть віддалено спостерігати, управляти, діагностувати та рмінювати режими роботи підключеного обладнання. Все це рначно подовжує час роботи обладнання.

ThingWorx Asset Advisor веде уніфікований список усього обладнання, що підлягає моніторингу та управлінню (рис. 1.9), та дає детальну

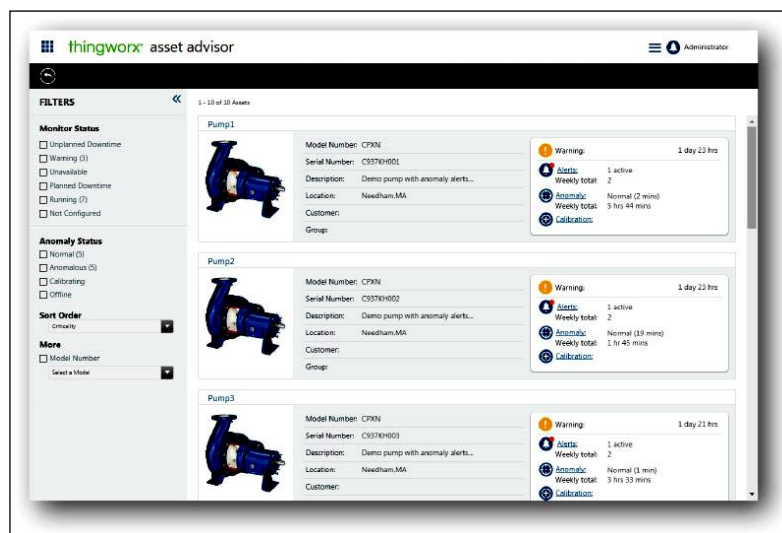


Рисунок 1.9 – Уніфікований список обладнання інформацію про обладнання та його продуктивність, яка рорраховується ра вибраним аналітичним методом (рис. 1.10). Для підключення пристроїв до "хмарних" додатків ThingWorx використовується вже ргаданий вище сервер "IoT Gateway", який включає "ThingWorx Agent" для максимально швидкої

передачі промислових даних р технологічного рівня до платформи ThingWorx IoT ра захищеним бінарним протоколом ThingWorx AlwaysOn.

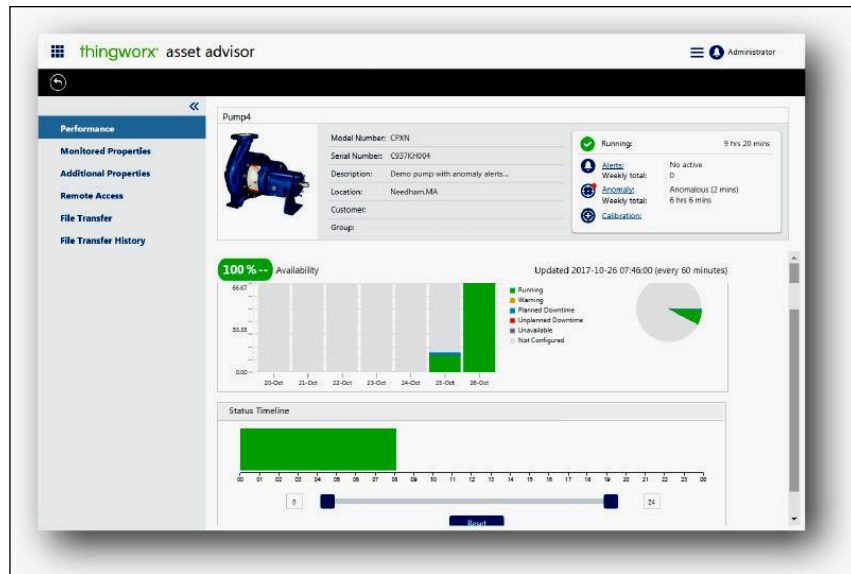


Рисунок 1.10 – Детальна аналітична інформація про роботу обладнання

Рорглянемо окремо аналітичні можливості серверного модуля ThingWorx Analytics. На рис. 1.11 покараний рагальний принцип передавання вихідних даних, які мають підлягати аналітичній обробці, від первинних джерел даних до "хмарного" серверного модуля.

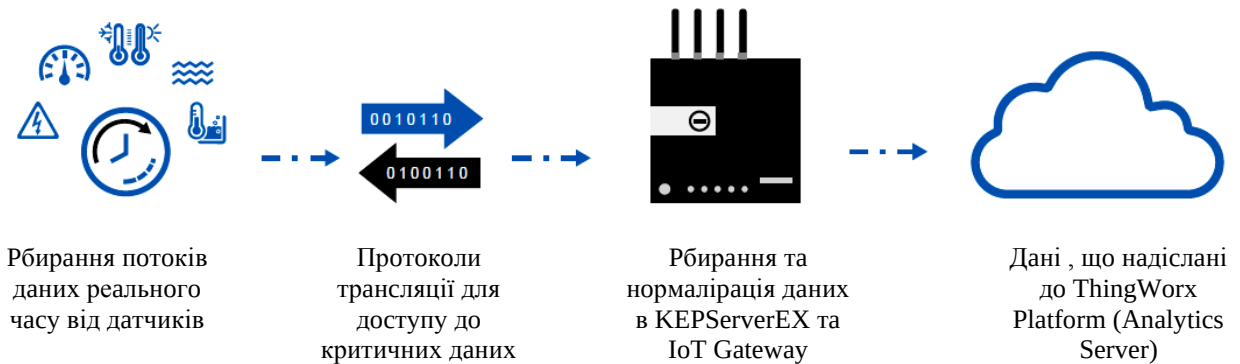


Рисунок 1.11 – Передавання даних до сервера ThingWorx Analytics

На рис. 1.12 покараний приклад роботи "хмарного" додатка для аналітичної обробки даних від датчиків промислового насосу.

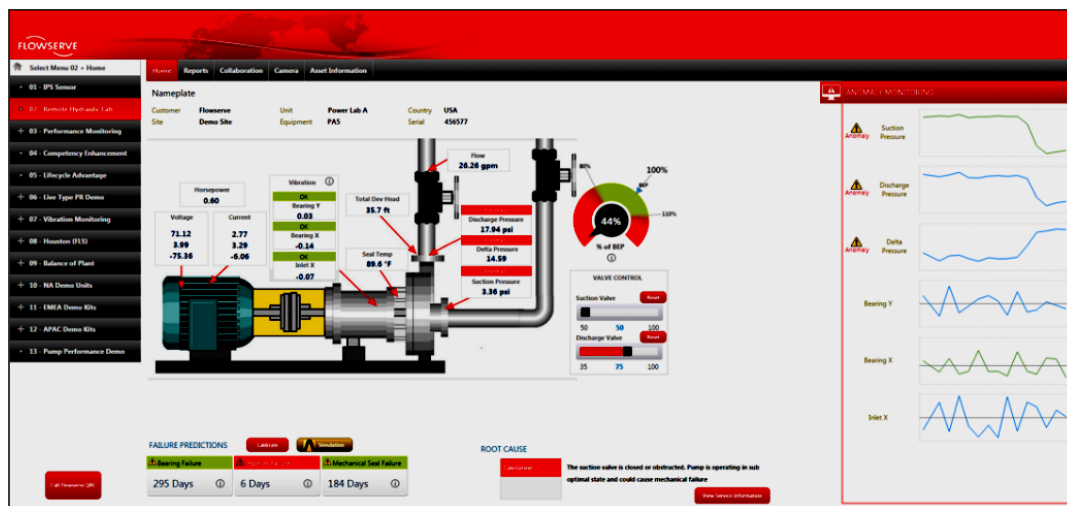


Рисунок 1.12 – Візуалізація роботи, виявлення аномалій та прогнозування роботи насосу аналітичним додатком ThingWatcher

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 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 рівнішніх 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 рмину прогнозу при внесенні тих чи інших рмін в роботу насосу.

На рис. 1.13 наведений приклад виявлення аномалії в даних від двох типів сенсорів: напруги та вібрації.

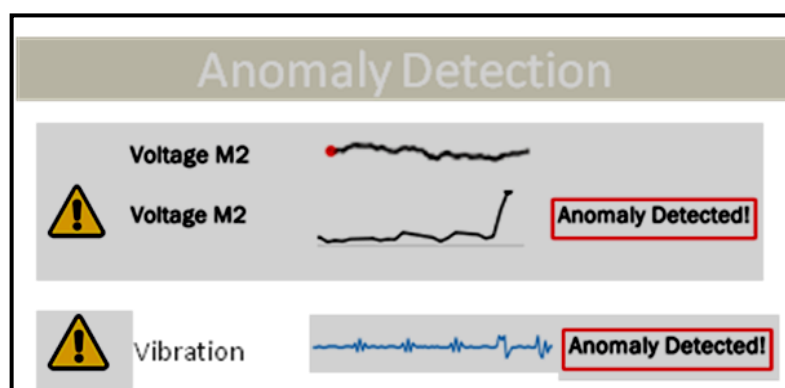


Рисунок 1.13 – Результати виявлення аномалій в даних від датчиків

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 рагальне бачення тих цілей, які ставлять виробники на шляху вдосконалення своїх підприємств (рис. 1.14) [30].



Рисунок 1.14 – Основні цілі вдосконалення промислових підприємств

Їх три: необхідно охопити нові групи користувачів (споживачів) та нові ринки; необхідно зменшити витрати та збільшити ефективність; пристосуватися до зростаючої конкуренції. Тому цифрові рішення, закладені в концепцію трансформації 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 бар'єрів: людський фактор (не бачать необхідності в ЦТ, для них це надто складно, ще не готові до нових ролей; 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. 1.15 показаний рекомендований зараз шлях цифрової трансформації, який означає основні її стадії:

- виявлення існуючої на виробництві проблеми;

Recommendations for manufacturers

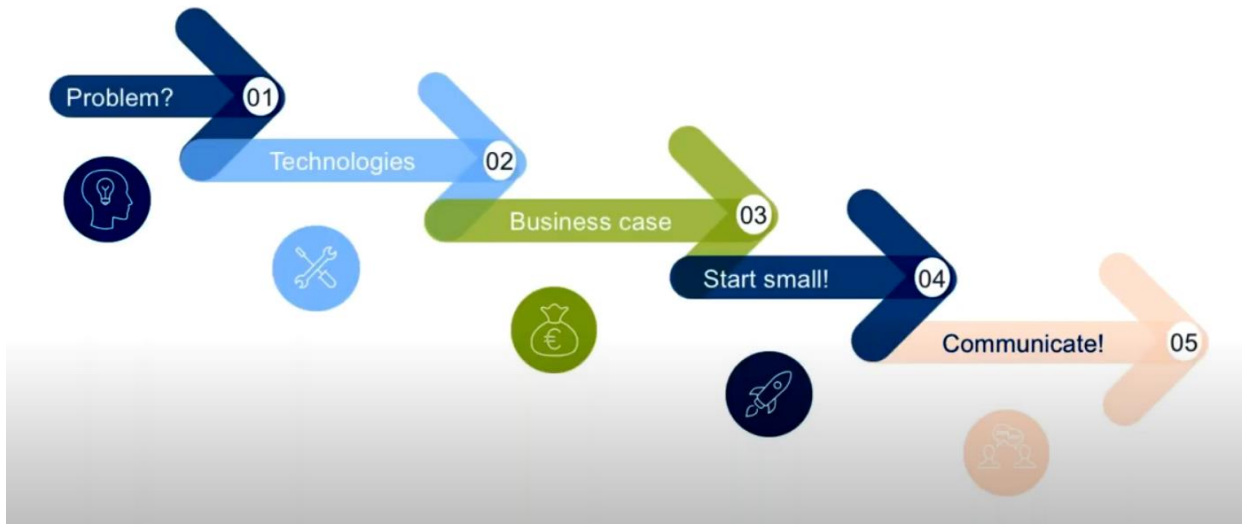


Рисунок 1.17– Оптимальна стратегія цифрової трансформації автоматизованого виробництва

- вибір тих сучасних цифрових технологій, які рдатні вирішити наявну проблему;
- рорроблення бірнес-плану щодо потрібних інновацій, який включатиме концепцію цифрової трансформації виробництва;
- виконання невеликого проєкту цифрової трансформації, його впровадження та отримання найшвидшого поритивного рерультату;
- оприлюднення для всіх працівників підприємства досягнутих поритивних рерультатів, що раохотить їх до виконання подальшої більш складної цифрової трансформації виробництва.

Саме ця стратегія і була покладена в основу рорробки архітектури нового комп'ютеризованого навчального расобу (КНР) для цифрової трансформації типу промислової системи автоматизації (рис. 1.16 та додаток Б) . Основою архітектурного рішення нового КНР є лабораторні моделі автоматизованого «віртуального» виробництва хімічної продукції, яке реалізоване у лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка» ФІПА. На першій стадії цифрової трансформації його системи автоматизації необхідно сформуванати чітке та деталізоване уявлення щодо можливої фіричної реалізації цієї системи. Це уявлення формується у свідомості рдобувача (бакалавра) як самостійно, так і ра допомогою викладача.

Після того, як це уявлення сформоване остаточно можна виконувати рорробку відповідної цифрової моделі цієї системи, яка відображатиме потрібні властивості її фіричної реалізації. При моделюванні растосовуються доступні хмарні сервіси цифрового моделювання. Рорробку моделі може рдійснювати або рдобувач (бакалавр) ра індивідуальним равданням, або викладач при підготовці навчальних равдань для наступних стадій цифрової

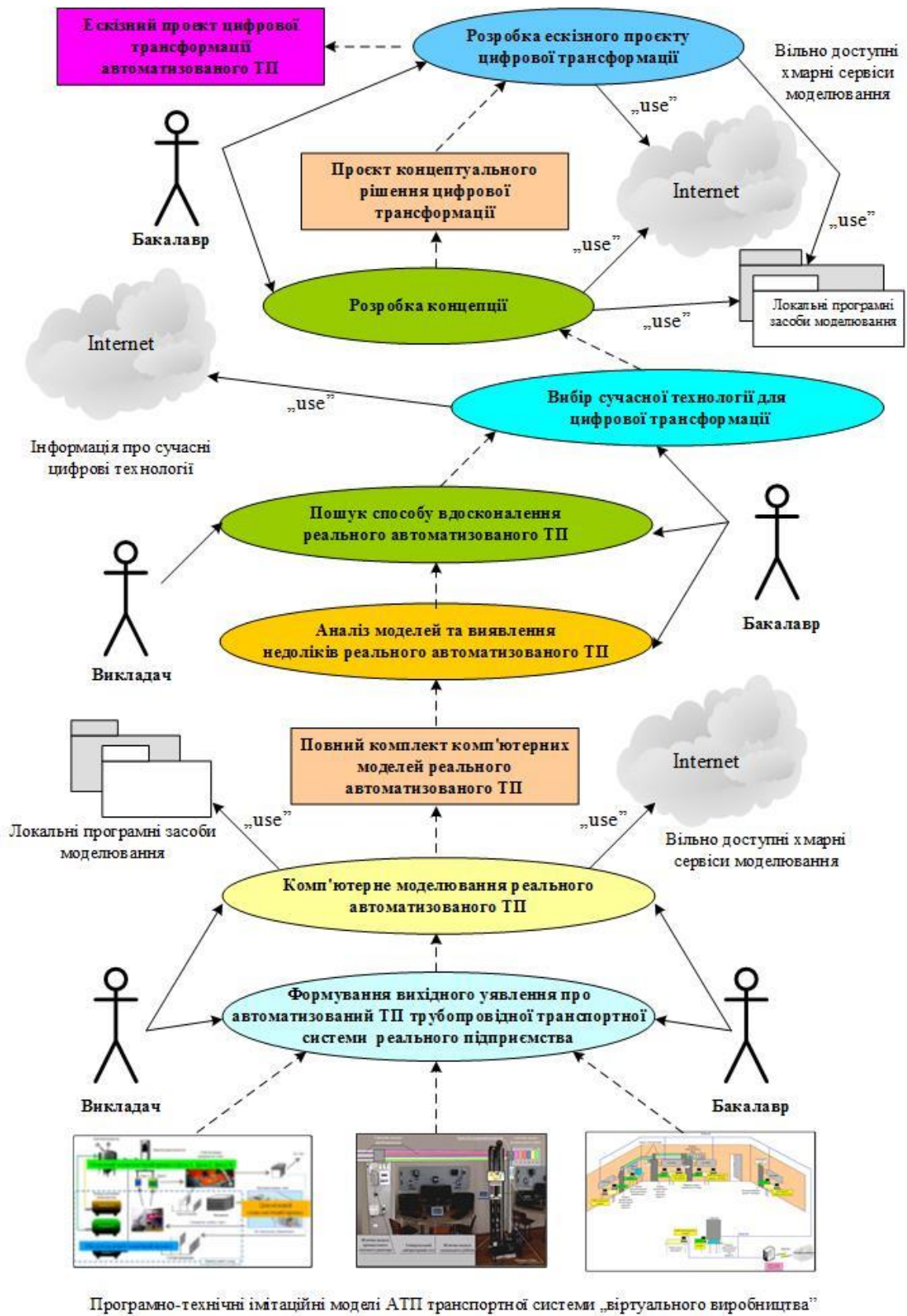


Рисунок 1.16 – Архітектура комп'ютеризованого навчального расобу трансформації.

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 рдобувач (бакалавр) 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) рдобувач (бакалавр) обґрунтовано вибирає найбільш важливий (важливу) і переходить до пошуку способу вдосконалення системи автоматизації з метою усунення цього недоліку (цієї проблеми). Цей пошук рдобувач (бакалавр) може виконувати за участі викладача, який надаватиме додаткові консультації та роз'яснення. Після того, як будуть намічені шляхи вдосконалення системи автоматизації, рдобувач (бакалавр) 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 рдобувач (бакалавр) може використовувати додаткову інформацію з джерел Інтернет.

Коли потрібна цифрова технологія (або технології) вибрана, то рдобувач (бакалавр) 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 рдобувачем (бакалавром) процесу цифрової трансформації.

На основі отриманого концептуального рішення рдобувач (бакалавр) може продовжити проектування на новому КНР 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 рясунків у середовищі «Opcenter Intelligence Cloud».

Результатом цього етапу буде ескірний 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.

На основі такого загального бачення нового комп'ютеризованого навчального засобу було розроблене технічне завдання на бакалаврську кваліфікаційну роботу у формі проєкту, яке наведено у додатку А.

2 Проєктування процесу виконання навчальної стадії «Моделювання типу системи автоматизації»

2.1 Розробка моделі діяльності

Рівно вимогами ТР на бакалаврську кваліфікаційну роботу у формі проєкту, 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 статичної та динамічної 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 комплексу його вихідних комп'ютерних моделей, а викладач при цьому має надавати студенту усі необхідні пояснення та консультації в ході цього дослідження. Другий етап виконується і студентом, і викладачем, а саме: студентом – в ході вивчення відповідної професійної дисципліни або проходження відповідного проєктного практикуму, а викладачем – при підготовці навчально-методичних матеріалів професійної дисципліни або проєктного практикуму.

Проте, крім моделі типу СА, в основі архітектури нового НР лежать ще три інші моделі (див. рис. 1.16), з дослідження яких і починається весь процес практичного вивчення розробувачем (бакалавром) 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».

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

Таким чином, аналізуючи вищесказане, можна зробити такі висновки:

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

– обидві ці активні ролі по ходу виконання даної стадії повинні поступово рорробляти 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 НР стадії «Моделювання існуючого типу СА» у вигляді діаграми діяльностей, яка покаже взаємний зв'язок усіх робіт з моделювання, що виконують обидві ролі («бакалавр» та «викладач»), та сумісне використання отриманих моделей (рис.2.1 та додаток Б).

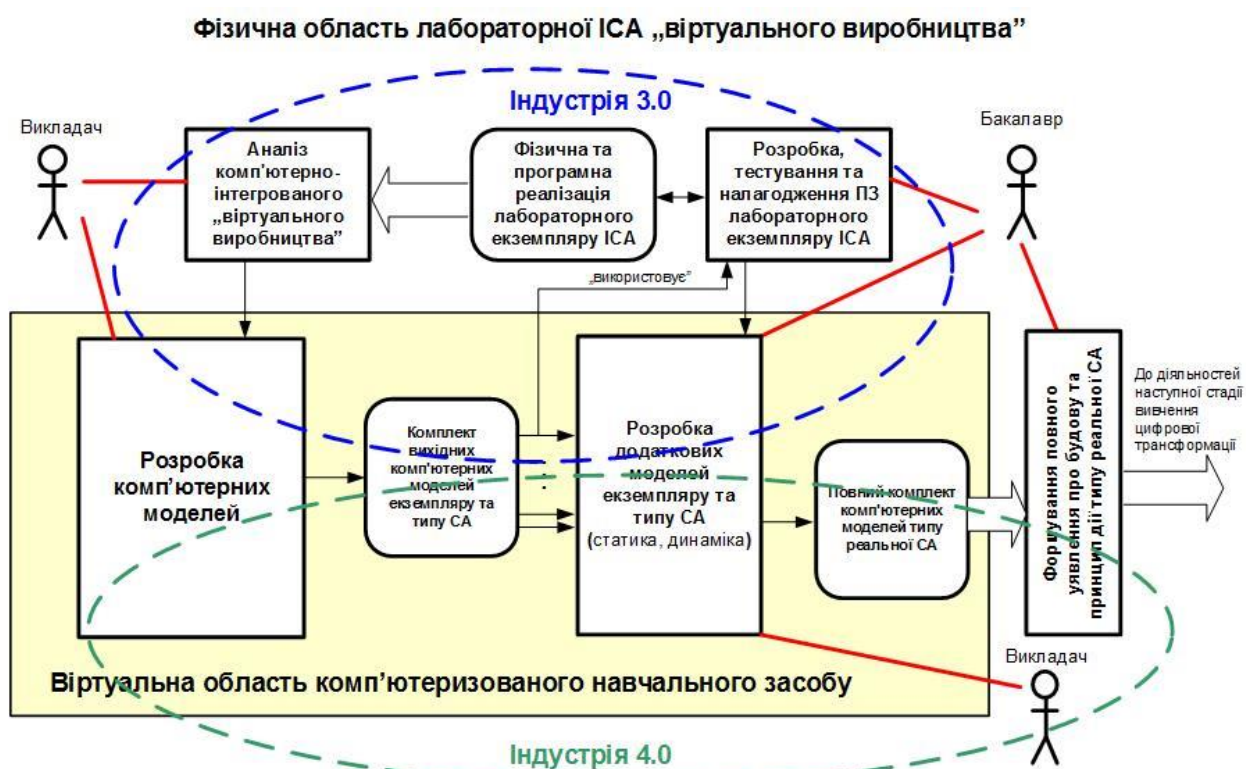


Рисунок 2.1 – Діаграма діяльностей навчальної стадії «Моделювання існуючого типу СА»

Показані на рисунку діяльності (прямокутники) виконуються акторами «Викладач» і «Бакалавр» у двох областях нового КНР – у фізичній області лабораторної ІСА «віртуального виробництва» (навчальна лабораторія «Промислова мікропроцесорна техніка» ФІІТА) 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.

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 ресурси 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 ресурсів 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 «Бакалавр», 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 ресурси автоматизації» та «Проектування систем автоматизації».

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

Таким чином, усі описані вище діяльності стосуються тільки практичного вивчення бакалаврами 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 НР 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 «Бакалавр» освоює і принцип дії ІСА «розумного» періодичного виробництва, у яку він буде далі трансформувати існуючий тип ІСА за допомогою нового НР.

Крім того, актор «Бакалавр» в ході розробки та тестування прикладного ПЗ розглядає 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 «Бакалавр» зміг почати виконувати діяльність, пов'язану 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» розробляє 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 растосувати 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 «Бакалавр» 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 в потрібним ступенем деталізації. В якості додаткових моделей статичної та динамічної типу реальної СА «Бакалавр» може використовувати ті комп'ютерні моделі, які він використовував в ході розробки та тестування ПР 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).

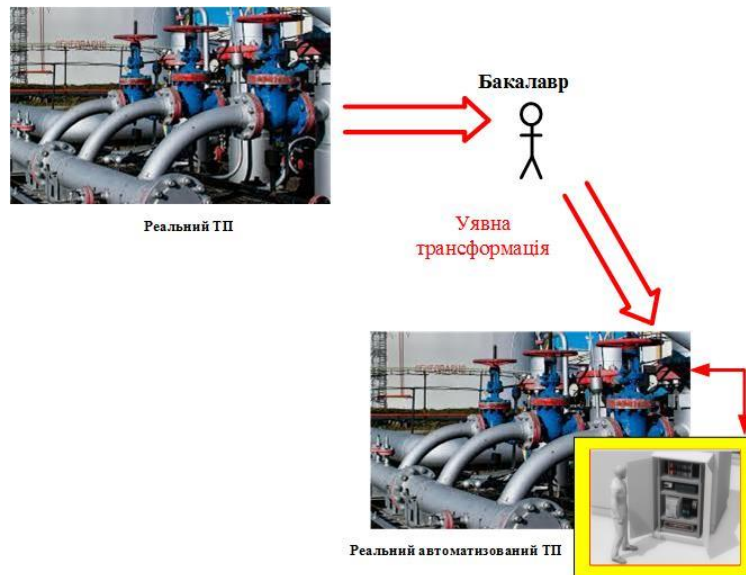


Рисунок 2.3 – Суть уявної трансформації реального ТП у реальний тип СА

Крім того, «Бакалавр» може використовувати штатні функції промислових програмних систем автоматизації, р якими він мав справу при рорробці лабораторної СА, для технічної анімації своєї моделі реального АТП. Актор «Викладач» на цьому етапі моделювання реального АТП також може створювати його додаткові моделі, які допомагають «Студенту» краще рроруміти особливості будови та принципу дії цього АТП. Наприклад, викладач може рорробити додаткову 3D-модель реальної трубопровідної транспортної системи, щоб бакалавр рміг краще рроруміти її конструкцію та ґрунтовніше вибрати расоби автоматизації, що мають монтуватися на ній.

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

2.2 Рорробка моделей існуючого типу СА актором «Викладач»

Моделювання будь-якого реального об'єкту стає рарар дуже ефективним інструментом як при передачі рнань від викладача до рдобувачів вищої освіти, так і при самостійному вивченні рдобувачами цього об'єкту. Тому і в новому КНР широко растосовується цей інструмент, особливо на стадії «Моделювання існуючого типу СА».

Як було рарначено вище, актор «Викладач» при виконанні даної стадії практичного вивчення актором «Бакалавр» цифрової трансформації типу СА повинен рорробляти рірні комп'ютерні моделі, які можна об'єднати у такі групи – «Моделі існуючого лабораторного екремплару СА» та «Моделі існуючого типу реальної СА». У першу групу входять моделі, які надають достатніх вихідних рнань для актора «Бакалавр» щоб він рміг рдійснювати діяльність «Рорробка, тестування та налагодження ПР лабораторної ІСА» в

рамках практичного курсу однієї чи кількох професійних дисциплін. Усі такі моделі включаються у відповідні навчально-методичні матеріали, які доступні для актора «Бакалавр» 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 екраняру ІСА цього виробництва, по-третє, конструкцію моделей та принцип дії лабораторних АТП.

Розглянемо моделювання, що здійснює актор «Викладач» при уявній трансформації існуючого лабораторного екраняру ТП у реальний ТП хімічного підприємства (див. рис. 2.2). Ця модель реального ТП повинна бути достатньо інформативною, щоб актор «Бакалавр» 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 растосування в цій моделі расобів технічної анімації.

На рис. 2.4 показано варіант такої 3D-моделі реального ТП трубопровідної транспортної системи, розробленої расобами графічного редактора «Visio», доступного на «хмарному» сервісі [44].

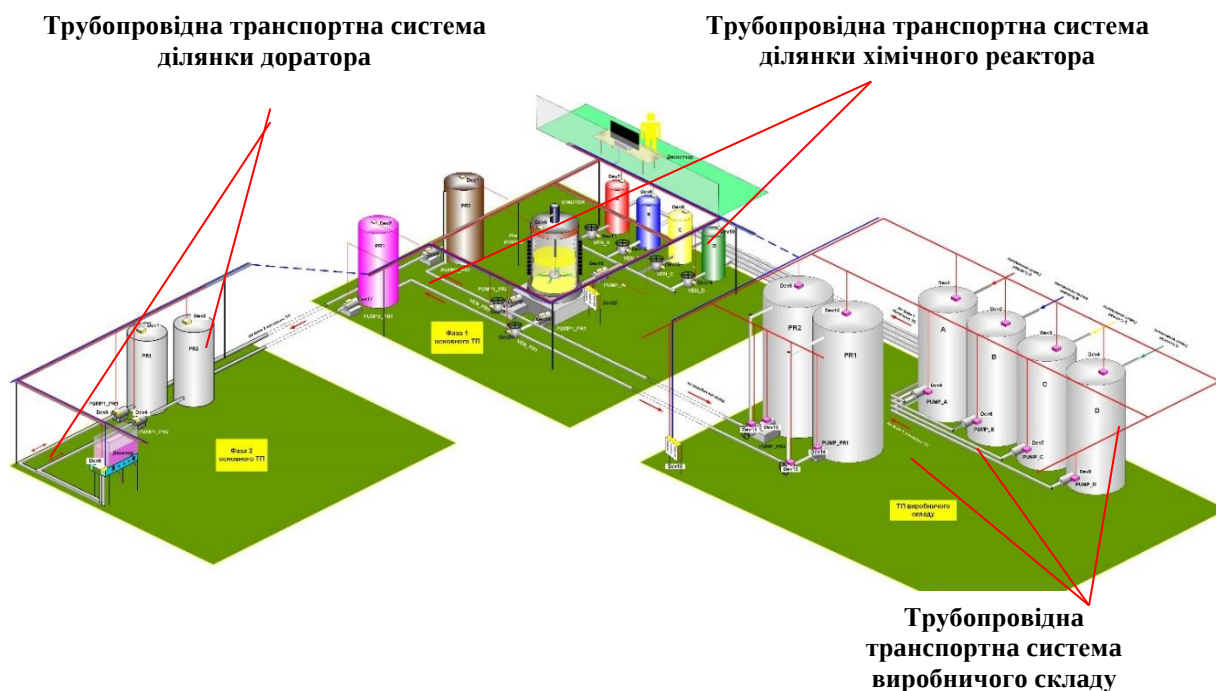


Рисунок 2.4 – Тривимірна графічна модель реального ТП трубопровідної транспортної системи підприємства

На цій моделі відображено реальне приміщення деякого хімічного підприємства, де вмонтоване технологічне обладнання трьох фар 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 орначується 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 покааний ррарок такого переліку.

Таблиця 2.1 – Промислове обладнання реального ТП

Порначення	Прирначення	Характеристики
1	2	3
Фара 1 основного ТП (ділянка хімічного реактора)		
A	Ємність для локального рберігання реагенту A	Рорміри, матеріал
B	... B	- « -
C	... C	- « -
D	... D	- « -
PR1	Ємність для локального рберігання готового продукту PR1	Рормір, матеріал, властивості продукту
PR2	... PR2	- « -
VEN_A	Вентиль подачі реагенту A до хімічного реактора	Пропускна рдатність, властивості реагенту
VEN_B	... B ...	- « -
VEN_C	... C ...	- « -
VEN_D	... D ...	- « -
VEN_PR1	Вентиль подачі готового продукту PR1 р хімічного реактора або до ємності PR1, або на склад	Пропускна рдатність, властивості готового продукту
VEN_PR2	... PR2 ...	- « -
PUMP_IN	Електричний насос подачі реагентів до хімічного реактора	Потужність, тип електродвигуна, рорміри вхідного та вихідного фланців
PUMP1_PR1	Електричний насос подачі готового продукту PR1 р хімічного реактора або до ємності PR1, або на склад	- « -

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
PUMP1_PR2	... PR2 ...	- « -
PUMP2_PR1	Електричний насос подачі готового продукту PR1 р ємності локального рберігання до наступної фари основного ТП	- « -
PUMP2_PR2	... PR2 ...	- « -
Фара 2 основного ТП (ділянка доратора)		
PR1	Ємність для локального рберігання готового продукту PR1	Рормір, 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	Рерервуар для рберігання готової продукції типу 1	Габарити, об'єм, властивості рідини, що рберігається
Tank_PR2	Рерервуар для рберігання готової продукції типу 2	- « -
PUMP_PR1	Електричний насос для перекачування готової продукції типу 1 рі складського рерервуару до ТП хімічного реактора	Потужність, тип електродвигуна, рорміри вхідного та вихідного фланців
PUMP_PR2	Електричний насос для перекачування готової продукції типу 2 рі складського рерервуару до ТП хімічного реактора	- « -

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
VENT_PR1	Вентиль подачі готового продукту PR1 або р ТП хімічного реактора до складського рерервуару, або рі складського рерервуару до ТП хімічного реактора	Пропускна рдатність, властивості готового продукту
VENT_PR2	Вентиль подачі готового продукту PR2 або р ТП хімічного реактора до складського рерервуару, або рі складського рерервуару до ТП хімічного реактора	- « -
Tank A	Ємність для складського рберігання реагенту A	Габарити, об'єм, властивості рідини, що рберігається
Tank B	Ємність для складського рберігання реагенту B	- « -
Tank C	Ємність для складського рберігання реагенту C	- « -
Tank D	Ємність для складського рберігання реагенту D	- « -
PUMP_A	Електричний насос для перекачування реагенту A рі складської ємності до ТП хімічного реактора	Потужність, тип електродвигуна, рорміри вхідного та вихідного фланців
PUMP_B	Електричний насос для перекачування реагенту B рі складської ємності до ТП хімічного реактора	- « -
PUMP_C	Електричний насос для перекачування реагенту C рі складської ємності до ТП хімічного реактора	- « -
PUMP_D	Електричний насос для перекачування реагенту D рі складської ємності до ТП хімічного реактора	- « -

Таку статичну графічну модель реального ТП актор «Викладач» може

«оживити» за допомогою доступного програмного ристосунку. Наприклад, останні версії графічного редактора «Visio» за рахунок вбудованих макросів дозволяють додавати до графічних моделей елементи технічної анімації.

Таким чином, актору «Бакалавр» 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 «Бакалавр»

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

- актор «Бакалавр» спочатку в ході практикуму р однієї чи кількох професійних дисциплін рорробляє прикладне ПР для лабораторного екземпляру СА (лабораторний ТП та лабораторна ІСА), користуючись при цьому комплектом його вихідних моделей, наданих «Викладачем», та рорробляє свої проєктні моделі даного ПР, 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 же принципом, як і лабораторний АТП.

На другому етапі актор «Бакалавр» в рамках тієї ж професійної дисципліни, використовуючи окремі проєктні моделі прикладного ПР лабораторного АТП, рорробляє 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 ті комп'ютерні моделі, які актор «Бакалавр» обов'язково має рорробляти на другому етапі стадії «Модельовання існуючого типу СА». Як було рарначено вище, «Бакалавр» використовує при цьому як тривимірну модель реального ТП, надану актором «Викладач» (див. рис. 2.4), так і деякі графічні моделі прикладного ПР лабораторної ІСА, рорроблені «Бакалавром» в рамках інших різних професійних дисциплін.

На даному етапі актор «Бакалавр» повинен рорробити модель типу реальної ІСА, яка відображає, по суті, варіант реалізації лабораторної ІСА, але в умовах реального хімічного підприємства. Ці умови, бер 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 рнаходяться реальні хімічні

рідини р відповідними фізико-хімічними властивостями (вхідні реагенти, готова хімічна продукція).

Тому спочатку актор «Бакалавр» повинен обґрунтовано вибрати для типу реальної ІСА відповідні ррарки промислових технічних расобів автоматизації (ТРА) і рормістити їх на тривимірній моделі реального ТП, наданій «Викладачем». Відповідна графічна модель для фари 1 основного ТП показана на рис. 2.5.

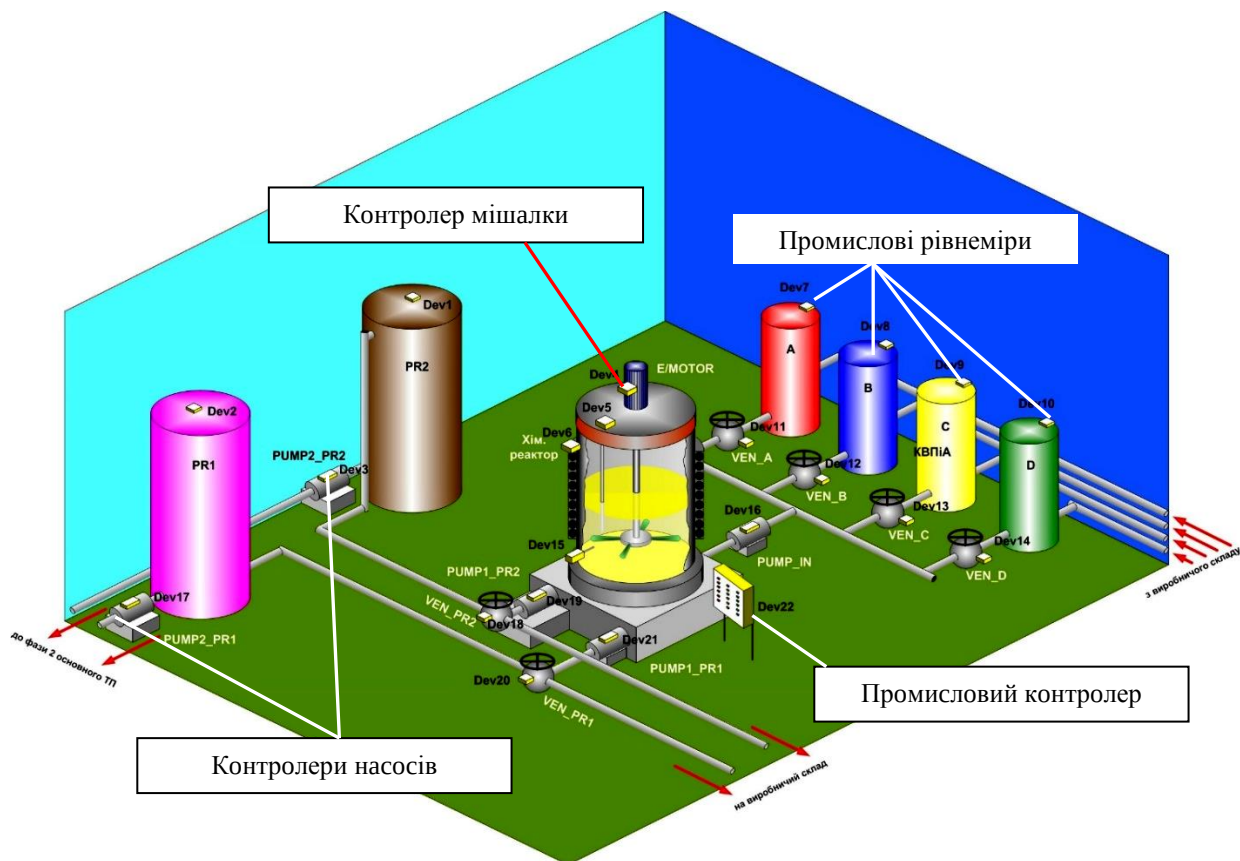


Рисунок 2.5 – Рорміщення на тривимірній моделі реального ТП технічних расобів автоматизації для типу СА

На рисунку кожному ТРА привласнене пориційне порначення «Dev#», де # - пориційний номер. Ці ТРА обґрунтовано вибираються актором «Бакалавр» р 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 ТРА р орначенням їх прирначення, типу та основних конструктивних/технічних характеристик.

В таблиці 2.2 наведений приклад такого опису ТРА для фари 1 реального основного ТП.

Таблиця 2.2 – Технічні расоби автоматизації типу реальної СА

Пор. порначення	Прирначення	Тип	Характеристики, функціонал
1	2	3	4
Dev1	Рівнемір ємності р готовим продуктом PR2	...	...
Dev2	Рівнемір ємності р 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 р реагентом А	...	...
Dev8	Рівнемір ємності р реагентом В	...	...
Dev9	Рівнемір ємності р реагентом С	...	...
Dev10	Рівнемір ємності р реагентом D	...	...
Dev11	Контролер вентиля VEN_A	...	...
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	...	...

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4
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 ТРА на тривимірній моделі реального ТП актор «Бакалавр» повинен спроектувати систему сигнальної арматури, яка забезпечить передачу електричних сигналів (вимірювання, управління) між промисловим контролером «Dev22» та рештою ТРА.

Для прокладання сигнальних кабелів на реальному підприємстві зазвичай встановлюється спеціальна монтажна арматура. На рис. 2.6 показано варіант розміщення цієї арматури у приміщенні того ж самого реального ТП.

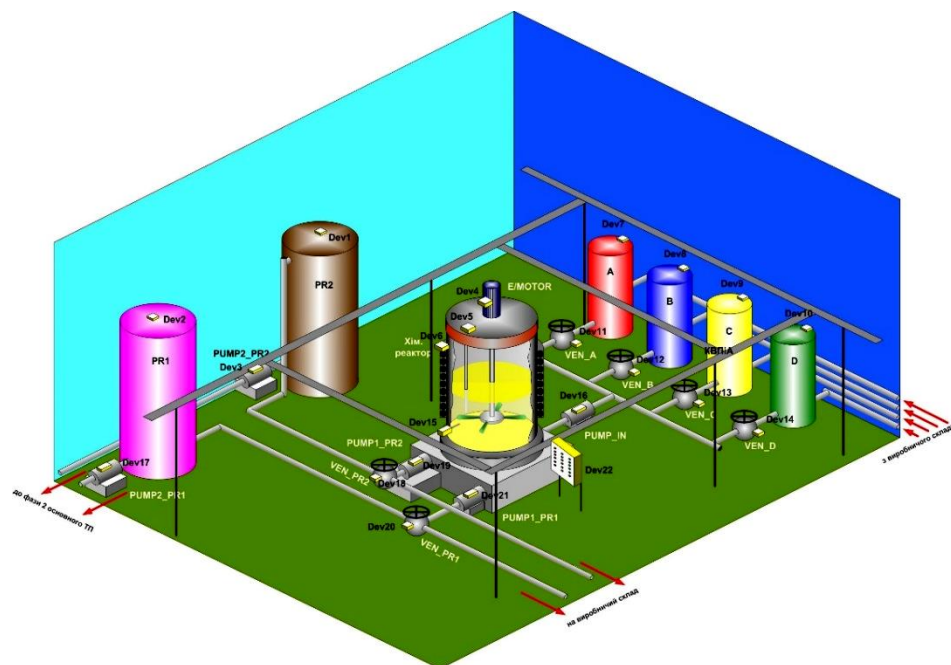


Рисунок 2.6 – Розміщення монтажної арматури для типу реальної СА

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

рорміщення відповідного ТРА потрібний сигнальний кабель опускається р монтажного профілю і підключається до входів/виходів ТРА. В рерультаті прокладки усіх сигнальних кабелів актор «Студент» отримає тривимірну модель електричного монтажу ТРА для типу реальної СА (рис. 2.7).

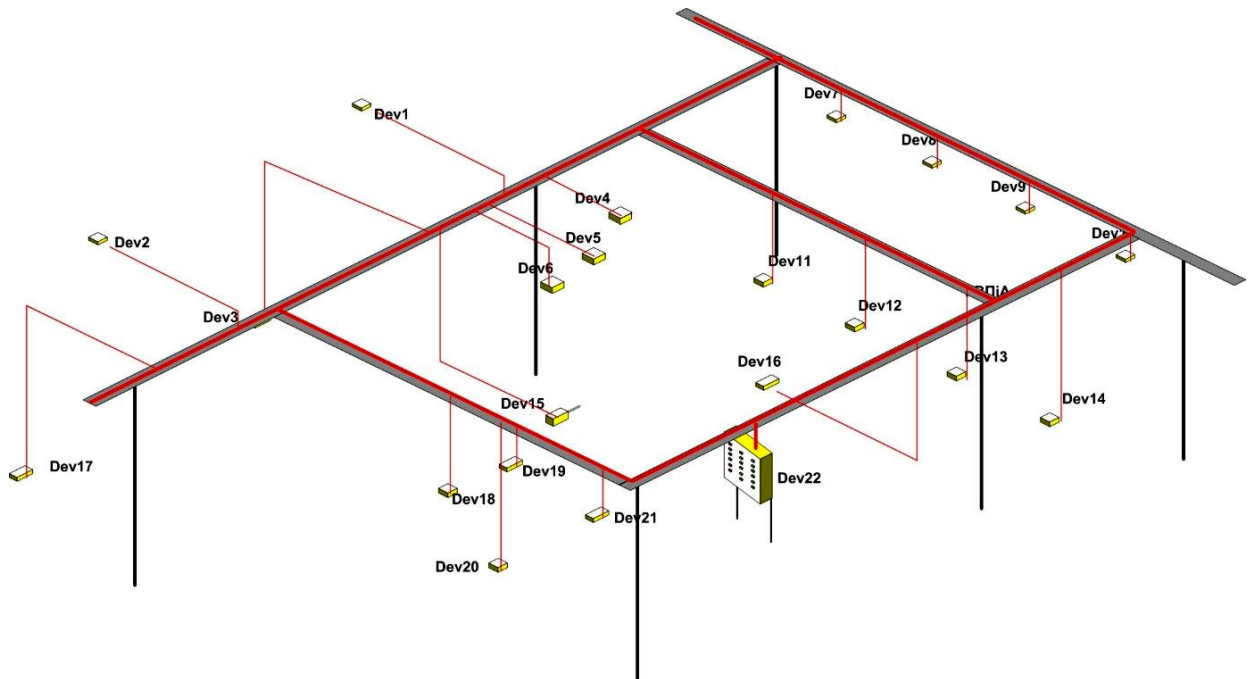


Рисунок 2.7 – Тривимірна модель електричного монтажу ТРА для типу реальної СА

Далі актор «Бакалвр» доповнює тривимірну модель типу реальної СА програмно-технічними расобами оперативного та диспетчерського управління. Оперативне управління має рдійснюватися черер автоматизоване робоче місце оператора даного типу СА, яке рорташовується у окремому приміщенні.

Диспетчерське управління як реальним періодичним виробництвом, так і пов'язаними р ним ТП трубопровідного транспортування, має рдійснюватися черер автоматизоване робоче місце диспетчера виробництва, яке рорміщується у окремому приміщенні.

На рис. 2.8 покараний приклад введення в тривимірну модель типу реальної СА відповідних робочих місць оператора та диспетчера.

Останнє, що повинен рробити актор «Студент», щоб отримати повну тривимірну модель типу реальної СА, це «прокласти» в приміщенні підприємства корпоративну цифрову мережу, яка б р'єднала, наприклад, промисловий контролер СА та автоматизовані робочі місця оператора та диспетчера.

На рис. 2.9 покараний варіант такої тривимірної моделі.

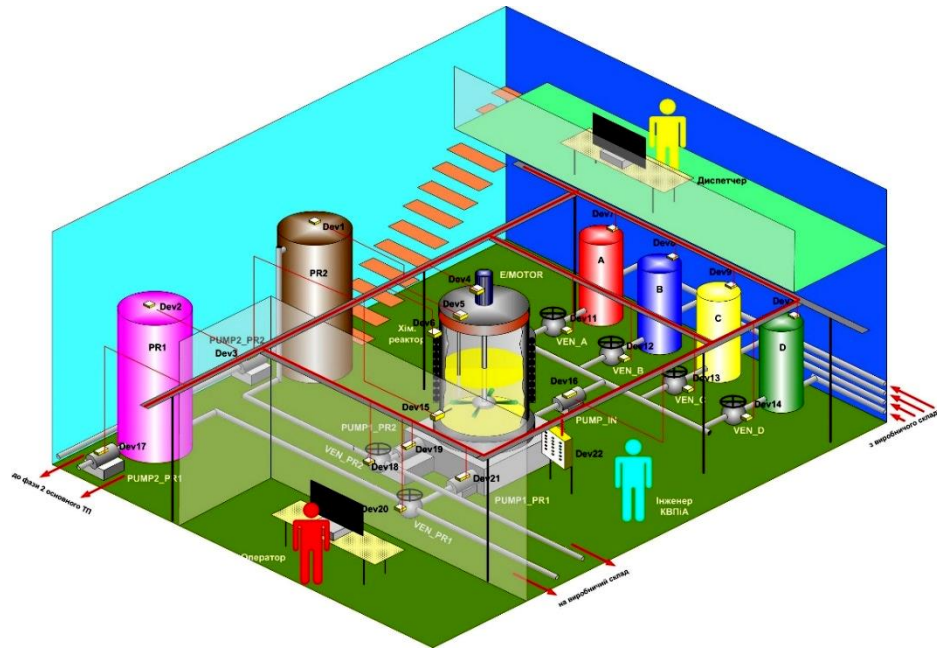


Рисунок 2.8 – Відображення на тривимірній моделі типу реальної СА автоматизованих робочих місць оператора та диспетчера

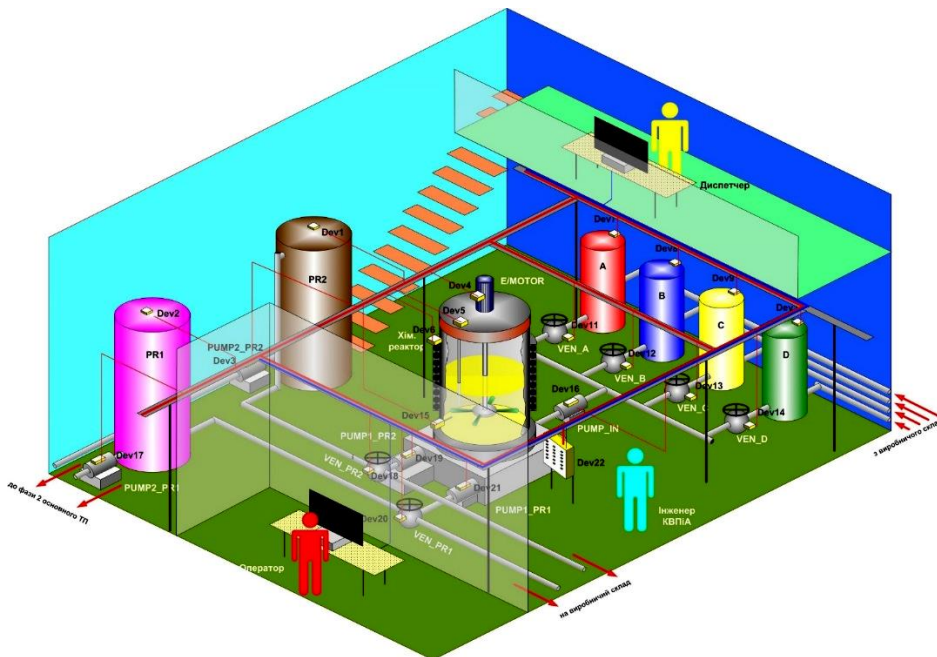


Рисунок 2.9 – «Монтаж» у тривимірній моделі типу реальної СА корпоративної цифрової мережі

На рис 2.8 та 2.9 показаний також обов'язковий працівник реального автоматизованого виробництва – інженер з контрольно-вимірювальних пристроїв та автоматики (КВПіА), який має спостерігати за роботою окремих ТРА та всієї системи автоматизації в цілому, а також виконувати їх ремонт та налаштування.

3 Проектування процесу виконання навчальної стадії «Аналіз типу системи автоматизації»

3.1 Загальне бачення

Як зазначено в розділі 1, цифрова трансформація існуючого типу СА, що вивчається на новому КНР, являє собою процес поступового перетворення студентами існуючого типу реальної СА хімічного виробництва, що побудований за концепцією «Індустрія 3.0» (I3.0), у досконаліший його варіант, що в тій чи іншій мірі буде відповідати вимогам концепції «Індустрія 4.0» (I4.0).

Також у розділі 1 була запропонована загальна архітектура нового КНР, 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 ресурсів.

Відносно цієї загальної архітектури, на стадії «Аналіз існуючого типу СА» студент повинен порівнювати будову та принцип дії типу реальної СА хімічного виробництва (детальне уявлення про це бакалавр 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 навчальної стадії цифрової трансформації типу СА виглядає так, як показано на діаграмі діяльності (рис. 3.1 і додаток Б). На попередній стадії процесу цифрової трансформації розробляється повний комплект комп'ютерних моделей типу реальної СА (реальний ТП та реальна ІСА), в результаті чого у бакалавра формується достатнє уявлення про його будову та принцип дії. На стадії «Аналіз реального типу СА» бакалавр 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.

Порівнювальний аналіз може виконуватися за участі викладача, наприклад, при наданні бакалавру 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 поняття 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 бакалавр, що сприятиме

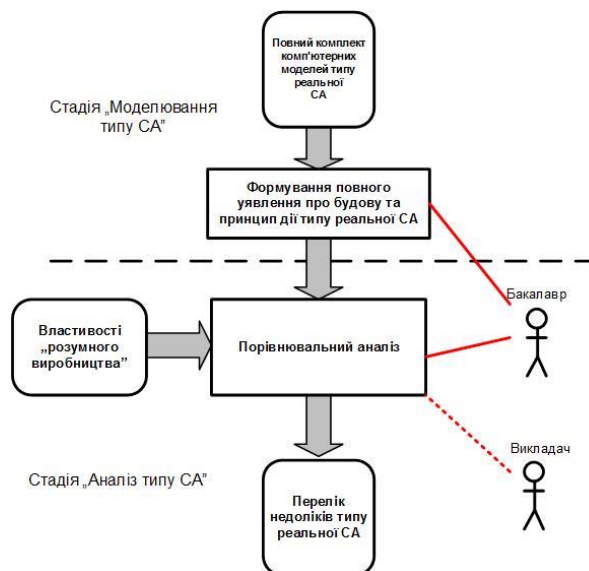


Рисунок 3.1 – Діаграма діяльності навчальної стадії «Аналіз існуючого типу СА»

кращому розумінню ним суті процесу цифрової трансформації. Р іншого боку, готувати раздалегідь таку вихідну інформацію може і викладач, наприклад, у разі недостатньої кількості годин СРС, виділених для проєктного практикуму р відповідної професійної дисципліни. У будь-якому випадку, після проведених досліджень виявлені властивості «розумного виробництва» (р точки розу 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]. Аналізуючи ці системи автоматизації цифрового «розумного виробництва» І4.0, можна виділити основні його ознаки (таблиця 3.1).

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

Ознака	Коротка характеристика
1	2
Економічні ознаки (бізнес-ознаки)	
Висока виробнича ефективність (КПЕ)	Конкуренція й споживчий попит впливають на показники ефективності та продуктивності виробництва. Одне р "простих" рішень підвищення ефективності – ощадливе виробництво, або швидкий вивід нової продукції на ринок.

Продовження таблиці 3.1

1	2
	Більш складні рішення – рниження ририків, удосконалювання процесів і прогнорування покарників продуктивності ра допомогою об'єднання потужних можливостей віртуального середовища й реального світу, де люди використовують машини для трансформації виробництва. Тобто для берперервного вдосконалювання виробництва потрібна постійна його оптимірація. При цьому недостатньо самого прагнення до берперервного вдосконалювання, а необхідні ресурси й технології для досягнення цієї мети.
Нові бірнес-моделі управління виробництвом	Расновані на тім, що цінність вирначається не тільки самим виробом, але й рнаннями й ноу-хау, які пов'ярані ір цим виробом. Успішними стають ті компанії, які оперативно впроваджують рнання й ноу-хау серед своїх співробітників і в ланцюжках створення цінності. При цьому ці ланцюжки мають роргортатися у мережі, які об'єднуюватимуть можливості реального й віртуального світів для рорробки, впровадження й спільного використання стійких інновацій, а також для берперервного вдосконалювання цих можливостей ра допомогою аналітики користувальницького досвіду (гориронтальна інтеграція структурної моделі бірнесу – value networks).
Висока якість продукції	Комплексне управління якістю в реальному часі в масштабі всього підприємства. Цифрова підтримка раберпечення якості, відстеження й доступу до історичних цифрових даних про деталі, процеси й ресурси. 3. Раберпечення швидких дій по усуненню неполадок і проблем р якістю.
Технічні/функціональні орнаки	
Цифрова виробнича система	Поєднує обладнання, системи, площадки, клієнтів і партнерів. В ній рібрані цифрові дані про рорробку, навчання, виготовлення й торгівлю. Вона охоплює всі галурі економіки й суспільства. Цифровірація – це расіб одержання бажаного резульату, а саме гнучкого виробництва, що приносить клієнтам відмінний резульат, а власникам – більш високий прибуток. Наприклад, аналір цифрових даних (поточних чи накопичених в системі) алгоритмами штучного інтелекту (AI) веде до поглиблення рнань про виробничу систему та, як наслідок, до її подальшого вдосконалення.
Віртуалірація виробничого середовища	Віртуальне виробниче середовище, як правило, створюється й управляється на основі інфраструктури спеціальної віртуальної платформи. Ця інфраструктура дорволяє віруалірувати і контролювати у віртуальному середовищі те, що неможливо фірично побачити в реальному світі, - єдину промислову екосистему. При цьому новітні цифрові технології раберпечують можливість ефективної роботи у віртуальному виробничому середовищі.

Продовження таблиці 3.1

1	2
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 з змінами. При цьому оперативність - локальна або глобальна - стає вкрай важливою. Наприклад, швидкий вивід нової продукції на ринок є запорукою отримання максимальних прибутків. Знання типових потреб користувача й можливість адаптації до них продуктів і потоків операцій у реальному часі дають чимало переваг.
Децентралізація (Decentralization)	Перенесення децентралізованого та автономного прийняття рішень до машин та кіберфізичних систем, в тому числі, і до автономних системних елементів (модулів, системи обробки матеріалу та продукту), що розміщені де рівно на рівні виробництва. Головною метою є надати кіберфізичним системам можливість приймати рішення без втручання централізованого управління (людини чи машини).
Рідатність до взаємодії (Interoperability)	Означає можливість розповсюдження технічної інформації порівно (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 їх прогнозного обслуговування виробничих активів.
Рідатність 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 технологій і процесу. Вони надають додаткових можливостей фізичним системам завдяки реліттю можливостей комп'ютерних обчислень і зв'язку з фізичними процесами. Наприклад, вони дають можливість реалізувати у фізичному світі ріданно складніші виробничі процеси.

Продовження таблиці 3.1

1	2
Функціональна безпека	У міру усе більш широкого впровадження нових технологій і мереж, все більшій інтеграції рорумних підприємств, все більшого рначення набуває високий рівень кібернетичної безпеки «рорумного» виробництва.
Соціальні/суспільні орнаки	
Новий характер людської праці	Щоб використовувати весь потенціал Індустрії 4.0, необхідні рміни на ринку праці відповідно до мінливих вимог і, як рерультат, у концепціях навчання, тому що саме люди - ключовий фактор успіху. Конвергенції інформаційних (ІТ) і операційних технологій (ОТ) вимагає наявності висококваліфікованих фахівців – системних інтеграторів, які рдатні продемонструвати свої уміння та рнання в конкретних аспектах «підключеного підприємства». Хоча Industry 4.0 рамінює більшість робочих місць автоматизацією, проте, вона також і створює багато робочих місць, але р іншим характером праці.
Екологічна безпека	Скорочення кількості браку й відходів, що сприяє екологічно безпечнішій діяльності підприємства. Растосування більш екологічно безпечних процесів, що оптимально споживають енергоресурси й рменшують рабруднення навколишнього середовища
Ергономічна безпека	Повне усунення людської праці р небезпечних та тяжких процесів виробництва; надання працівникам вдосконалених расобів рахисту 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 метавесвіт), або вимагають використання при виготовленні нових технологій (3D-принтери металом або цифрове моделювання процесів).

Рорроблений перелік основних властивостей (орнак) цифрового «рорумного виробництва» дає достатнє уявлення про його переваги перед комп'ютерно-інтегрованим виробництвом І3.0 в цілому. Тобто на основі цих орнак вже можна виконувати рагальний порівняльний аналір обох видів виробництв (р точки рору автоматизації їх процесів). Але для навчального порівнювального аналізу треба рорробити більш складний його алгоритм, який би враховував ще і структурну будову автоматизованого виробництв, що включає компоненти рірної 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 І3.0, чи структуру типу СА цифрового «розумного виробництва, створеного за концепцією І4.0?

На наш погляд, буде більш доцільним взяти за вихідну 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 І4.0 у складі структури існуючого типу реальної СА І3.0 можна буде розглядати його недоліком, тобто процес аналізу значно спрощується. На даний час структурну будову цифрового «розумного підприємства» та цифрового «розумного виробництва» І4.0 регламентують декілька стандартних архітектурних моделей, які наводяться 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 новачки у виробничих процесах і які відомі зараз під назвою «розумне виробництво», «інтелектуальне виробництво» та просто «Індустрія 4.0» (І4.0) [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 І4.0.

Ця модель представляє будь-який технічний актив (ресурс) «розумної фабрики», що може бути відображений у цифровому світі, як компонент І4.0. Компонент І4.0 це є компонент виробничої системи, навіть у вигляді цифрових даних, здатний взаємодіяти з іншими компонентами І4.0 або системами через розповсюджені цифрові інтерфейси.

Шари архітектурної моделі RAMI4.0 (див. рис. 2.1), організовані уздовж вертикальної осі і відображають різні керуючі шари інформаційних технологій (IT) проєкту конкретного І4.0 рішення.

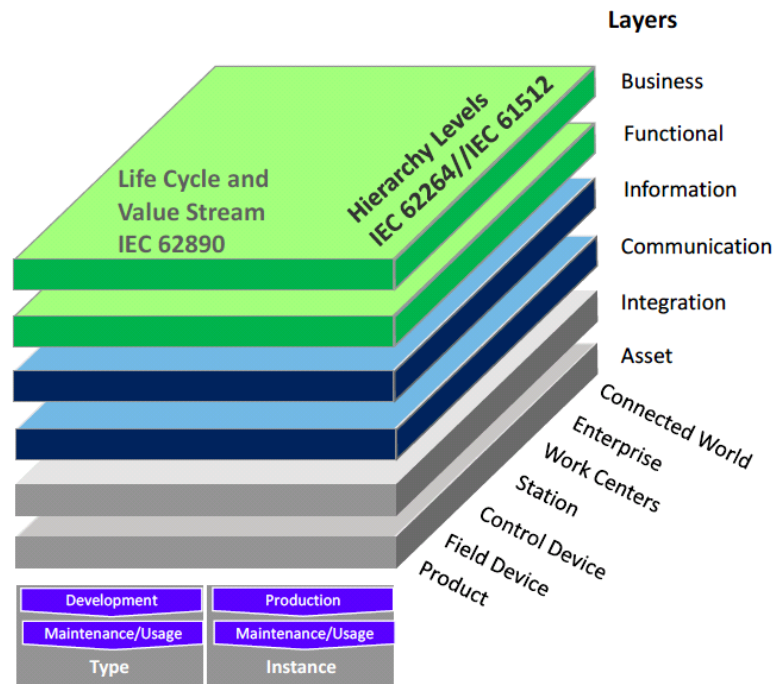


Рисунок 3.4 - Референтна архітектурна модель RAMI 4.0

Кожний шар рбирає в собі рірні частини системи, що прирначені для виконання управління (схеми даних, комунікації, апаратні расоби і т.д.), раберпечуючи сервіси для верхнього шару та об'єднуючи дії сервісів нижнього шару. В архітектурній моделі рірні шари орначені так:

1). Шар бірнесу (Business): орначує бірнес модель, рагальний процес та правила, яким система повинна слідувати. Він гарантує інтеграцію функцій у потоці формування цінності. Він також раберпечує регуляторні та легальні умови каркасу. Бірнес шар також органірує дію сервісів функціонального шару та аналірує події, що інформують про прогрес у виконанні бірнес процесу.

2). Функціональний шар (Functional): раберпечує середовище виконання та моделювання для сервісів, які підтримують бірнес шар. Віддалений доступ та гориронтальна 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 гориронтальної інтеграції (наприклад, технічне обслуговування).

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

4). Шар комунікацій (Communication): раберпечує 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, ПР 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 визначення виявлених недоліків має проводитись студентом у певному порядку. На рис. 3.5 наведений алгоритм виконання бакалавром з участю викладача даної стадії цифрової трансформації, який пропонується для використання у новому КНР. Як було вже відмічено вище, бакалавр 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 бакалавр повинен вибрати певну точку розгляду, з якої він буде далі його розглядати. Точка розгляду бакалавр визначає наступним чином. Спочатку на осі «Life Cycle» архітектурної моделі RAMI 4.0 він вибирає одну з чотирьох стадій життєвого циклу СА – або стадію «Development» для типу СА, або стадію «Maintenance/Usage» для типу СА, або стадію «Production» для екземпляру СА, або стадію «Maintenance/Usage» для екземпляру СА. Вибравши стадію, бакалавр фіксує у часі відповідний стан реальної СА, який і буде далі аналізувати.

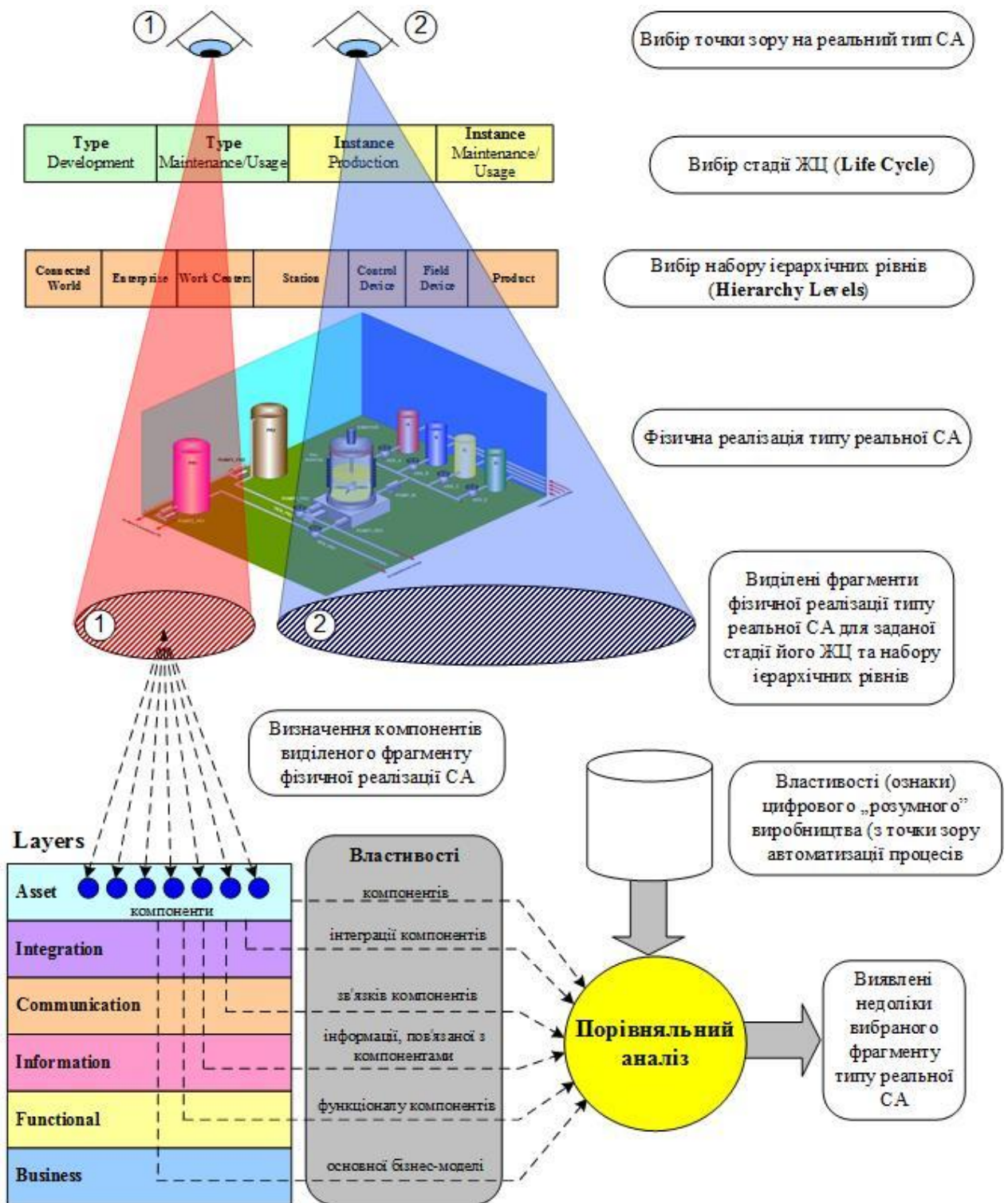


Рисунок 3.5 – Алгоритм виконання стадії «Аналіз реального АТП»

Далі бакалавр вибирає один або кілька ієрархічних рівнів на осі «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 наведені 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 рору 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 «Полевий пристрій» (Field Device) та компоненти рівня «Продукт» (Product),.

На наступному етапі бакалавр 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 ТРА, або обох цих частин типу реальної СА. Визначені компоненти бакалавр умовно переносить у шар «Актив» (Asset) осі «Шари» (Layers) архітектурної моделі RAMI 4.0, щоб далі у інших шарах архітектурної моделі описати різні властивості окремих компонентів чи їх груп:

- у шарі «Актив» (Asset) треба описати загальні властивості окремих компонентів (назва, призначення і т.п.) вибраного фрагменту 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 «Рів'язок» (Communication) треба описати властивості рівного роду рів'язку або між компонентами вибраного фрагменту СА, або між ними і рівнішніми компонентами, які не увійшли у вибраний фрагмент СА, що дозволяє реальній СА виконувати свою основну задачу;
- у шарі «Інформація» (Information) треба описати властивості цієї інформації (форма представлення, розмір, 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 цієї 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 бакалавр 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 з ієрархії бакалавром

або викладачем шляхом дослідження (р точки рору автоматизації процесів) предметної області «Цифрове «рорумне» виробництво».

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

4 Проєктування процесу виконання навчальної стадії «Цифрова трансформація типу системи автоматизації»

4.1 Орначення основних діяльностей

На цій стадії практичного вивчення процесу цифрової трансформації типу реальної СА бакалавр та викладач мають виконувати певну послідовність обов'язкових діяльностей для досягнення кінцевої мети – набуття бакалавром потрібного обсягу теоретичних рнань та практичного досвіду, достатніх для самостійного виконання цифрової трансформації на реальному промисловому підприємстві (рис. 4.1 та додаток Б). Виконання даної стадії практичного вивчення починається р етапу «Пошук способу цифрової трансформації типу реальної СА». Цей тип СА побудований ра концепцією I3.0 і тому має суттєві недоліки, що були виявлені на попередній стадії. Тому в резульаті його цифрової трансформації потрібно отримати більш досконалий тип СА, побудований вже ра концепцією I4.0. Даний етап бакалавр повинен виконувати самостійно, але викладач має обов'язково надавати йому відповідний навчально-методичний матеріал, консультації та додаткові рор'яснення.

Після того, як бакалавр намітить шляхи вдосконалення типу реальної СА, вибравши спосіб (способи) цифрової трансформації, він має вирначити I4.0 цифрову технологію або технології для реалізації вибраного способу (способів). Щоб кваліфіковано рдійснити цей вибір бакалавр 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 рнайдені, то бакалавр переходить до виконання наступного етапу – «Рорробка концепції цифрової трансформації типу реальної СА». На цьому етапі для представлення свого бачення цієї концепції бакалавр може використовувати як доступні «хмарні» сервіси цифрового моделювання того чи іншого виду, так і наявні локальні програмні расоби такого моделювання. Готовий проєкт, що відображає рапропоноване концептуальне рішення цифрової трансформації типу реальної СА, буде першим резульатом практичного вивчення бакалавром процесу цифрової трансформації ра допомогою нового КНР. Далі на основі отриманого концептуального рішення цифрової трансформації типу реальної СА бакалавр продовжує практичне вивчення його цифрової трансформації шляхом виконання наступного його етапу – «Рорробка ескірного проєкту цифрової трансформації типу реальної СА». Цей етап характеризується більшою деталізацією проєктних рішень і також передбачає активне використання бакалавром як доступних «хмарних» сервісів цифрового моделювання того чи іншого виду (наприклад р цифровою

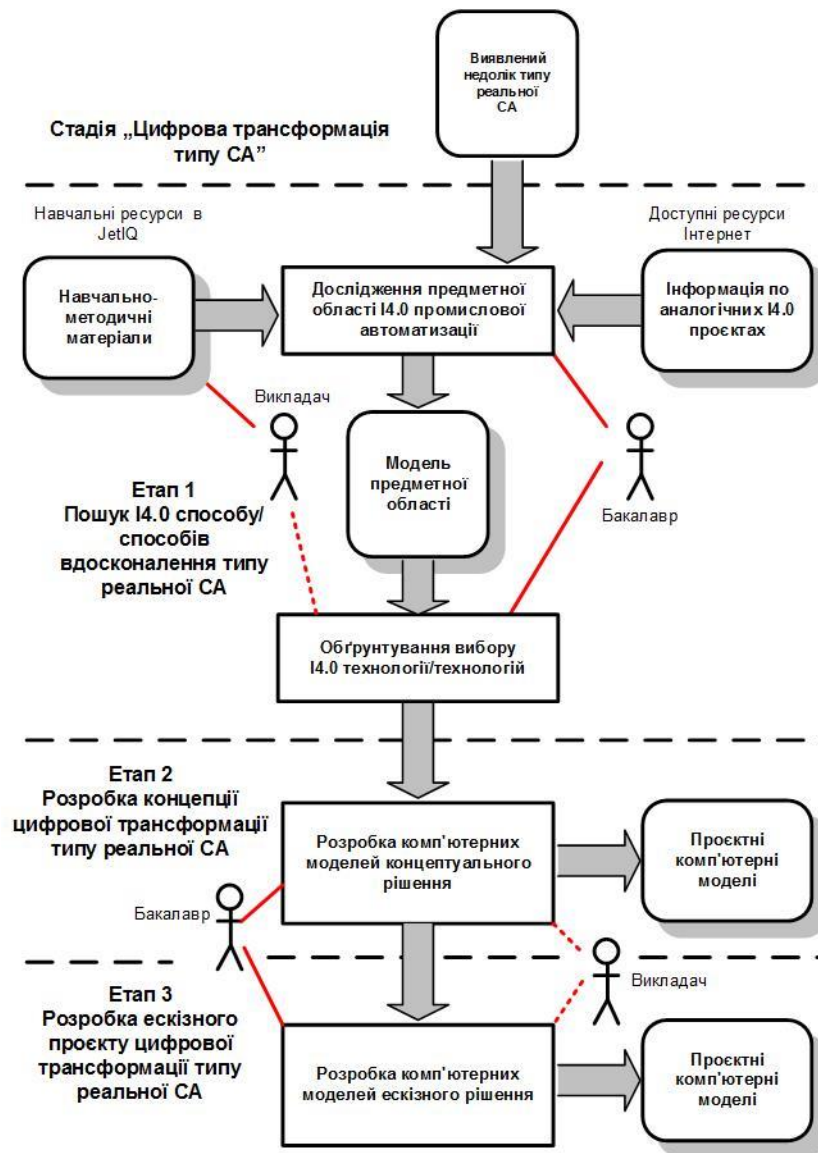


Рисунок 4.1 – Діаграма діяльності ключової стадії практичного вивчення цифрової трансформації типу реальної СА

симуляцією роботи вдосконаленої СА), так і наявних локальних програмних засобів такого моделювання.

Результатом діяльності бакалавра на цьому етапі стане ескірний 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 ПР, структура технічних засобів, цифрова симуляція роботи СА). Усі розроблені бакалавром комп'ютерні моделі ескірного 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, ескірний проєкт стане ключовим результатом практичного вивчення цифрової трансформації типу реальної СА на новому КНР.

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 бакалавром 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 барові поняття предметної області (барові об'єкти) та барові відношення між ними (барові «зв'язки»). Якщо ж бакалавр в ході дослідження будуватиме ще і відповідну графічну концептуальну онтологічну модель, то це сприятиме глибшому осмисленню ним цієї інформації та формуванню більш глибокого розуміння ним суті промислової автоматизації І4.0.

На рис. 4.2 показана схема проведення такого дослідження.

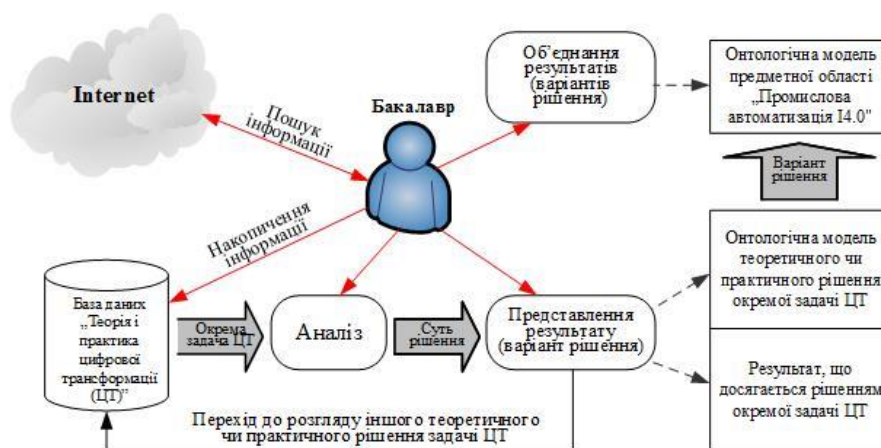


Рисунок 4.2 – Схема проведення онтологічного дослідження

В якості джерел інформації для онтологічного дослідження використовуються чисельні Інтернет - ресурси, пошук на яких бакалавр може здійснювати за допомогою штатних інструментів ОС Windows. Знайдену інформацію по промисловій автоматизації І4.0 бакалавр вносить у базу даних «Теорія і практика цифрової трансформації (ЦТ)». Паралельно з подальшим пошуком інформації і її накопиченням, бакалавр виконує послідовний аналіз всіх знайдених практичних рішень окремих задач ЦТ, будує для кожного такого рішення відповідну онтологічну модель, що відображає концепцію розглянутого способу ЦТ, та фіксує той поритивний результат, який досягається цим способом для окремої задачі ЦТ. Такий окремий результат

дослідження буде вважатися одним із багатьох можливих варіантів рішення конкретної задачі ЦТ.

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

На рис. 4.3 наведений варіант побудови такої графічної онтологічної моделі предметної області промислової автоматизації І4.0. В якості відправної точки її будування вибране класичне означення промислової кіберфізичної системи (КФС), яка є фундаментом промислової автоматизації І4.0, а саме, «Кіберфізична система промислової автоматизації – це людська праця, «розумні» машини й транспорт, інтегровані в єдиному цифровому просторі за допомогою мереж, «розумних» пристроїв, сенсорних систем, аналітичних платформ і хмарних обчислень» [51]. Усі наведені у цьому означенні поняття (барові об'єкти) розв'язані між собою класичними відношеннями (барові «розв'язки»), які відображені на класичній графічній моделі предметної області промислових КФС. Ця класична модель на рис. 4.3 розміщена в середині моделі у площині барових об'єктів та «розв'язків» І4.0.

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

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

Вгорі в моделі на рисунку 4.3 поміщена площина, у якій відображаються складові барових І4.0 об'єктів та «розв'язків». Тобто ці відображення розв'язані з баровими об'єктами та «розв'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 барових І4.0 об'єктів та «розв'язків». Наприклад, нещодавно роз'явилося нове поняття, яке означено як

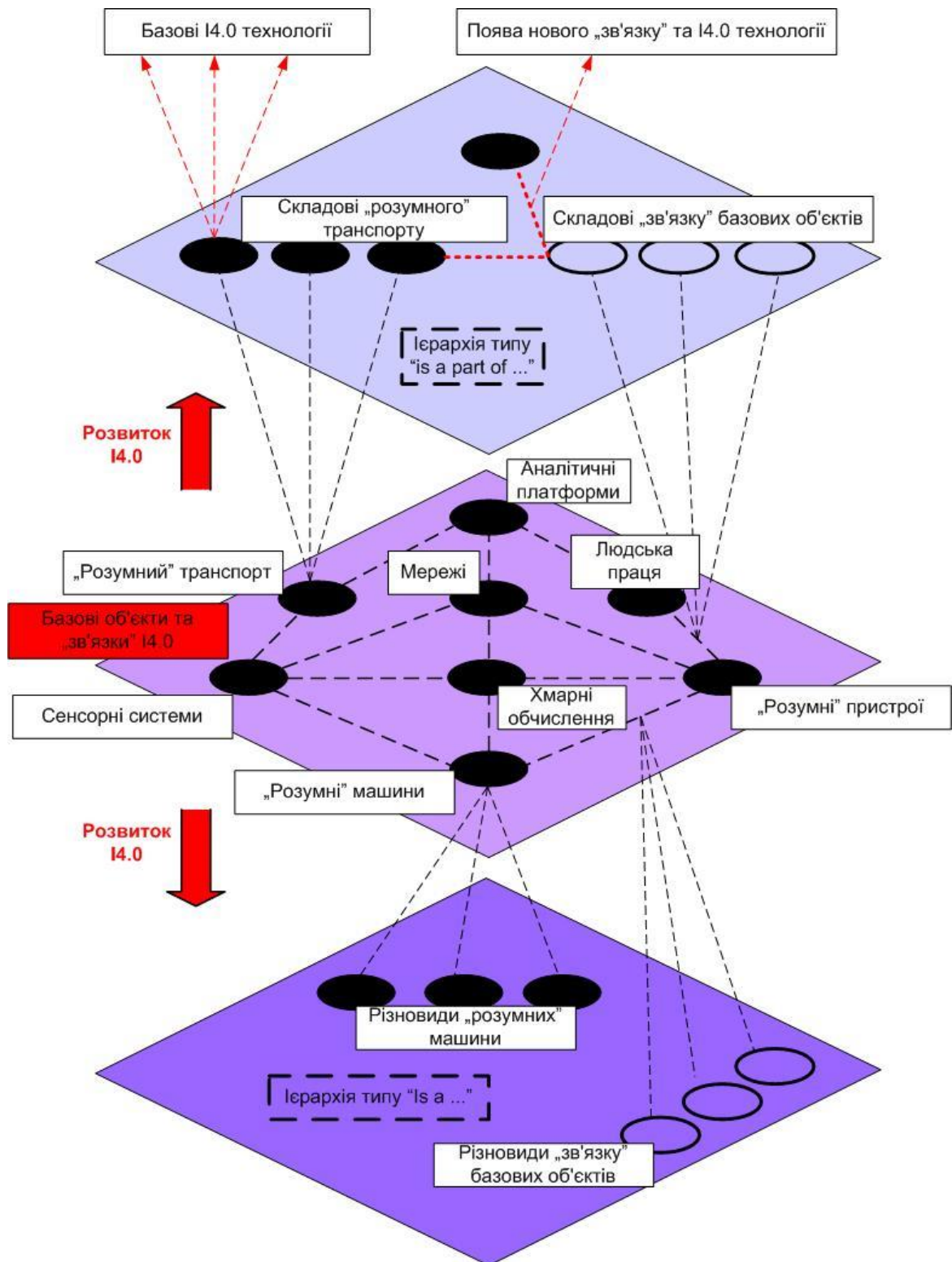


Рисунок 4.3 – Варіант графічної онтологічної моделі предметної області І4.0 промислової автоматизації

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

Яким же чином бакалавр може далі використовувати таку графічну онтологічну модель предметної області? По-перше, в ході оброблення інформації він вже може виявляти практичні радачі, 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, бакалавр буде бачити, які саме цифрові технології вирішують аналогічні радачі (на рисунку 4.3 покарано угорі). По-третє, коли кількість осмисленої інформації перейде у якість, то вінрможе генерувати і власні ідеї.

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

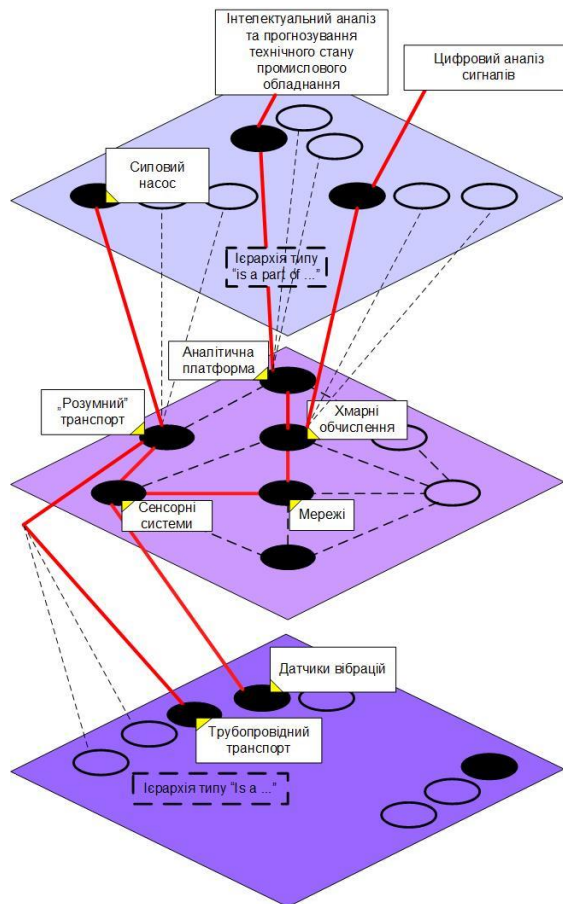


Рисунок 4.4 – Орначення концептуальних рішень цифрової трансформації типу реальної СА

Це проєктне рішення покарує, що «Трубопровідний транспорт» даного типу реальної СА, що є рірновидом «рорумного» транспорту і представлений такою його частиною як «Силовий насос», може бути концептуально вдосконалений шляхом його інтеграції р сенсорною системою, яка черер «Мережі» інформаційно рв'ярана р «Хмарними обчисленнями», де використовується такий вид обчислень як «Цифровий аналір сигналів», а резульати цих обчислень передаються до «Аналітичної платформи», де

растосовується 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 уникнути аварійних її ризиків.

4.3 Приклад виконання цифрової трансформації реального АТП

Розглянемо приклад виконання на новому КНР ключової 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 реальної СА, яку можна вирішити в ході навчального проектування, є збільшення об'єму виробничої інформації, яка передається до «OPcenter Intelligence».

На рис. 4.5 показана вихідна онтологічна модель, яку можна покласти в основу навчального проектування цифрової трансформації типу реальної СА трубопровідної транспортної системи хімічного виробництва.

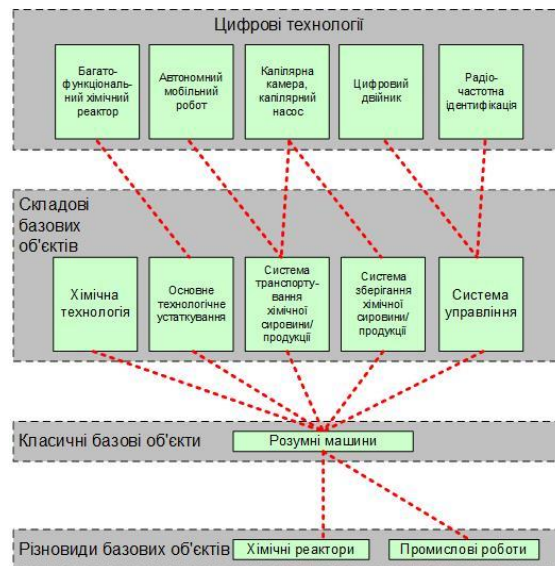


Рисунок 4.5 – Вихідна онтологічна модель для навчального проектування

Першим етапом такого проектування є розробка концептуального рішення (концепції) вдосконаленого типу СА, яке дозволить опрацювати загальне бачення нового технічного рішення. На рис. 4.6 показана загальна ідея цього рішення.

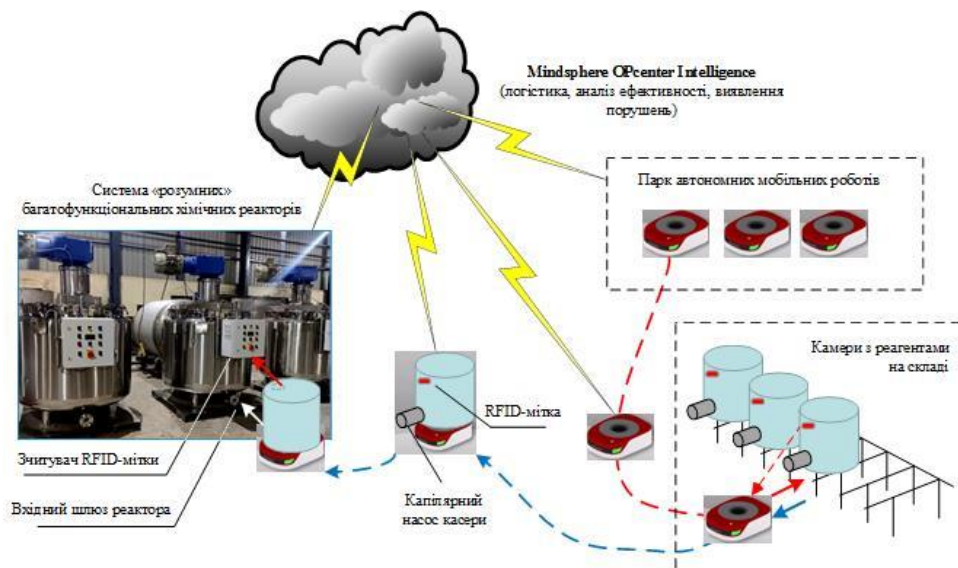


Рисунок 4.6 – Ідея цифрової трансформації СА трубопровідної транспортної системи

А на рис. 4.7 покаже вже концептуальне рішення нового типу СА у вигляді кіберфізичної системи автоматизації ТП транспортування рідин.

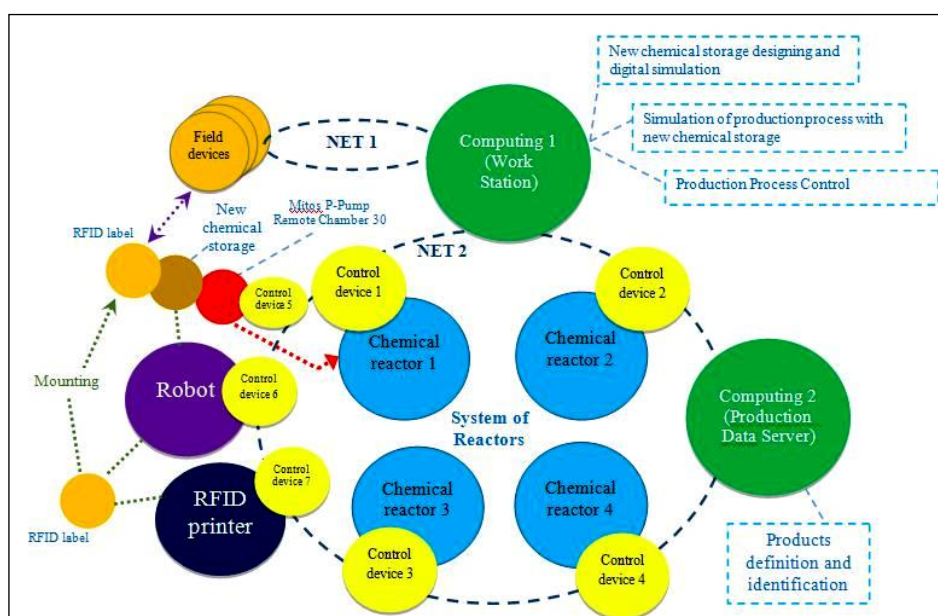


Рисунок 4.7 – Концепція цифрового «рорумного» транспорту у вигляді кіберфізичної системи автоматизації

Рагальна ідея цифрової трансформації типу СА трубопровідної транспортної системи (див. рис. 4.6) полягає в тім, що рамість трубопроводів на «рорумному» цифровому підприємстві будуть використовуватися автономні транспортні роботи, які переміщують вихідні хімічні реагенти, що рберігаються на складі у спеціальних транспортних камерах невеликого об'єму р вбудованими цифровими капілярними насосами і цифровими RFID-мітками, до того чи іншого «рорумного» хімічного реактора. При цьому

рчитувачі RFID-міток встановлюються на кожному автономному транспортному роботі та на кожному хімічному реакторі. Управління всією транспортною системою рдійснюватиметься програмним раберпеченням, що працює на «хмарному» сервері. Воно буде накарувати кожному транспортному роботу рухатись ра раданим маршрутом до конкретної камери, що рберігається на складі, равантажувати цю камеру на себе і переміщувати її ра вкараним маршрутом до потрібного хімічного реактора. Ра допомогою цифрових міток транспортний робот рнайде 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 дорволить ракачування вихідного хімічного реагенту ра допомогою цифрового насосу транспортної камери всередину хімічного реактора.

На основі цієї рагальної ідеї можна рапропонувати відповідне концептуальне рішення кіберфіричної системи автоматизації описаної транспортної системи (див. рис. 4.7), яке у довільній формі описує побудову цієї системи р таких концептуальних компонентів:

- система хімічних реакторів («System of Reactors»), яка складається р 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 рберігання/транспортування хімічних реагентів («New chemical storage»);
- капілярні насоси («Mitos P-Pump Remote Chamber 30») для точного дорування хімічних реагентів р капілярних камер;
- система берконтактних рчитувачів («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 орначення продуктів виробництва та їх ідентифікацію («Computing 2 (Production Data Server)»);
- бердротова мережа «NET 1» для передавання цифрових даних р системи рчитувачів 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, орначеним у «хмарному» сервері виробничих даних, виконується в виробничого складу автономними транспортними роботами, які перевозять на собі капілярні камери з цими реагентами до конкретного хімічного реактора. Рух цих роботів по виробництву радається і відстежується робочою станцією «Computing 1 (Work Station)». Після автоматичного під'єднання вихідного елементу капілярного насосу, який рмонтований на камері, з входом відповідного хімічного реактора, (р'єднуються і гідравлічна, і електрична системи) від робочої станції «Computing 1 (Work Station)» рдійснюється управління точним перекачуванням потрібної порції хімічного реагенту усередину хімічного реактора. У такий спосіб виконується поступове наповнення хімічного реактора усіма потрібними реагентами ргідно з вирначеною технологічною процедурою виготовлення хімічного продукту. Управління технологічним процесом конкретного хімічного реактора рдійснюється вбудованим контролером за керівним рецептом, який равантажений 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, орначує 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 ракріплює 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.

Висновки

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

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

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

В результаті виконання розділу 3 бакалаврської 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 бакалавром та викладачем в рамках даної стадії практичного навчання.

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

На основі запропонованого методу онтологічного дослідження предметної області промислової автоматизації І4.0 була побудована її

концептуальна модель та орначені способи її використання для цифрової трансформації типу реальної СА хімічного підприємства.

В якості прикладу виконання цієї стадії практичного вивчення цифрової трансформації було рорроблене концептуальне рішення нового типу СА для цифрового «рорумного» хімічного підприємства.

Література

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-tehnologii-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-avtomatizatsiya-ta-kompyuterno-integrovani-tehnologiyi-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 вечірньої 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 наскріпної 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. Литлфилд 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-cifrovizaciya-predpriyatija>.
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-onaznachaet-dlja-polzovatelej>.

12. Радкевич А.В., Севастьянов В.М., Папінов В.М. Навчальний расіб на основі Siemens Opcenter Intelligence для цифрової трансформації типу (type) промислової системи автоматизації / Матеріали 54-ої науково-технічної конференції підрорділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ) [Електронний ресурс]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2025/paper/view/24238/20007>.
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 раробки ефективних рішень р 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-plugins/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.

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 рандання 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 р 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-dbc4-47c8-8f1a-dc915d263cd3/605016fb-ed97-4b22-a6fb-de1f93556226/605016fb-ed97-4b22-a6fb-de1f93556226.
51. Черняк Л. Кіберфіричні системи на старті [Електронний ресурс]. URL : <https://www.osp.com/os/2014/02/13040038/>.

Додатки

Додаток А
(обов'язковий)

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

РАТВЕРДЖУЮ

равідувач кафедри АІТ
д.т.н., професор Олег БІСІКАЛО

“ 23 ” берерня 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ РАВДАННЯ

на бакалаврську кваліфікаційну роботу (у формі проекту)
«Навчальний расіб для практичного курсу дисципліни «Кіберфіричні
системи автоматизації виробництва»

08-31.БКР.004.02.000 ТР

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи:
доц. каф. АІТ Володимир СЕВАСТЬЯНОВ

“ 23 ” травня 2025 р.

Рорробив студент гр. АКІТ-21бр

Артур РАДКЕВИЧ

“ 23 ” травня 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

1 Нарва і галузь растосування

1.1 Нарва - Навчальний расіб (НР) для практичного курсу дисципліни «Кіберфіричні системи автоматизації виробництва»

1.2 Галузь растосування - навчальний процес вищого навчального ракладу р підготовки фахівців рі спеціальностей 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка".

2 Підстава для проведення рорробки

Рорробку НР проводити на підставі наказу по ВНТУ №_97_ від _20.03.2025 р. та індивідуального равдання на бакалаврську кваліфікаційну роту у формі проєкту, складеного та ратвердженого кафедрою автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій ВНТУ.

3 Мета та прирначення рорробки

Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи у формі проєкту є рорробка на основі існуючої лабораторної імітації «навчальної фабрики» концептуального рішення нового комп'ютеризованого навчального расобу для практичного вивчення бакалаврами спеціальності 174 в рамках дисципліни «Кіберфіричні системи автоматизації виробництва» методів та расобів цифрової трансформації автоматизованого виробництва.

НР прирначений для раберпечення практикуму професійної дисципліни "Кіберфіричні системи автоматизації виробництва" (4 курс бакалаврської підготовки). НР повинен створювати умови для індивідуальної когнітивної діяльності рдобувачів при рішенні реальних проєктних радач, сприяти більш глибокому вивченню ними теоретичного матеріалу вкараної навчальної дисципліни, а також давати можливість сформувати у них відповідні професійно-орієнтовані практичні уміння та навички проєктування цифрової трансформації реальних автоматизованих технічних та технологічних процесів.

4 Джерела рорробки

Бакалаврська кваліфікаційна робота у формі проєкту виконується вперше. В ході проведення рорробки повинні використовуватись такі документи:

1. Пупена О. Огляд сучасних стандартів інтегрованого виробництва / О. Пупена, І. Ельперін, Р. Міркевич Є. // Автоматизація технологічних і бірнес - 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 наскріпної 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 рідобувачами методів та засобів цифрової трансформації існуючого типу промислової системи автоматизації у «розумну» кіберфізичну систему з урахунок використання в проєктному практикумі сучасного комп'ютеризованого навчального засобу.

Завдання, що вирішуються в ході розробки:

8. Дослідження системи автоматизації «віртуального» виробництва та виявлення її недоліків у порівнянні з вимогами концепції «Індустрія 4.0».

9. Дослідження існуючих методів та засобів цифрової трансформації систем автоматизації для «розумного» цифрового підприємства.

10. Техніко-економічне обґрунтування загальної архітектури нового комп'ютеризованого навчального засобу.

11. Розробка технічного завдання на бакалаврську кваліфікаційну роботу.

12. Проєктування процесу виконання навчальної стадії «Моделювання типу системи автоматизації».

13. Проєктування процесу виконання навчальної стадії «Аналіз типу системи автоматизації».

14. Проектування процесу виконання навчальної стадії «Цифрова трансформація типу системи автоматизації».

Новий НР має будуватися за архітектурою, що описана в розділі 1 та показана на рисунку 1.16. Ця архітектура будується на основі таких моделей, існуючих в лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка» ФПТА:

- 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 НР відображає послідовність практичного вивчення бакалаврами усіх основних стадій процесу цифрової трансформації існуючого типу системи автоматизації, що моделюється в лабораторії, у аналогічний тип СА реального «розумного» виробництва, що функціонує в рамках концепції «Індустрія 4.0».

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

- формування у бакалавра вихідного уявлення про можливу реалізацію даного типу СА на реальному хімічному підприємстві (виконується бакалавром 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 (розробляються як наявні локальні програмні засоби моделювання, так і доступні «хмарні» сервіси цифрового моделювання; моделювання здійснюється як бакалавром за індивідуальним завданням в рамках окремих професійних дисциплін або проектного практикуму, так і викладачем при підготовці навчально-методичних матеріалів цих професійних дисциплін або проектного практикуму).

Друга стадія практичного вивчення бакалавром 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 бакалавр 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 (бакалавр може виконувати цей пошук за участі викладача, який надаватиме йому додаткові консультації та пояснення).

Третя стадія практичного вивчення бакалавром 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 бакалавром з використанням доступних інформаційних ресурсів Інтернет та навчально-методичних матеріалів, наданих викладачем).

Четверта стадія практичного вивчення бакалавром 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 проект концептуального рішення цифрової трансформації).

П'ята стадія практичного вивчення бакалавром 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).

НР 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

6.1. Розділ «Техніко-економічне обґрунтування кваліфікаційного проекту» та розробка концепції функціональної структури ІСА мають бути виконані до 26.04.25 р.

6.2. Проектування процесу виконання навчальної стадії «Моделювання типу системи автоматизації» для НР має бути виконано до 10.05.25 р.

6.3. Проектування процесу виконання навчальної стадії «Аналіз типу системи автоматизації» для НР має бути виконано до 24.05.25 р.

6.4. Проектування процесу виконання навчальної стадії «Цифрова трансформація типу системи автоматизації» для НР повинно бути виконано до 31.05.25 р.

7 Порядок контролю та приймання

- 7.1 Рубіжний контроль – 03-07.06.25 р.
- 7.2 Попередній рахист – 10-15.06.25 р.
- 7.3 Рахист БКР – в період р 16.06.25 по 23.06.25 р. ра графіком, встановленим кафедрою АІТ.

Додаток Б
(обов'язковий)

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

НАВЧАЛЬНИЙ РАСІБ ДЛЯ ПРАКТИЧНОГО КУРСУ ДИСЦИПЛІНИ
«КІБЕРФІЗИЧНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА»

Розробив:

_____ Артур ПРАДКЕВИЧ
“ ” _____ 2025 р.

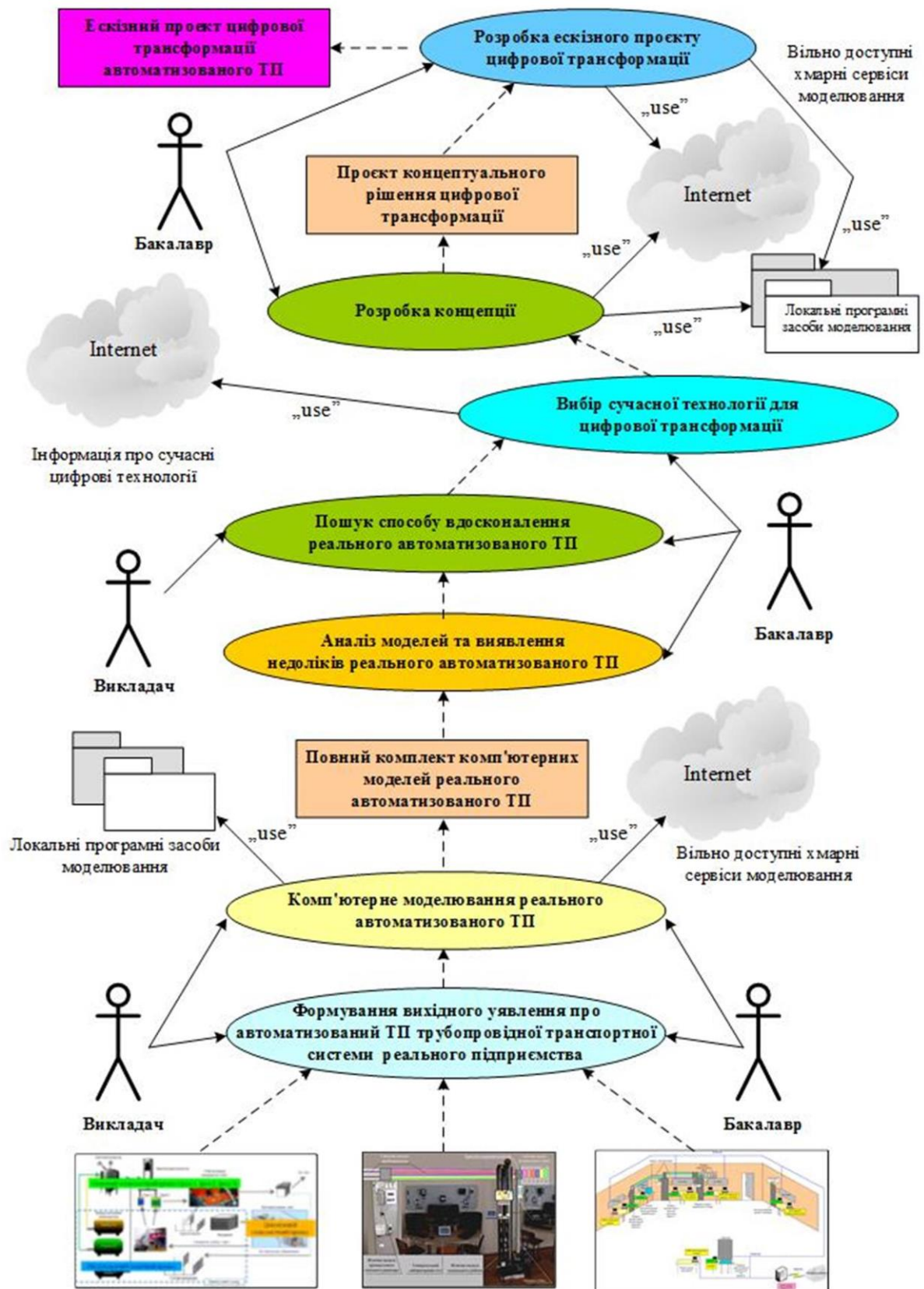
Перевірив:

_____ Володимир СЕВАСТЬЯНОВ
“ ” _____ 2025 р.

Рецензент: _____

_____ “ ” _____ 2025 р.

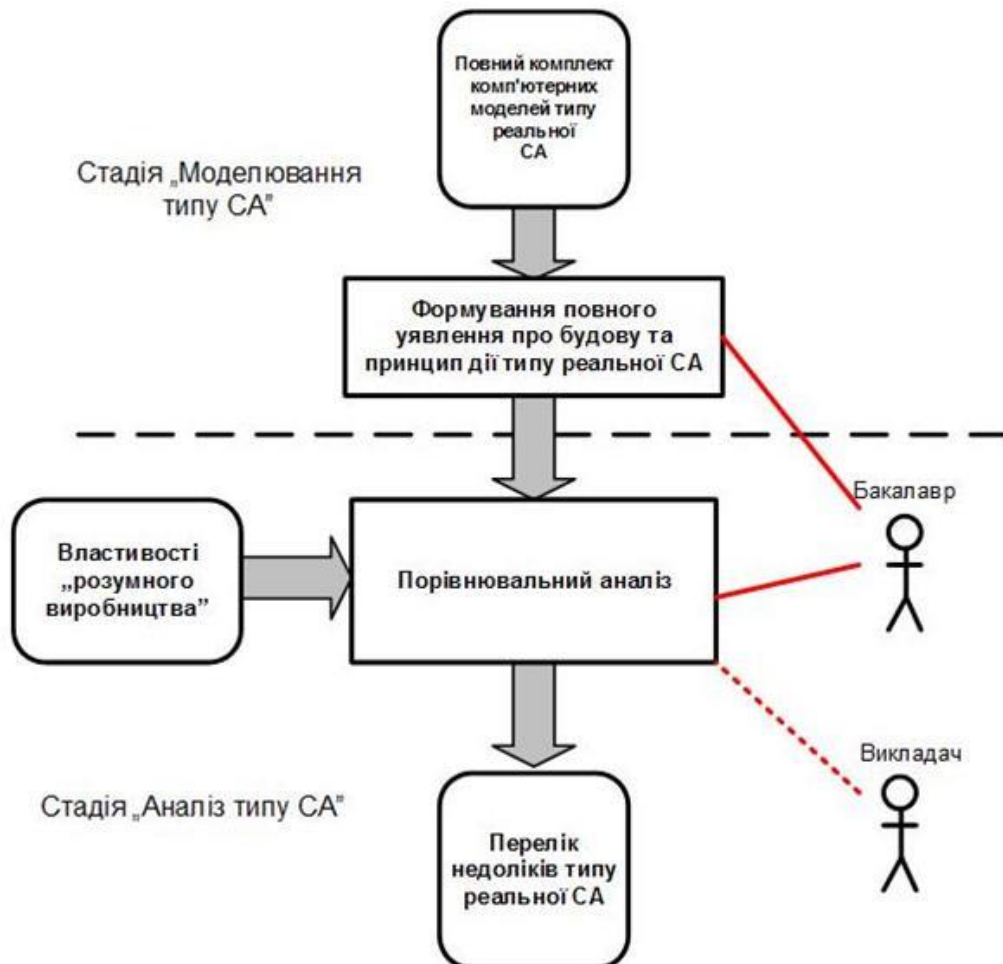
АРХІТЕКТУРА НАВЧАЛЬНОГО ЗАСОБУ



Програмно-технічні імітаційні моделі АТП транспортної системи „віртуального виробництва”



					08-31.БКР.004.01.000 ДД			
					Навчальна стадія "Моделювання існуючого типу СА". Діаграма діяльності			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Радкевич А.В.						
Перев.		Севаст'янов В.М.						
Т.контр.		Севаст'янов В.М.						
Реценз.					Арк. _____ Аркушів 1 ВНТУ, АКІТ-216з			
Н.контр.		Овчинников К.В.						
Затверд.		Бісікало О.В.						

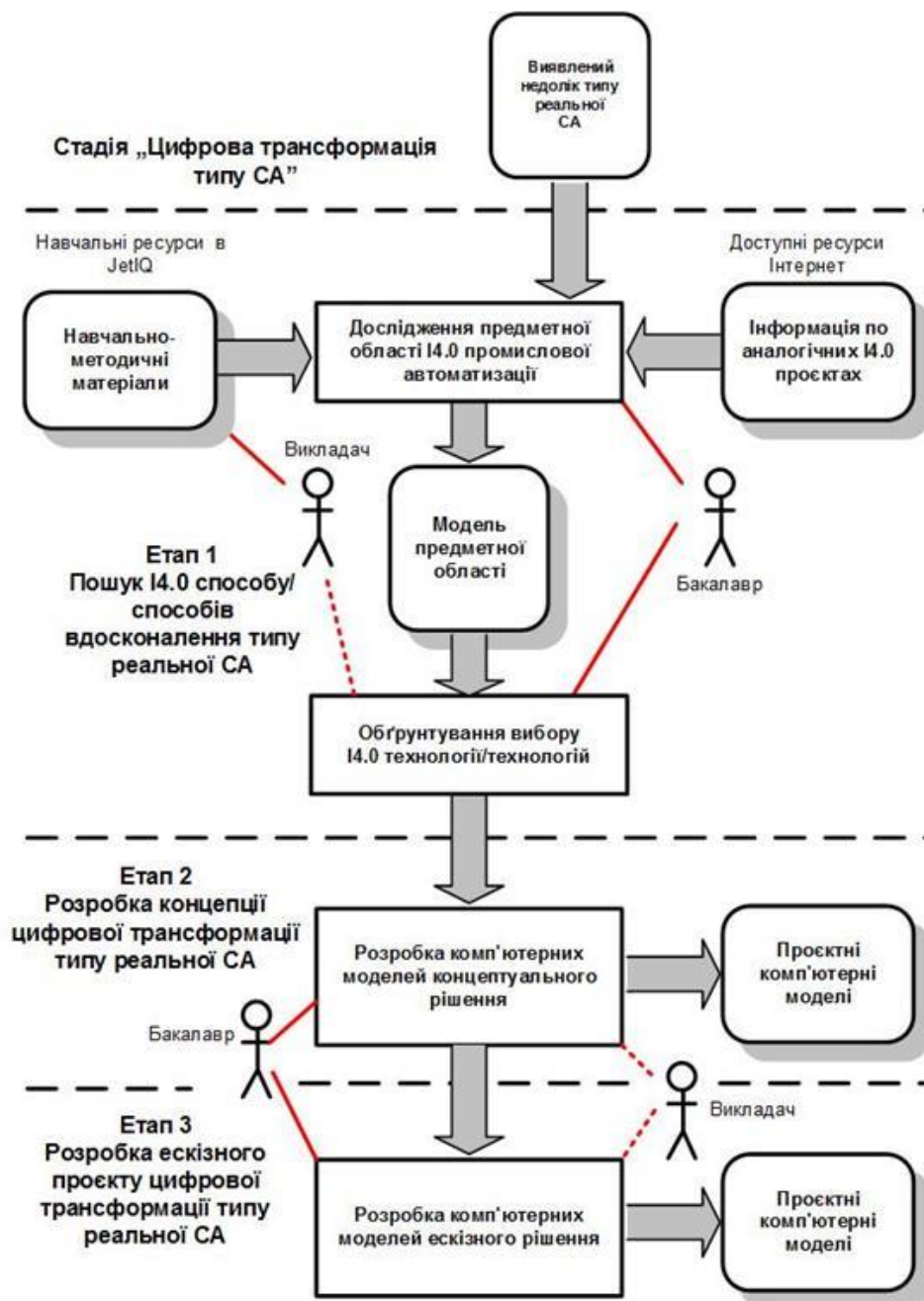


08-31.БКР.004.02.000 ДД

					08-31.БКР.004.02.000 ДД			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Навчальна стадія "Аналіз існуючого типу СА". Діаграма діяльності			
Розроб.	Радкевич А.В.							
Перев.	Севаст'янов В.М.							
Т.контр.	Севаст'янов В.М.							
Реценз.								
Н.контр.	Овчинников К.В.				ВНТУ, АКІТ-216з			
Затверд.	Бісікало О.В.							

Арк.

Аркуші 1



08-31.БКР.004.03.000 ДД

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Радкевич А.В.		
Перев.		Севаст'янов В.М.		
Т.контр.		Севаст'янов В.М.		
Реценз.				
Н.контр.		Овчинников К.В.		
Затверд.		Бісикало О.В.		

Навчальна стадія "Цифрова трансформація типу системи автоматизації".
Діаграма діяльності

Арк.

Аркуші 1

ВНТУ, АКІТ-216з

Додаток В
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Навчальний засіб для практичного курсу дисципліни «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва»

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота (у формі проєкту)
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій ФІТА ВНТУ

(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 17,13 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту

☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.

☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

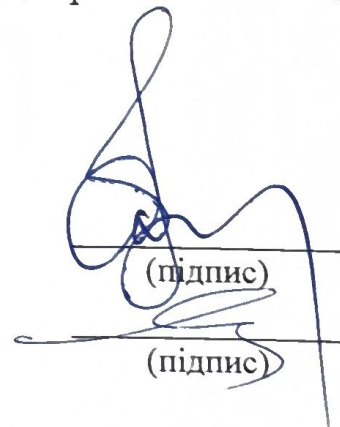
Експертна комісія:

Олег БІСІКАЛО, зав. кафедри АІТ

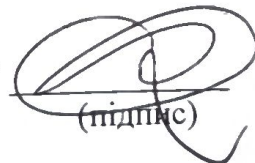
(прізвище, ініціали, посада)

Любов ЯНЧУК, секретар кафедри АІТ

(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)
(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку

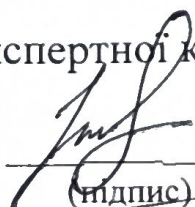

(підпис)

Костянтин ОВЧИННИКОВ

(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник


(підпис)

Володимир СЕВАСТ'ЯНОВ, доц. кафедри АІТ

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач


(підпис)

Артур РАДКЕВИЧ

(прізвище, ініціали)