

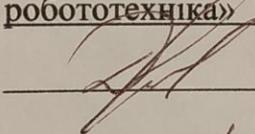
Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

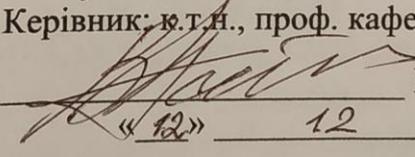
на тему:

**«Комп'ютеризований навчальний засіб з елементами штучного інтелекту
для практичного вивчення цифрової трансформації екземпляру
промислової системи автоматизації»**

Виконав: здобувач 2 курсу, групи 1АКІТР-24м,
спеціальності 174 – «Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

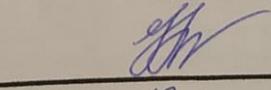

Олександр ДЕНИСЮК

Керівник: в.т.н., проф. кафедри АІТ


Володимир ПАПІНОВ

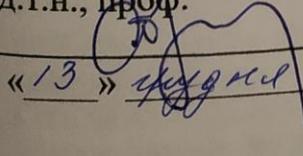
«12» 12 2025 р.

Опонент: д.т.н., проф. кафедри КСУ


Марія ЮХИМЧУК

«13» 12 2025 р.

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


Олег БІСІКАЛО

«13» 12 2025 р.

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АІТ

д.т.н., проф. Олег БІСІКАЛО

«26» вересня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Денисюку Олександру Вікторовичу

(ПІБ автора повністю)

1. Тема роботи: Комп'ютеризований навчальний засіб з елементами штучного інтелекту для практичного вивчення цифрової трансформації екземпляру промислової системи автоматизації

Керівник роботи: к.т.н., проф. каф. АІТ Папінов В.М.

Затвердженні наказом ВНТУ від « 24 » вересня 2025 року № 313.

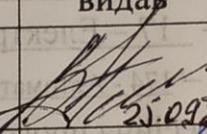
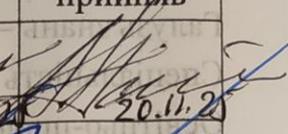
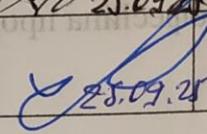
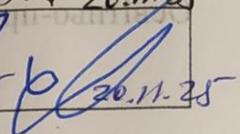
2. Строк подання роботи студентом: до « 12 » грудня 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи: Комп'ютеризований навчальний засіб (КНЗ) призначений для забезпечення практикумів професійних дисциплін "Кіберфізичні системи автоматизації виробництва" (4 курс бакалаврської підготовки) та "Промисловий Інтернет речей" (1 курс магістерської підготовки); КНЗ повинен створювати умови для індивідуальної когнітивної діяльності здобувача при рішенні реальних проєктних задач, сприяти більш глибокому вивченню здобувачем теоретичного матеріалу вказаних навчальних дисциплін, а також давати можливість сформулювати у здобувача відповідні професійно-орієнтовані практичні уміння та навички проєктування цифрової трансформації реальних систем автоматизації; КНЗ повинний будуватися на основі лабораторної імітаційної моделі «віртуального» виробництва хімічної продукції, реалізованої в навчальній лабораторії 5303 ФІПА ВНТУ, та на програмно-технічній моделі інтегрованої системи автоматизації (ІСА) даного «віртуального» виробництва».

4. Зміст текстової частини: 1) Науково-технічне та техніко-економічне обґрунтування роботи.
2) Проектування процесу виконання стадії «Задум цифрової трансформації екземпляру СА І3.0»
3) Проектування процесу виконання стадії «Розробка цифрової трансформації екземпляру СА І3.0»
4) Економічний розділ; Висновки; Список використаних джерел

5. Перелік ілюстративного (або графічного) матеріалу: 1) Архітектура комп'ютеризованого навчального засобу. 2) Загальне бачення процесу виконання стадії «Задум цифрової трансформації екземпляру СА І3.0». 3) Алгоритм виконання етапу «Аналіз екземпляру СА/АТІ І3.0» 4) Алгоритм виконання здобувачем етапу «Формування ідеї ІТ» 5) Загальне бачення процесу виконання стадії «Розробка цифрової трансформації екземпляру СА І3.0»

6. Консультанти розділів роботи

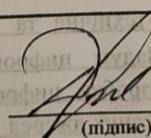
Розділ змістової частини роботи	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 – 3	Володимир ПАПНОВ, к.т.н., проф. кафедри АІТ	 25.09.25	 20.11.25
4	Володимир КОЗЛОВСЬКИЙ, к.е.н., проф. каф. ЕПтаВМ	 25.09.25	 20.11.25

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

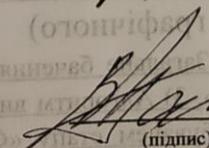
№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Науково-технічне та техніко-економічне обґрунтування роботи	25.09–05.10.2025	вик
2	Розробка архітектури комп'ютеризованого навчального засобу	25.09–05.10.2025	вик
3	Розробка технічного завдання на магістерську кваліфікаційну роботу	05.10 – 25.10.2025	вик
4	Проектування процесу виконання стадії «Задум цифрової трансформації екземпляру СА ІЗ.0»	25.10 – 10.11.2025	вик
5	Проектування процесу виконання стадії «Розробка цифрової трансформації екземпляру СА ІЗ.0»	05.11 – 20.11.2025	вик
6	Підготовка економічної частини	до 01.12.2025	вик
7	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу і презентації	20.11 – 03.12.2025	вик
8	Попередній захист роботи	до 03.12.2025	вик
9	Захист роботи	до 19.12.2025	вик

Здобувач


(підпис)

Олександр ДЕНИСЮК
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Володимир ПАПНОВ
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 378.162+681.51

Денисюк О.В. Комп'ютеризований навчальний засіб з елементами штучного інтелекту для практичного вивчення цифрової трансформації екземпляру промислової системи автоматизації. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка, освітня програма – Інтелектуальні комп'ютерні системи. Вінниця: ВНТУ, 2025. 133 с.

Укр. мовою. Бібліогр.: 52 назв; рис.: 52; табл. 5.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблений комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення цифрової трансформації допоміжного екземпляру промислової системи автоматизації. Комп'ютеризований навчальний засіб призначений для забезпечення практикумів професійних дисциплін "Кіберфізичні системи автоматизації виробництва" та "Промисловий Інтернет речей". На відміну від існуючих комп'ютеризованих навчальних засобів, новий засіб будується на основі інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне виробництво», що дозволило шляхом використання доступних інструментів штучного інтелекту та сучасної методики проведення проєктного практикуму підвищити ефективність практичного освоєння здобувачами методів та засобів цифрової трансформації екземплярів промислових систем автоматизації.

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

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

ABSTRACT

Denysyuk O.V. Computerized educational tool with elements of artificial intelligence for practical study of the digital transformation of an industrial automation system instance. Master's Qualification Thesis in the specialty 174 – Automation, computer-integrated technologies and robotics, educational program – Intelligent computer systems. Vinnytsia: VNTU, 2025. 133 p.

In Ukrainian language. Bibliography: 52 titles; Fig.: 52; table 5.

In the master's qualification work, a computerized educational tool has been developed for the practical study of the digital transformation of an auxiliary instance of an industrial automation system. The computerized educational tool is intended to provide workshops in the professional disciplines "Cyber-physical production automation systems" and "Industrial Internet of Things". Unlike existing computerized educational tools, the new tool is built on the basis of an information and educational environment of the "virtual production" type, which allowed, through the use of available artificial intelligence tools and modern methods of conducting a project workshop, to increase the effectiveness of the practical development of methods and means of digital transformation of instances of industrial automation systems by applicants.

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

Keywords: computer-integrated technology, digital transformation, artificial intelligence, educational research, computerized educational laboratory

ЗМІСТ

ВСТУП	
1 НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ	
1.1 Цифрова трансформація – процес вдосконалення промислових систем автоматизації	
1.2 Сучасні освітні тренди практичної підготовки фахівців спеціальності.....	
1.3 Вибір та аналіз аналогічного технічного рішення.....	
1.4 Розробка архітектури нового комп'ютеризованого навчального засобу для проєктного практикуму	
1.5 Висновки до розділу	
2 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «ЗАДУМ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕКЗЕМПЛЯРУ СА ІЗ.0».....	
2.1 Загальне бачення	
2.2 Алгоритм виконання етапу «Аналіз екземпляру СА/АТП ІЗ.0»	
2.3 Алгоритм виконання етапу «Формування ідеї ЦТ»	
2.4 Висновки до розділу	
3 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «РОЗРОБКА ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕКЗЕМПЛЯРУ СА ІЗ.0».....	
3.1 Загальне бачення	
3.2 Приклад концептуального проєктування ЦТ екземпляру СА ІЗ.0 хімічного реактора	
3.3 Приклад концептуального проєктування ЦТ екземпляру СА ІЗ.0 дозатора	
3.4 Приклад концептуального проєктування ЦТ екземпляру СА ІЗ.0 пакування	
3.5 Висновки до розділу	
4 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	

4.1	Технологічний аудит розробленого комп'ютеризованого навчального засобу
4.2	Розрахунок витрат на розроблення комп'ютеризованого навчального засобу
4.3	Розрахунок економічного ефекту від можливої комерціалізації розробки.
4.4	Висновки до розділу
	ВИСНОВКИ
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ
	ДОДАТКИ.....
	Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу
	Додаток Б (обов'язковий) Ілюстративна частина
	Додаток В (довідковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи

ВСТУП

Для підвищення якості підготовки фахівців в області автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки на кафедрі АІТ у навчальному плані є дві нові професійно-орієнтовані дисципліни – «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва» (бакалаврський рівень підготовки) та «Промисловий Інтернет речей» (магістерський рівень підготовки), які повинні надати здобувачам вищої освіти основні теоретичні відомості та практичні знання щодо проєктування систем автоматизації для «розумного» цифрового виробництва, яке функціонує за концепцією «Індустрія 4.0» [1]. Основною формою практичної підготовки у цих дисциплінах є наскрізний проєктний практикум, організований як в рамках аудиторних лабораторних чи практичних занять, так і під час самостійної роботи здобувачів. В ході цього проєктного практикуму здобувачі мають отримати практичні знання та набути професійного досвіду у проєктуванні різноманітних систем автоматизації для «розумного» цифрового виробництва, а саме, для бакалаврів – на рівні загального бачення та архітектури системи автоматизації, для магістрів – на рівні ескізного та технічного проєктів цієї системи автоматизації. Тому розробка сучасної методики виконання цього проєктного практикуму за допомогою комп'ютеризованого навчального засобу та створення відповідного інформаційно-технічного забезпечення є актуальною задачею.

Зокрема, однією з основ інформаційно-технічного забезпечення даного проєктного практикуму може бути існуюча натеper комп'ютеризована лабораторія промислової мікропроцесорної техніки ФІТА. Усі встановлені в ній програмно-технічні засоби утворюють інформаційно-освітнє середовище типу «віртуальне виробництво», яке функціонує за концепцією комп'ютерно-інтегрованого виробництва «Індустрія 3.0» [2-5]. Це «віртуальне виробництво» включає основні та допоміжні технологічні/технічні процеси, а також додаткові обслуговуючі процеси. Тому велику кількість навчальних проєктів з цифрової трансформації [6] промислових систем автоматизації для «розумного» виробництва, побудованого вже за концепцією «Індустрія 4.0» [7], здобувачі

зможуть розробляти в рамках проєктного практикуму, беручі за основу саме це існуюче лабораторне «віртуальне виробництво».

Іншою важливою основою інформаційно-технічного забезпечення проєктного практикуму можуть бути доступні у мережі Інтернет моделі штучного інтелекту, використання яких у освітній сфері активно поширюється з кожним днем [8-10].

Тому метою магістерської кваліфікаційної роботи є розробка загальної методики наскрізного проєктного практикуму на основі нового комп'ютеризованого навчального засобу з елементами штучного інтелекту для практичного вивчення здобувачами вищої освіти методів та засобів цифрової трансформації екземпляру промислової системи автоматизації.

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

Предметом досліджень є підвищення ефективності освоєння здобувачами спеціальності методів та засобів практичного проєктування цифрової трансформації екземплярів промислових систем автоматизації шляхом використання сучасного комп'ютеризованого навчального засобу з елементами штучного інтелекту.

Задачі досліджень магістерської кваліфікаційної роботи:

1. Дослідження цифрової трансформації як процесу вдосконалення промислових систем автоматизації.
2. Дослідження сучасних освітніх трендів у практичній підготовці фахівців спеціальності.
3. Вибір та аналіз аналогічного технічного рішення комп'ютеризованого навчального засобу.
4. Розробка архітектури нового комп'ютеризованого навчального засобу для проєктного практикуму.
5. Розробка технічного завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.
6. Розробка навчально-методичного забезпечення проєктного практикуму.

7. Проєктування окремих стадій проєктного практикуму в рамках нового комп'ютеризованого навчального засобу.

8. Приклади практичного застосування розробленої методики проєктного практикуму в рамках нового комп'ютеризованого навчального засобу.

Інноваційна новизна отриманих результатів дослідження полягатиме в тім, що на відміну від існуючих навчальних засобів, новий засіб будується на основі інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне виробництво», що дозволяє шляхом використання доступних інструментів штучного інтелекту та сучасної методики проведення проєктного практикуму підвищити ефективність практичного освоєння здобувачами методів та засобів цифрової трансформації екземплярів промислових систем автоматизації.

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

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

1 НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ

1.1 Цифрова трансформація – процес вдосконалення промислових систем автоматизації

Загальним трендом розвитку як окремих виробничих підприємств, так і держав у світі, на сьогодні є «Четверта індустріальна революція» або «Індустрія 4.0» [6, 12-16]. Так у Німеччині існує державна програма «Індустрія 4.0», у США ініціативи в цій області поєднує «Industrial Internet Consortium». В Україні створений національний рух «Індустрія 4.0 в Україні». Перехід підприємства до цифрової економіки, адаптація до світу де взаємодіють кіберфізичні системи вже не є тільки питання підвищення ефективності - але багато в чому - необхідність. Процес переходу - цифрова трансформація підприємства - це не тільки програма проектів по автоматизації бізнес процесів і технології. У силу високого ступеня автоматизації, наявності й доступності цифрових технологій і систем, трансформації піддаються не тільки й не стільки процеси - скільки основні продукти компаній.

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

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

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

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

впровадження ERP систем (класичний проект на стадії розвитку 3.0), а реалізація концепції Connected Enterprise - створення цифрових каналів взаємодії, цифровізація процесів роботи з основними постачальниками, підрядниками й іншими контрагентами підприємства. Ці три напрямки охоплюють перелік проектів і програм, але також необхідно не забувати про два аспекти цих програм - це застосування нових економічних моделей і наявність відповідним чином підготовленого персоналу.

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

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

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

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

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

партнерами. Питання довіри багато в чому нівелюється застосуванням технологій на базі Blockchain - Smart Contracts.

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

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

У такий же приблизно ситуації перебуває концепція ієрархічної архітектури мереж. Мова йде не тільки про інформаційні мережі, але й про мережі систем АСУТП, у деяких випадках і про електромережі. Реальні умови ведення бізнесу диктують не просто перетинання, а переплетення ієрархій різних юридичних осіб і їхніх систем. Відповідно мова йде про «мережні архітектури»,

«шини даних підприємства», «інтернет речей» і сервіс-орієнтовані рішення. У цих умовах логічно виникають питання забезпечення безпеки. Технології її забезпечення існують і досить розвинені в тому числі й для мереж АСУТП, однак їхнє застосування зіштовхується з однієї сторони з недоліком кваліфікації в силу їхньої новизни на ринку, з іншої з деякими протиріччями при імплементації з «попереднім досвідом».

Останнім, але мабуть першим по важливості, є питання доступності персоналу необхідної кваліфікації як для реалізації програми цифрової трансформації, так і для наступної операційної діяльності в умовах цифрового оточення. У сьогоднішніх реаліях просто найняти необхідний персонал практично неможливо, тому багато компаній ідуть по шляху самостійної його підготовки. Процес підготовки також перетерпів зміни - у першу чергу в області керування контентом і оцінки. Прикладів онлайн-курсів, тестів, симуляторів на сьогодні досить. Цифрове керування компетенціями й планування навчання не так поширено в готових рішеннях - але активно обговорюється на рівні концепцій і форматів. У такий спосіб з питанням «як буде організоване навчання 4.0» усе загалом очікувано й зрозуміло. Набагато складніше питання «чому необхідно навчати» в епоху 4.0, особливо в області Soft Skills, з огляду на те, що диджиталізація стосується не тільки бізнесу, але активно впроваджується у всіх сферах життя, змінюючи соціальні установки й правила.

1.2 Сучасні освітні тренди практичної підготовки фахівців спеціальності

Для того, щоб здобувачі вищої освіти за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» могли ефективно освоїти на практиці процес проектування описаних вище систем автоматизації для «розумного» виробництва, у вузі треба створити відповідне інформаційно-освітнє середовище та оптимальним чином організувати в ньому проектне навчання.

Для розв'язання даної задачі у світі в останнє десятиріччя здійснюється радикальна перебудова системи освіти на основі переходу на нові організаційні і методологічні форми практичної підготовки таких фахівців.

Так, відома у світі компанія "Festo" для вирішення вказаної проблеми створила на своєму новому заводі в Німеччині спеціальну тренувальну «навчальну фабрику» ("Learning Factory") [17, 18]. Це дозволило при підготовці фахівців для реалізації сучасної концепції "СІМ" та перспективної концепції "Індустрія 4.0" ("розумна фабрика") максимально зблизити наукові розробки, новітнє навчальне обладнання й реальне виробництво. Всі ідеї здобувачів, що в ході навчального процесу успішно відпрацьовуються на даній «навчальній фабриці», потім впроваджуються в реальне виробництво негайно.

Фактично така форма інформаційно-освітнього середовища являє собою міні-завод і побудовано за абсолютно новими принципами. Воно модульне, легко адаптується до змін, модулі спілкуються між собою по мережних протоколах, дані зберігаються в "хмарі", до виробництва міні-заводу підключаються системи класу MES та ERP (рисунок 1.1). Проте, даний приклад вирішення сучасної проблеми практичної підготовки висококваліфікованих фахівців в рамках концепцій "СІМ" та "Індустрія 4.0" є досить рідким явищем, навіть у світовій практиці [19].

Більш розповсюдженою формою організації інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне підприємство» є спеціалізовані навчальні лабораторії, в яких за допомогою тих чи інших засобів відтворюється або імітується частина реального виробництва або усе виробництво в цілому. Такі лабораторії створюються технічними вузами не самостійно, а у співпраці або з відомими світовими виробниками систем промислової автоматизації, або з потужними системними інтеграторами.

Наприклад, на базі Міланського технічного університету (Politecnico di Milano) нещодавно створена лабораторія «Industry 4.0 Lab» [19] (рисунок 1.2). Ця навчальна лабораторія містить у собі сім робочих станцій, програмувальні логічні контролери й людино-машинні інтерфейси фірми "Siemens", а також фізичні



Рисунок 1.1 – Модульна будова «навчальної фабрики»



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд лабораторії «Industry 4.0 Lab»

електроприводи (дрилі, преси), датчики температури й тиску, конвеєрну стрічку й промисловий робот "Mitsubishi Melfa". В результаті така лабораторія фізично відтворює роботу інтелектуальної виробничої системи, у складі якої є як сучасні апаратні, так і програмні компоненти у вигляді керуючого програмного забезпечення, а також засоби розробки автоматизованої системи управління виробничим процесом та його моніторингу.

В рамках інформаційно-освітнього середовища такого «розумного» виробництва здобувачі можуть ефективно вивчати на практиці усі питання щодо проектування та реалізації реальної системи автоматизації.

У рамках описаного нового підходу до організації інформаційно-освітнього середовища для практичної підготовки фахівців даної спеціальності у світі зараз вже існує багато інших прикладів реалізації і процес їх розповсюдження тільки прискорюється.

Так, для реалізації концепції «Освіта 4.0: український світанок», яка була підготовлена командою МОН України на основних засадах і принципах «Плану відновлення України», забезпечується доступ здобувачів освіти до сучасних технологій, відповідної інфраструктури та належного педагогічного супроводу. До основних технологій, які використовуються в «Освіті 4.0», належать штучний інтелект [21], віртуальна реальність, інтернет речей, машинне навчання та інші.

Зокрема, штучний інтелект (ШІ) (artificial intelligence – AI) розуміється, як властивість автоматичних систем брати на себе окремі функції інтелекту людини, наприклад, вибирати й ухвалювати оптимальні рішення на основі раніше одержаного досвіду й раціонального аналізу зовнішніх дій. Тобто штучний інтелект – це здатність інженерної системи обробляти, застосовувати й удосконалювати здобуті знання та вміння.

При цьому основні властивості штучного інтелекту включають:

- самонавчання: ШІ може вдосконалювати свої здібності, збираючи та аналізуючи дані, здійснюючи прогнози та підбираючи найбільш оптимальні рішення;

- розуміння мови: ШІ може розуміти людську мову та взаємодіяти з людьми, включаючи голосові та текстові команди;

- сенсорна сприйнятливність: ШІ може збирати та аналізувати інформацію з різних джерел, включаючи зображення, звук та сенсорні дані;
- можливість прийняття рішень: ШІ може приймати рішення на основі зібраної інформації та розуміння контексту;
- креативність: ШІ може генерувати нові ідеї та рішення, які раніше не були знайдені;
- швидкість і точність: ШІ шукає, аналізує, синтезує та створює нову інформацію майже миттєво.

На сьогоднішній день вчені усього світу, як і українські вчені, активно досліджують технології ШІ в освітньому процесі. Особливу увагу приділяють використанню технологій ШІ в процесі навчання та розвитку інноваційних підходів у педагогічній діяльності [22]. Крім того, у світовій науці, де обсяги даних зростають експоненційно, а завдання стають усе складнішими, ШІ стає надійним партнером для науковців у їх пошуках, аналізі та інтерпретації інформації. Зокрема, великі обсяги наукових даних можна опрацьовувати за допомогою алгоритмів штучного інтелекту, що дає змогу виявляти тренди та зв'язки, надзвичайно важливі для розвитку того чи іншого наукового знання [23].

Для реалізації сучасних ідей впровадження ШІ у освітній процес підготовки фахівців будь-якої спеціальності світові виробники зараз пропонують все нові і нові інструменти вільного доступу, що постачені якісними і детальними інструкціями з їх використання [24-36].

Наприклад, нещодавно Google запустив програму підтримки українських здобувачів вищої освіти, у рамках якої безкоштовно надається доступ до ШІ-інструменту «AI Pro» на термін в один рік [24, 25]. До набору входять усі ключові ШІ-інструменти компанії, включно з останньою версією «Gemini 2.5 Pro», який допомагає розв'язувати навчальні задачі, писати тексти та аналізувати зображення (рисунок 1.3). Також до пакета входять «Deep Research» для глибокого пошуку і систематизації даних, «NotebookLM» з розширеним обсягом мультимедійних матеріалів, відеогенератор «Veo 3», що створює 8-секундні ролики зі звуком, і «Jules» - помічник для здобувачів ІТ-спеціальностей, який виправляє помилки в

кодi. Крім того, користувачi отримують 2 ТБ хмарного сховища на «Google Диску», «Gmail» i «Фото».

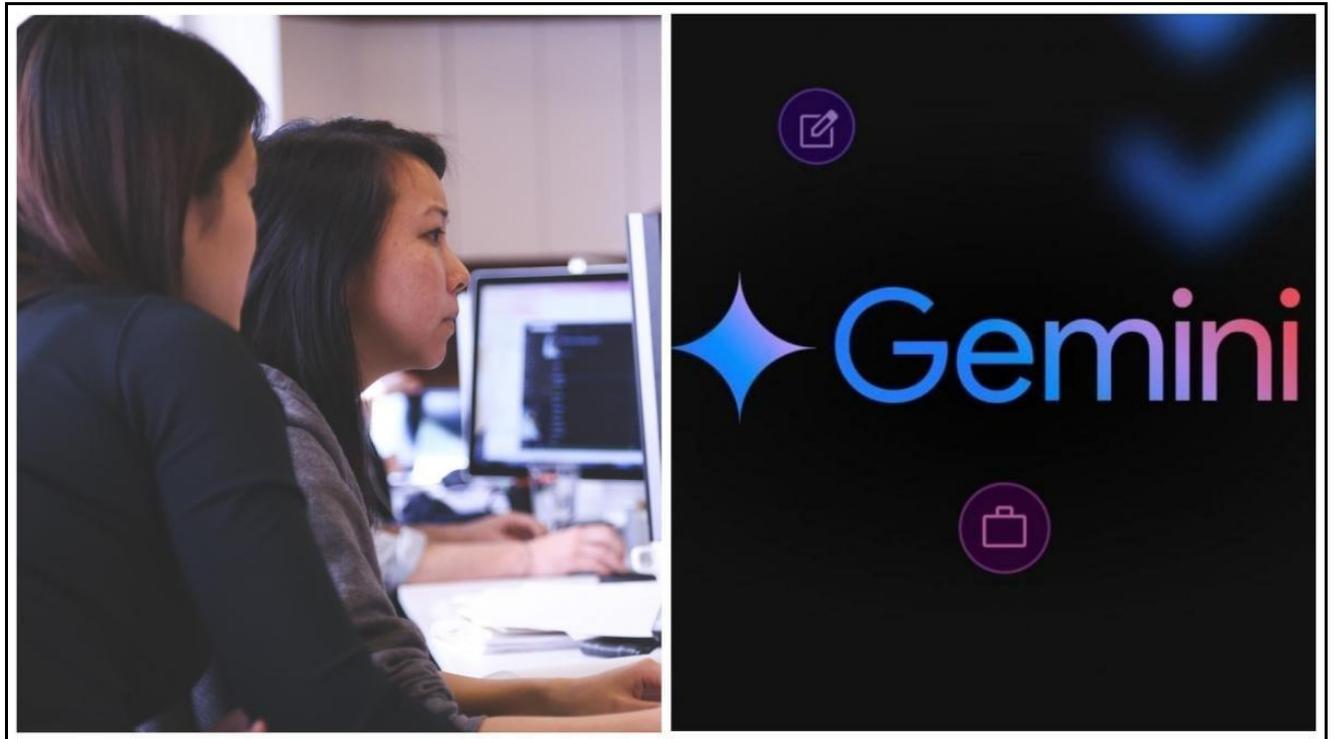


Рисунок 1.3 - ШІ-інструмент версії «Gemini 2.5 Pro»

Іншим найбільш поширеним та доступним ШІ-інструментом є «ChatGPT» компанії «OpenAI» - розумний чат-бот, який може бути потужним партнером для виконання креативних навчальних завдань. З його допомогою можна не тільки шукати інформацію, а й знаходити нестандартні ідеї, розширювати горизонти мислення і структурувати потік думок [28, 29].

Розглянемо коротко основні практичні рекомендації для роботи з цим інструментом [30-32]. Один із найпростіших прийомів у роботі з ШІ під час генерації ідей - максимальна конкретика. Чітке формулювання мети мозкового штурму дає моделі більше контексту (рисунок 1.4).

Також варто вказати, де буде використовуватися отримана інформація (наприклад, у статті або дослідницькому проєкті). Це допомагає отримувати більш точні та релевантні результати. Додатково може допомогти і запит на роботу в ролі експерта.

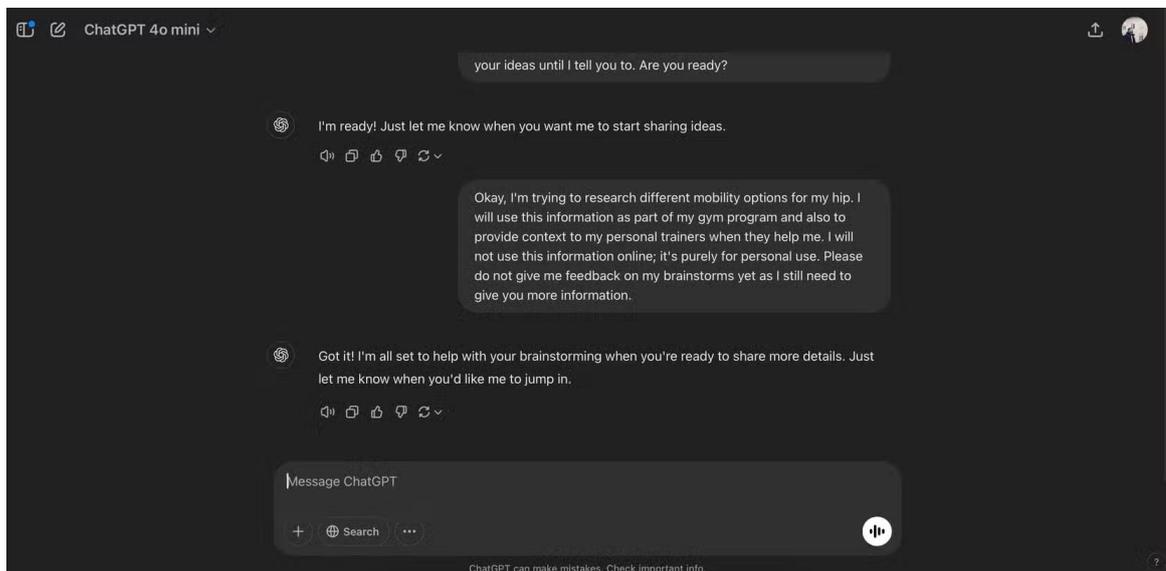


Рисунок 1.4 - Чітке формулювання мети мозкового штурму

Іноді «ChatGPT» починає пропонувати ідеї занадто рано. Під час генерації ідей це може перевантажувати і заважати процесу. Найкраще рішення - заздалегідь попередити модель, щоб вона не пропонувала варіанти до вашого прохання. У кінець запиту варто додати: "Будь ласка, не пропонуй ідеї, поки я не скажу". Якщо необхідно спочатку пояснити завдання в деталях, такий підхід допомагає краще структурувати сесію.

Запит на 40+ ідей здається продуктивним, але це не дає потрібного результату з двох причин:

- Повторюються шаблони і з'являється багато "води".
- Довгі відповіді можуть викликати збої навіть у «ChatGPT Plus».

Найкраще рішення - ділити мозковий штурм на блоки (рисунок 1.5). Робота з однією підкатегорією за раз дає змогу глибше вивчити тему й отримати якісні результати. Відповіді стають більш сфокусованими, діалог - плавним.

Стандартний формат генерації ідей - не межа. Використання певних технік допомагає розширити горизонти. Один з ефективних методів - пошук прогалін. Спочатку формуються власні ідеї, а потім використовується такий запит: "Ось список тем: [перелік]. На підставі наданої мною інформації чи можеш ти визначити можливі прогалини, які мені слід заповнити?".

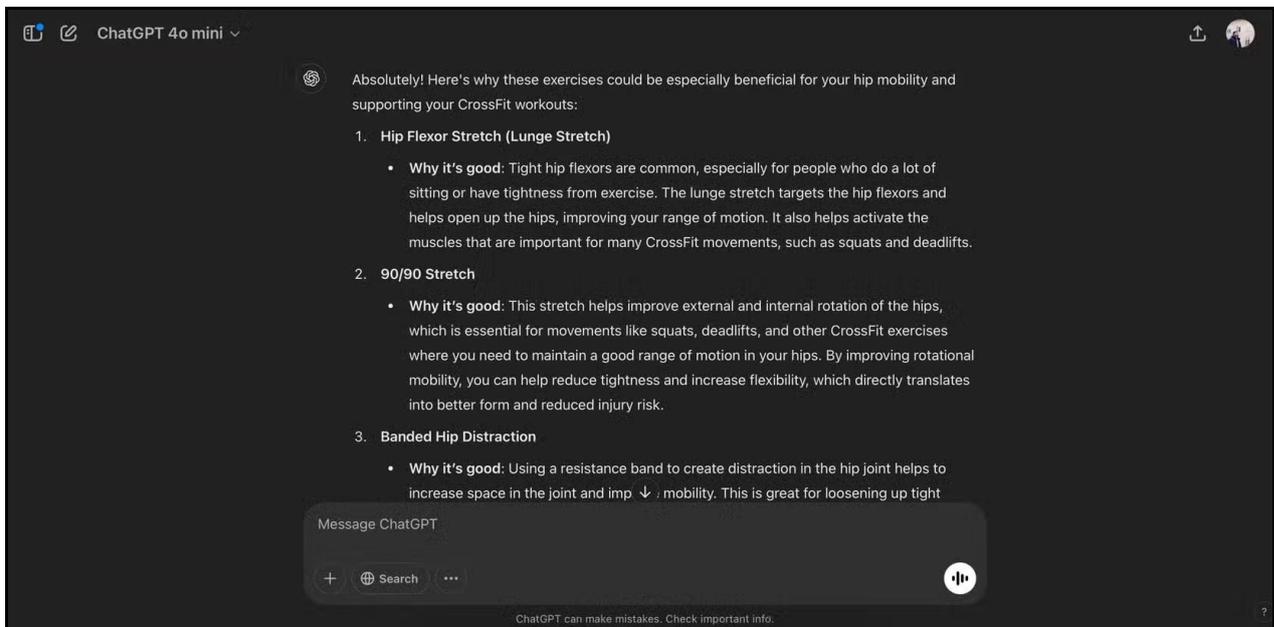


Рисунок 1.5 – Використання коротких сесій

Також можна застосовувати «Custom GPTs» для створення ментальних карт (рисунок 1.6). Спочатку генерується текст, потім - візуальне представлення. За великого обсягу інформації можливі спотворення, але в більшості випадків цей метод працює добре.

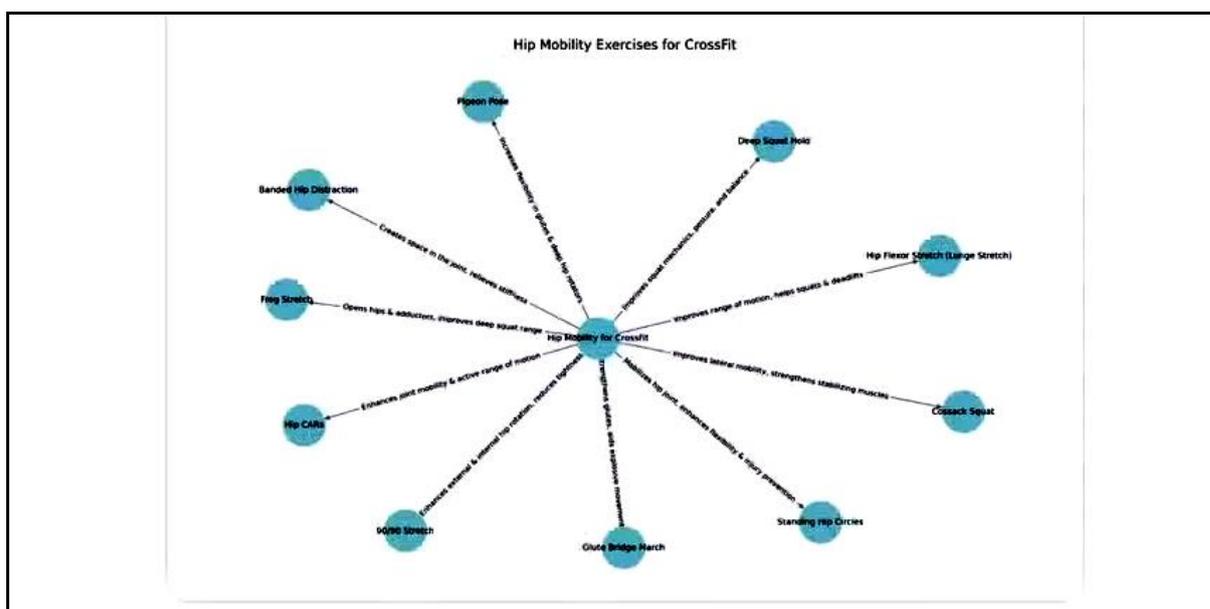


Рисунок 1.6 – Використання ментальних карт

Одне зі слабких місць ШІ - упереджені відповіді. Це усувається, якщо відразу просити об'єктивний і чесний зворотний зв'язок: "Будь ласка, оціни ідеї максимально нейтрально і чесно." Після цього можна запитувати поліпшення і доопрацювання. Такий зворотний зв'язок допомагає розвивати концепції та знаходити нові підходи.

Загалом «ChatGPT» - чудовий засіб для генерації ідей. Модель може підказати несподівані напрямки, про які раніше не доводилося замислюватися. Навіть одна корисна ідея може запустити потік нових думок і свіжих рішень.

Так «ChatGPT» вміє виважено аналізувати аргументи "за" і "проти" в рамках однієї теми. Це робить його ідеальним інструментом для тих, хто хоче розглянути ситуацію з різних точок зору або "посперечатися" із самим собою. Наприклад, ШІ можна попросити розібрати плюси і мінуси фінансування космічних досліджень. З одного боку - розвиток технологій і проривні відкриття, з іншого - значні витрати та соціальні пріоритети. «ChatGPT» викладе аргументи обох сторін і допоможе сформулювати збалансовану думку (рисунок 1.7).

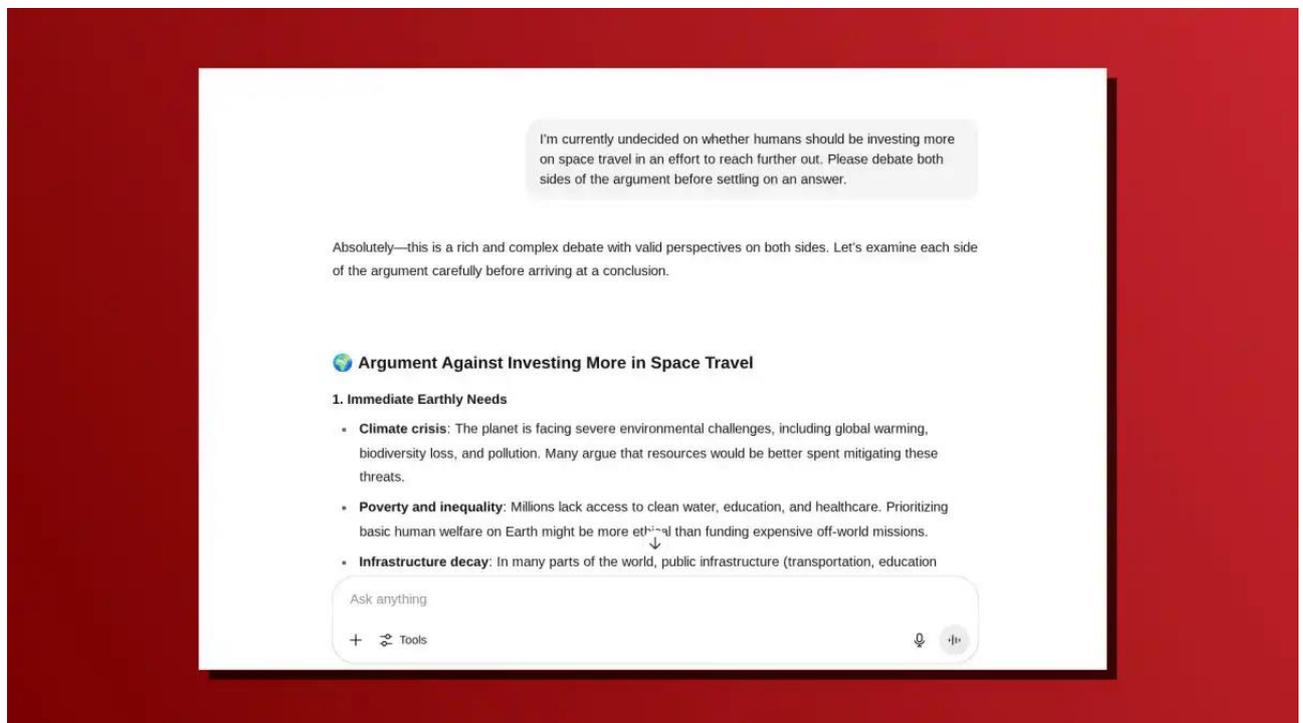


Рисунок 1.7 - ChatGPT вміє виважено аналізувати аргументи "за" і "проти"

Якщо ж ви хочете почути точку зору, яка збігається з вашою - просто попросіть ChatGPT "переконати" вас. Головне - не намагайтеся "погрожувати" ШІ: він більше не ведеться на такі хитрощі.

Якщо потрібна свіжа ідея для стартапу або просто хочеться розважитися, то можна попросити «ChatGPT» придумати нову версію звичного пристрою. Наприклад, як можна поліпшити навушники, зарядку, велосипед або кавоварку (рисунок 1.8).

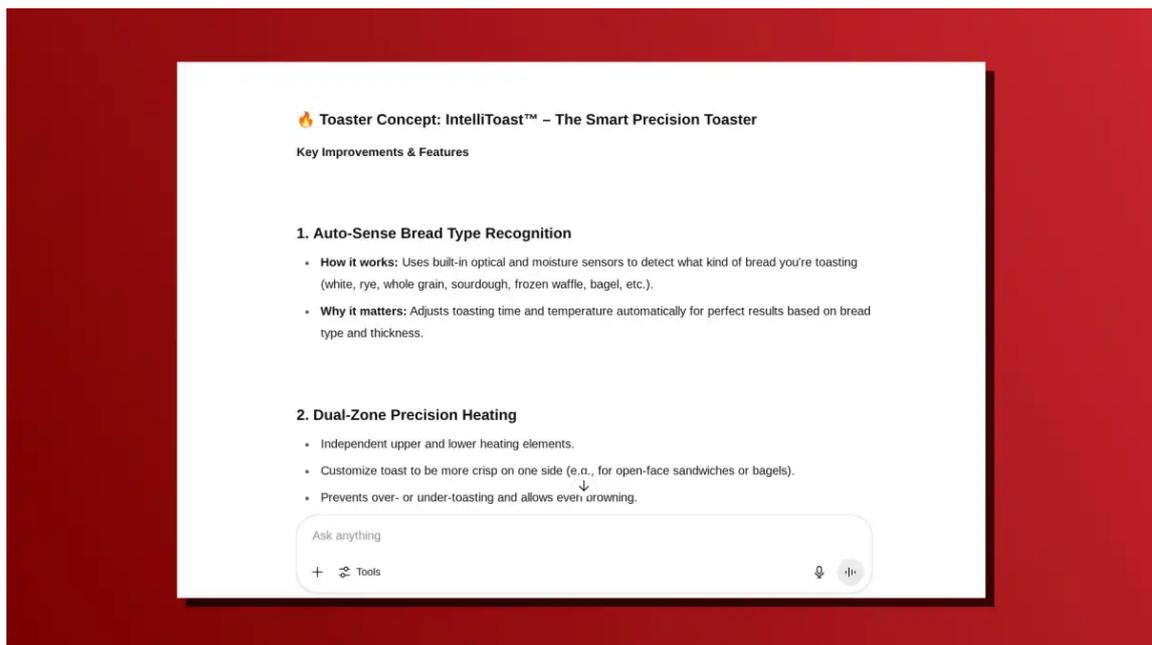


Рисунок 1.8 – Винаходи та покращення звичних речей

Якщо ж у вас уже є абстрактна ідея, але ви не знаєте, як її реалізувати – «ChatGPT» допоможе "розкласти" концепт по етапах: від технічної реалізації до візуального опису. Іноді такі експерименти перетворюються на справжню мозкову атаку (рисунок 1.9).

А зовсім нещодавно компанія «OpenAI» оголосила про запуск «Sora 2» — оновленої моделі штучного інтелекту для генерації відео та аудіо, яка створює ще більш реалістичні відеокліпи [34, 35].

На відміну від попередньої версії, нова система створює довгі відеоролики з плавними переходами між сценами та зберігає реалістичну фізику рухів. У «Sora

2» усунені проблеми з деформацією об'єктів і їх некоректним переміщенням, що дозволяє відтворювати складні дії, зокрема спортивні трюки, відповідно до законів фізики.

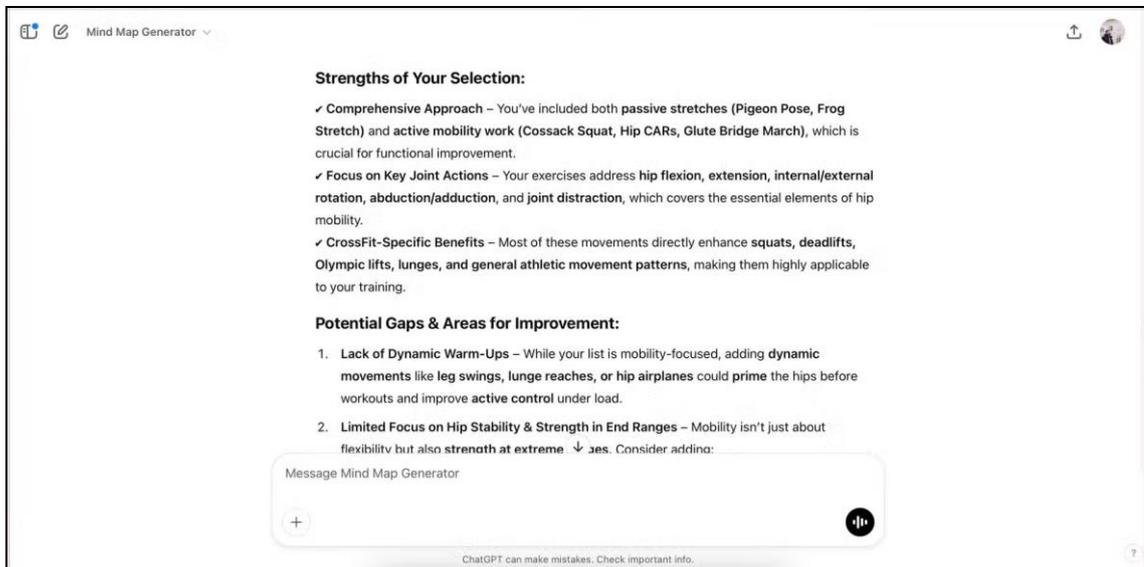


Рисунок 1.9 – Об'єктивно оцінюйте ідеї

Також «OpenAI» випустила докладний посібник про те, як писати запити для моделі створення відео «Sora 2» [37]. Гайд містить рекомендований «скелет» запиту і кілька прикладів його використання англійською мовою - втім, їх можна перекласти українською за допомогою будь-якої неймережі. А потім використовувати в «Sora 2»: вона чудово розуміє українську мову як на вхід (запити), так і на вихід (генерація текстів та озвучення у відео).

1.3 Вибір та аналіз аналогічного технічного рішення

На кафедрі АІТ вже декілька років використовуються для практичного навчання здобувачів вищої освіти зі спеціальності 174 сучасні комп'ютеризовані навчальні засоби (КНЗ), що побудовані за загальною архітектурою, яка показана на рисунку 1.10 [38-43].

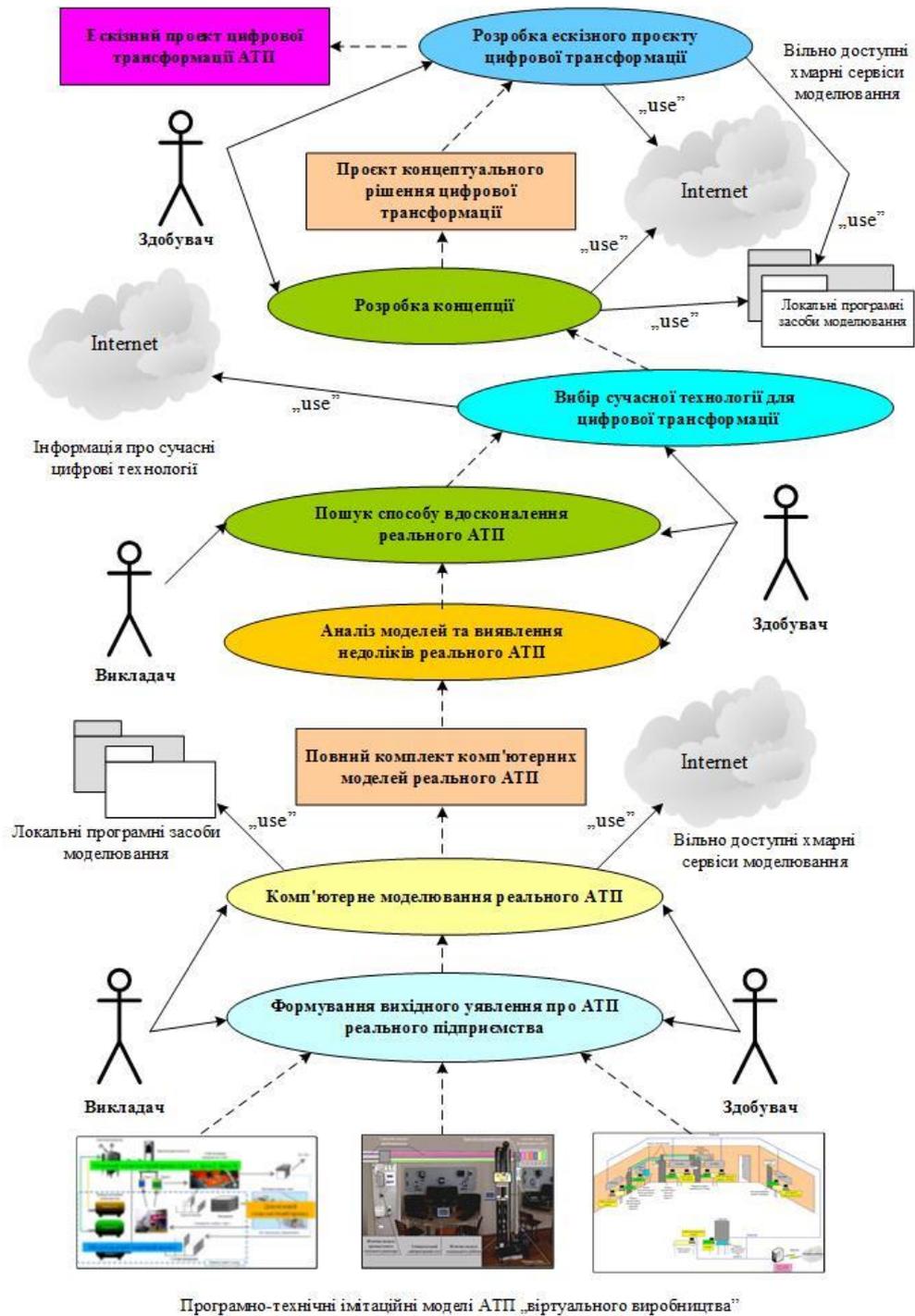


Рисунок 1.10 – Архітектура існуючих комп'ютеризованих навчальних засобів

Ця архітектура дозволяє відтворити в рамках наскрізного проектного практикуму послідовне виконання стратегії цифрової трансформації автоматизованого виробництва, яка давно і активно використовується у світі [13]. На рисунку 1.11 показані основні стадії цієї стратегії:

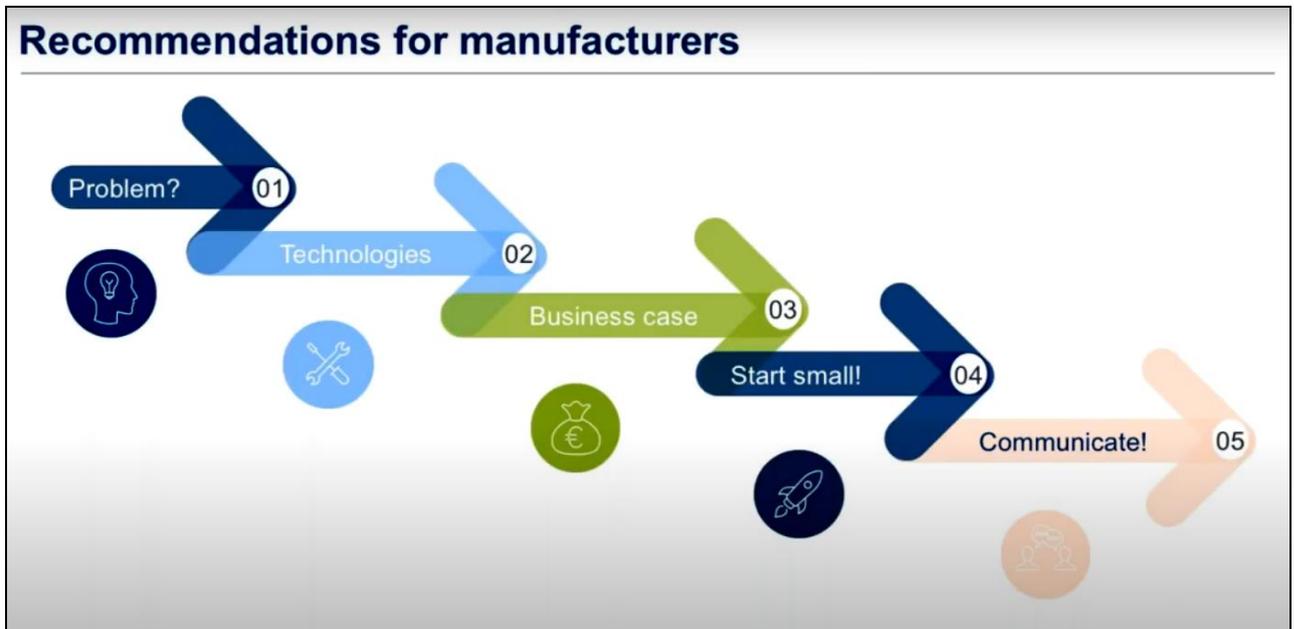


Рисунок 1.11– Оптимальна стратегія цифрової трансформації автоматизованого виробництва

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

Іншою основою даного архітектурного рішення існуючих КНЗ є лабораторні моделі автоматизованого «віртуального» виробництва хімічної продукції, яке реалізоване у лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка» ФІТА. На першій стадії цифрової трансформації його системи автоматизації (екземпляр СА) необхідно сформулювати чітке та деталізоване уявлення щодо можливої фізичної реалізації цієї системи. Це уявлення формується у свідомості

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

На основі отриманої цифрової моделі існуючої СА здобувач 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) здобувач обґрунтовано вибирає найбільш важливий (важливу) і переходить до пошуку способу вдосконалення СА з метою усунення цього недоліку (цієї проблеми). Цей пошук він може виконувати за участі викладача, який надаватиме додаткові консультації та роз'яснення.

Після того, як означені шляхи вдосконалення СА, здобувач здійснює вибір та обґрунтування тієї сучасної цифрової технології (або технологій), що дозволить здійснити намічені вдосконалення СА реального виробництва. При цьому здобувач може використовувати додаткову інформацію з джерел Інтернет.

Коли потрібна цифрова технологія (або технології) вибрана, то здобувач виконує розробку концепції запропонованого рішення цифрової трансформації, використовуючи для цього доступні інструменти хмарних платформ. Готова цифрова модель, що відображає запропоноване концептуальне рішення цифрової трансформації існуючого екземпляру СА реального виробництва, є першим результатом практичного освоєння здобувачем процесу цифрової трансформації. Цей результат може бути отриманий на рівні бакалаврської підготовки за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», наприклад, в рамках дисципліни «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва».

На основі отриманого концептуального рішення здобувач може

продовжити проєктування на існуючому КНЗ і перейти до етапу розробки ескізного проєкту цифрової трансформації. Цей етап характеризується більшою деталізацією проєктних рішень і також передбачає активне використання доступних хмарних сервісів як цифрового моделювання, так і розробки програмних застосунків.

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

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

Описаний вище міцний зв'язок між екземпляром лабораторної СА «віртуального виробництва» та екземпляром СА реального виробництва дозволяє значно скоротити час ознайомлення здобувачів з реальним виробництвом, бо воно працює за тими ж принципами, що і лабораторне «віртуальне», яке здобувачі на практиці вивчають в рамках інших навчальних дисциплін («Проектування систем автоматизації», «Технічні засоби автоматизації» і т. п.).

Крім того, викладач додатково розробляє цифрову графічну модель реального виробництва, щоб здобувач міг далі на її основі змодельовати у цифровій формі СА реального виробництва.

Для прикладу на рисунку 1.12 показаний варіант такої 3D-моделі технічного процесу (ТП) трубопровідної транспортної системи реального виробництва, яка розроблена засобами графічного редактора «Visio».

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

означається не тільки конструкція реального ТП та його принцип дії, але і надається повний перелік встановленого промислового обладнання даного ТП та основні його конструктивні/технічні характеристики.



Рисунок 1.12 – Тривимірна графічна модель ТП трубопровідної транспортної системи реального виробництва

Таку статичну графічну модель реального ТП викладач може «оживити» за допомогою доступного програмного застосунку. Наприклад, останні версії графічного редактора «Visio» за рахунок вбудованих макросів дозволяють додавати до графічних моделей елементи технічної анімації.

Можна використати і доступні програмні системи промислової автоматизації, наприклад «SCADA Movicon 11.6», яку здобувач використовує для автоматизації лабораторного екземпляру ТП.

На рисунку 1.13 показаний варіант «оживлення» тривимірної моделі реального трубопровідного транспорту для фази 1 основного ТП.

З рисунку видно, що зображення ємностей реального ТП постачені штатними лінійчатими кольоровими індикаторами, які відображають динаміку

зміни рівня рідини всередині цих ємностей в результаті вхідних чи вихідних потоків рідин через відповідні трубопроводи, вентиля та насоси (потоки відображаються також штатними засобами анімації таких об'єктів).

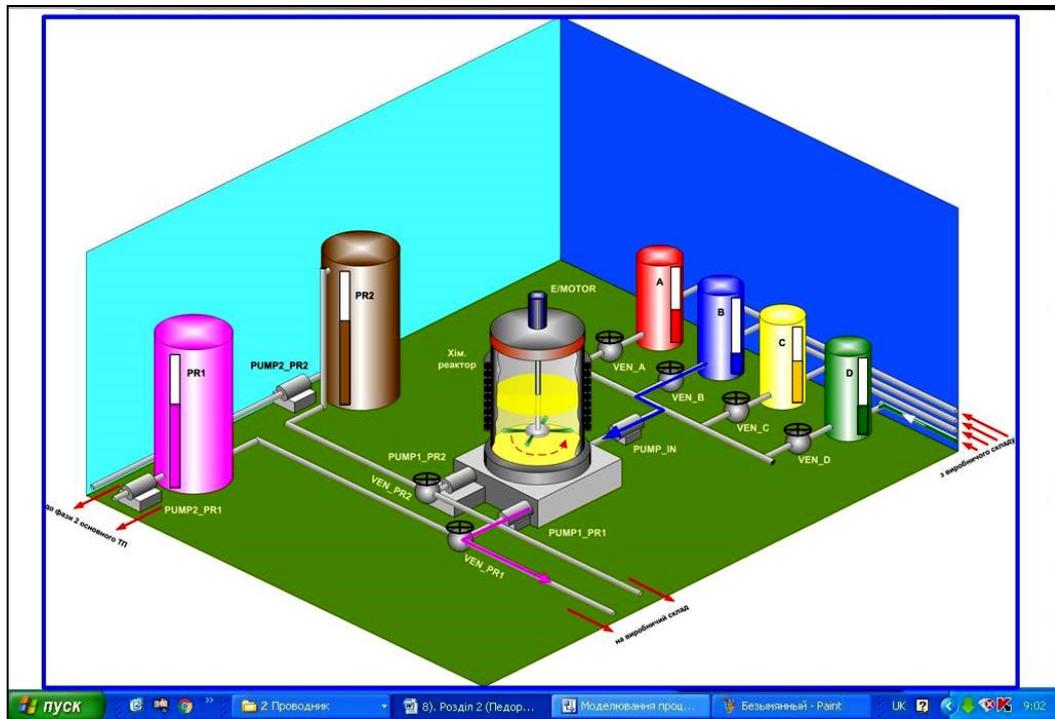


Рисунок 1.13 – Додавання засобів технічної анімації у 3D-модель реального ТП

Логіку роботи такої тривимірної моделі динаміки реального ТП можна програмувати штатними засобами SCADA. Таким чином, здобувачу надається повний комплект комп'ютерних моделей реального ТП промислової транспортної системи, який він зможе далі трансформувати у реальний автоматизований ТП (АТП), використовуючи інші вихідні та додаткові комп'ютерні моделі.

Здобувач використовує при цьому як тривимірну модель реального ТП, надану викладачем, та, якщо є, додаткову модель динаміки цього ТП, так і деякі графічні моделі прикладного ПЗ лабораторної СА, розроблені здобувачем в рамках інших різних професійних дисциплін.

Далі здобувач розробляє модель екземпляру СА реального ТП, яка відображає, по суті, варіант реалізації лабораторної СА, але в умовах реального хімічного підприємства. Ці умови, без сумніву, відрізняються від тих умов, які є в

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

Тому спочатку здобувач обґрунтовано вибирає для реальної СА відповідні зразки промислових технічних засобів автоматизації (ТЗА) і розміщує їх на тривимірній моделі реального ТП, що надана викладачем. Відповідна графічна модель реального автоматизованого ТП показана на рисунку 1.14.

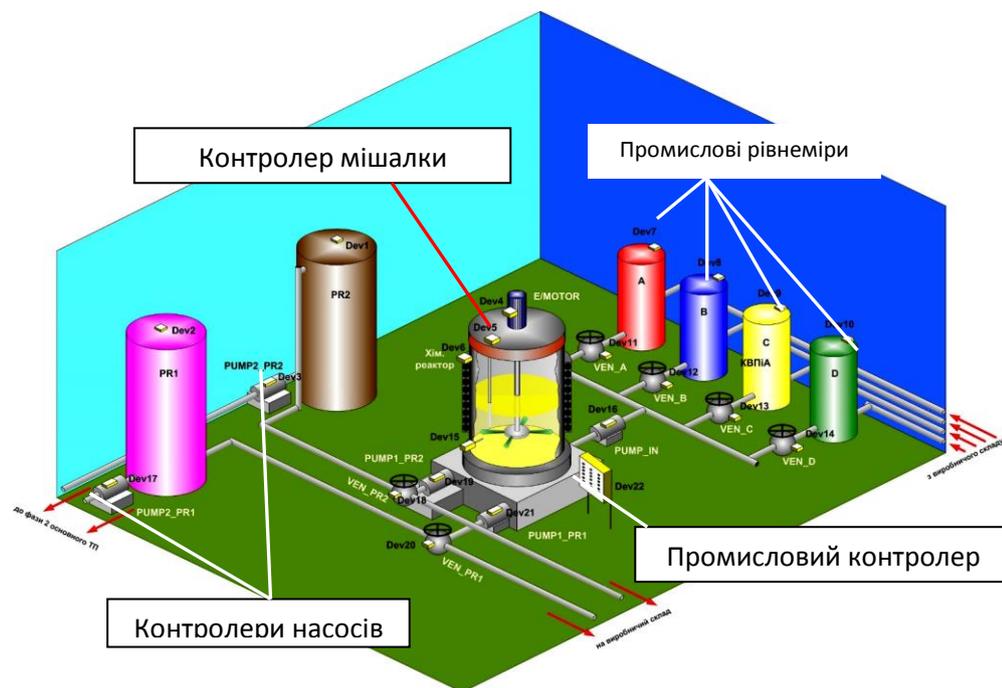


Рисунок 1.14 – Розміщення на тривимірній моделі реального АТП технічних засобів автоматизації

Після розміщення усіх ТЗА на тривимірній моделі реального АТП здобувач проектує систему сигнальної арматури, яка забезпечує передачу електричних сигналів (вимірювання, управління) між промисловим контролером та рештою ТЗА. Для прокладання сигнальних кабелів на реальному підприємстві зазвичай застосовується спеціальна монтажна арматура. На рисунку 1.15 показаний варіант розміщення цієї арматури у приміщенні того ж самого реального АТП.

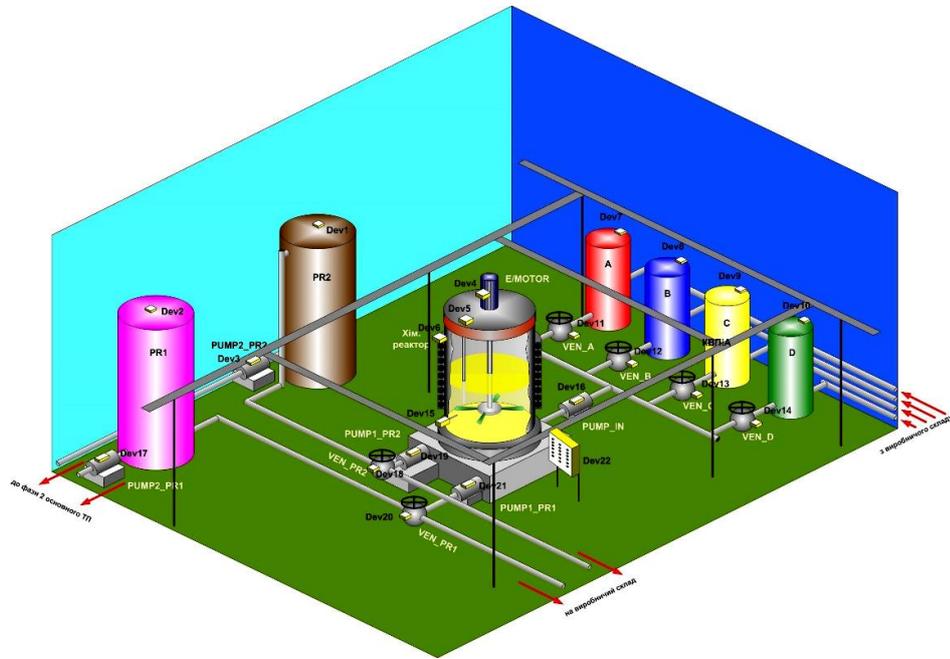


Рисунок 1.15 – Розміщення монтажної арматури для реальної СА

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 розміщення відповідного ТЗА потрібний сигнальний кабель опускається з монтажного профілю і підключається до входів/виходів ТЗА.

В результаті прокладки усіх сигнальних кабелів здобувач отримає тривимірну модель електричного монтажу ТЗА для екземпляру реальної СА (рисунок 1.16). Далі здобувач доповнює тривимірну модель екземпляру реальної СА програмно-технічними засобами оперативного та диспетчерського управління. Оперативне управління має здійснюватися через автоматизоване робоче місце оператора даного типу СА, яке розташовується у окремому приміщенні. Диспетчерське управління як реальним періодичним виробництвом, так і пов'язаними з ним ТП трубопровідного транспортування, має здійснюватися через автоматизоване робоче місце диспетчера виробництва, яке розміщується у окремому приміщенні.

На рисунку 1.17 показаний приклад введення в тривимірну модель реальної СА відповідних робочих місць оператора та диспетчера.

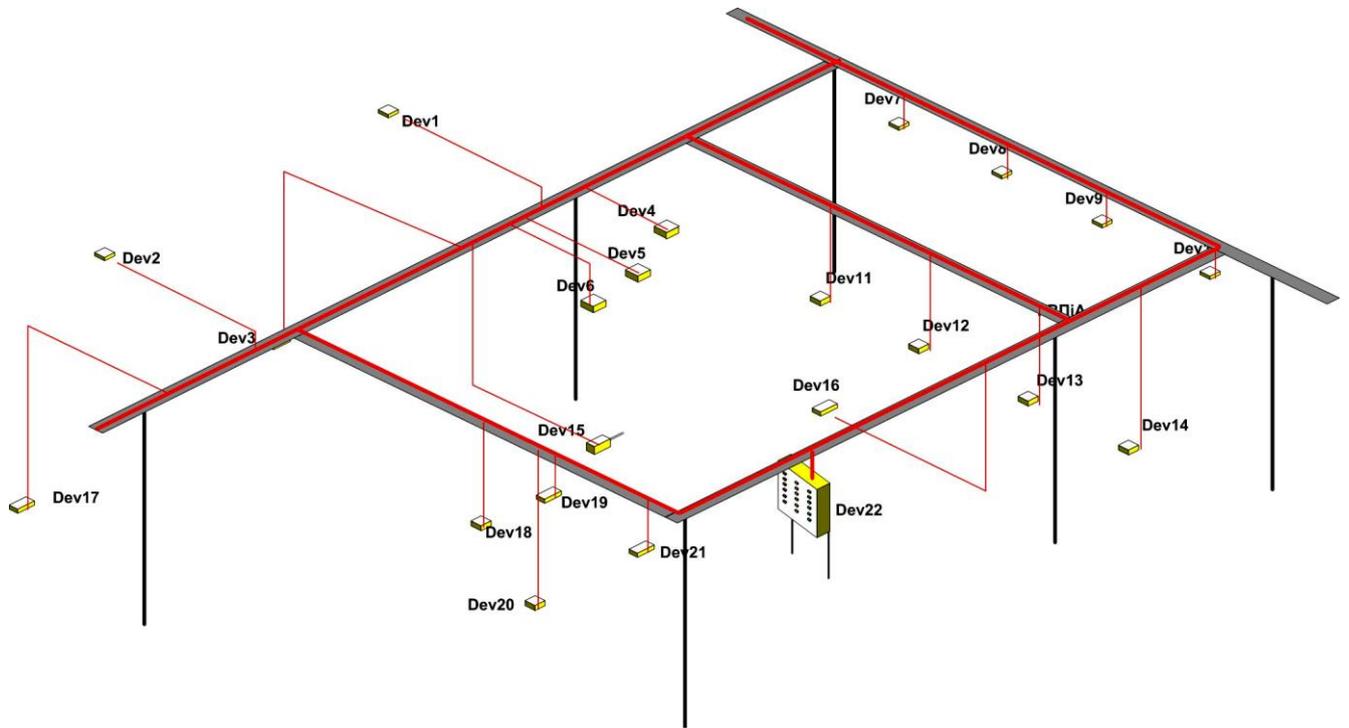


Рисунок 1.16 – Тривимірна модель електричного монтажу ТЗА для реальної СА

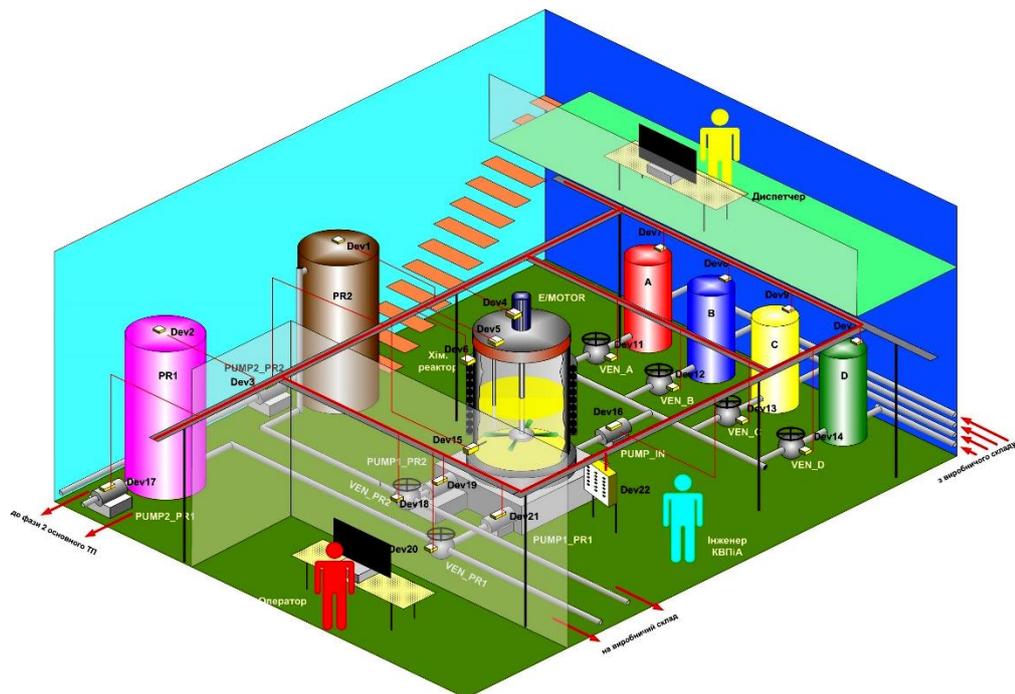


Рисунок 1.17 – Відображення на тривимірній моделі реальної СА автоматизованих робочих місць оператора та диспетчера

Останнє, що робить здобувач, щоб отримати повну тривимірну модель реальної СА, це «прокладає» в приміщенні підприємства корпоративну цифрову мережу, яка з'єднає, наприклад, промисловий контролер СА та автоматизовані робочі місця оператора та диспетчера. На рисунку 1.18 показаний варіант такої тривимірної моделі.

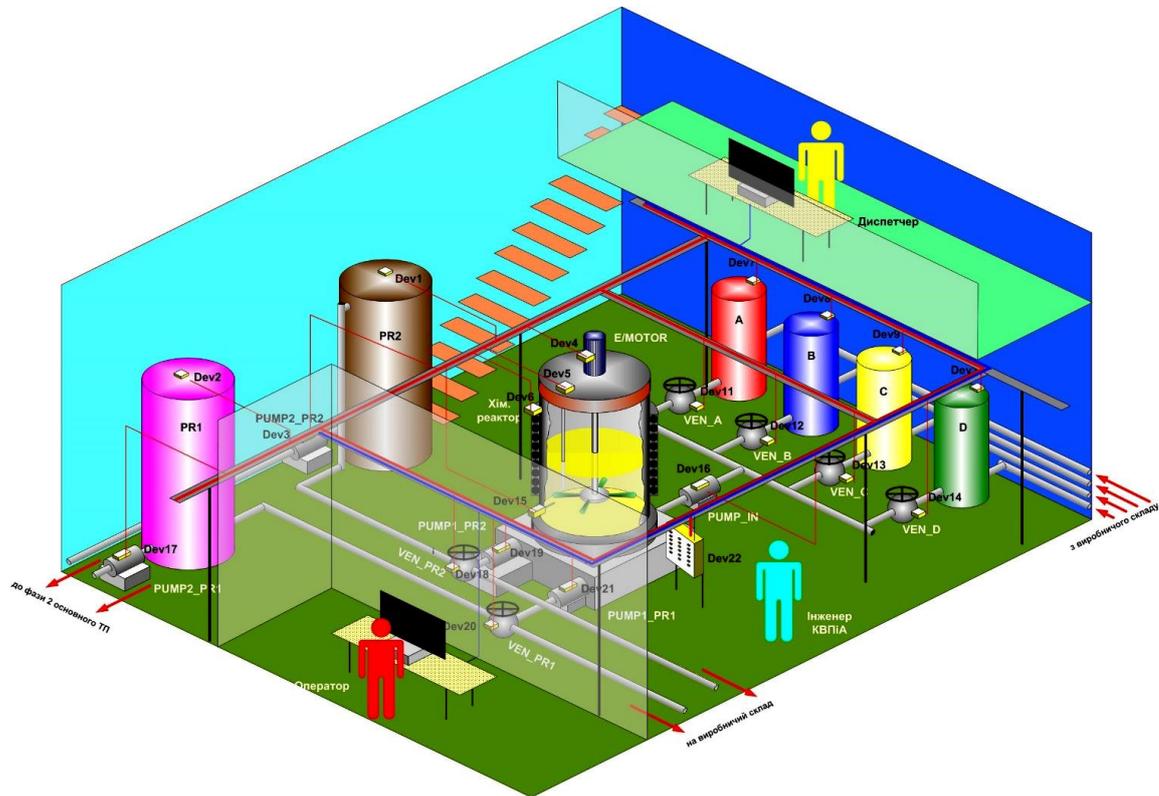


Рисунок 1.18 – «Монтаж» у тривимірній моделі реальної СА корпоративної цифрової мережі

Проаналізуємо тепер описану вище архітектуру існуючих КНЗ для практичного вивчення цифрової трансформації автоматизованого виробництва.

По-перше, вона вимагає від здобувачів досить швидкого і детального вивчення, а далі й глибокого розуміння, реальних ТП та АТП, з якими він на практиці не мав ніякої справи. Тобто це значно ускладнює здобувачу виконання цих навчальних завдань.

По-друге, навіть, якщо здобувач якимось чином в повній мірі зміг би зрозуміти усі особливості організації та виконання того чи іншого реального ТП

чи АТП, то далі він повинен вже чисто уявно, моделюючи у своїй голові, виявити в них ті основні недоліки (проблеми), які їм притаманні з точки зору численних вимог нової концепції «Індустрія 4.0». А це ще більш складне навчальне завдання, яке вимагає від здобувача певного практичного досвіду та знань з експлуатації цих реальних ТП чи АТП. Дійсно, якщо б здобувач працював на даному реальному виробництві тривалий час, то недоліки (проблеми) виявлялись би самі по собі в ході виконання виробничих завдань. Але здобувач не має такого практичного досвіду і тому виконати самостійно такий аналіз йому дуже важко.

По-третє, після виявлення того чи іншого недоліку (проблеми) реального ТП чи АТП здобувач має виконувати ще більш складне навчальне завдання – дослідити предметну область «Індустрія 4.0», яка зараз стрімко розвивається і ще остаточно не сформована, а потім і вибрати ті існуючі цифрові технології, які дозволять усунути виявлені недоліки реального ТП чи АТП, тобто, зробити їх цифрову трансформацію. Це завдання занадто складне тому, що здобувач ніколи не працював в даній предметній області, ця область дуже обширна і стрімко збільшується, а тому на даний час знання в ній тільки формуються. Навіть короткочасна допомога викладача не прискорить виконання даного завдання, бо здобувач обов'язково повинен виконати його самостійно, витрачаючи на це купу часу.

По-четверте, останні стадії навчального практикуму передбачають виконання здобувачем проєктних робіт, пов'язаних як з застосуванням тієї чи іншої новітньої цифрової технології, наприклад штучного інтелекту, так і з доведенням працездатності проєктного рішення, наприклад шляхом його цифрового моделювання. Для цього треба не тільки розібратися у вибраній цифровій технології, але і отримати практичний досвід роботи з відповідним інструментом цифрового моделювання.

По-п'яте, виходячи з існуючої практики організації навчального процесу, кількість годин навчального навантаження, що виділяється на проєктний практикум, кожного року тільки зменшується. Тому здобувачу надається все менше і менше часу на виконання навчальних завдань, а всі описані вище складності, залишаються.

1.4 Розробка архітектури нового комп'ютеризованого навчального засобу для проєктного практикуму

Враховуючи ті недоліки, які були виявлені при аналізі аналогічного технічного рішення комп'ютеризованого навчального засобу (див. розділ 3), а також усі ті величезні можливості, які надають здобувачам вищої освіти інструменти штучного інтелекту (ШІ-інструменти) для ефективного самостійного освоєння та дослідження нових областей знань, була розроблена архітектура вдосконаленого комп'ютеризованого навчального засобу для практичного вивчення здобувачами цифрової трансформації екземпляру промислової системи автоматизації (рисунок 1.19).

Ця архітектура також дозволяє відтворити в рамках наскрізного проєктного практикуму послідовне виконання описаної вище стратегії цифрової трансформації як автоматизованого виробництва (АВ) чи технологічного процесу (АТП), так і будь-якої його системи автоматизації (СА). В основу даного архітектурного рішення також покладена існуюча лабораторна модель автоматизованого «віртуального» хімічного виробництва, яке реалізоване у лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка» ФІТА (також описана вище).

Проте суттєво змінені інструменти виконання здобувачем кожної стадії зазначеної стратегії цифрової трансформації (ЦТ). Так метою першої стадії цифрової трансформації промислової системи автоматизації (екземпляр СА) також є формування чіткого та деталізованого уявлення щодо фізичної реалізації цієї системи в умовах реального виробництва (АВ, АТП). Спочатку це уявлення формується у свідомості здобувача в ході практичного вивчення ним автоматизованого лабораторного «віртуального» виробництва, яке керується так само, як і реальне виробництво. При цьому викладач готує і надає здобувачу усі необхідні методичні матеріали.

Після того, як у здобувача буде сформоване таке перше уявлення про екземпляр СА/АТП, викладач і здобувач виконують по черзі розробку цифрових моделей цієї системи автоматизації в умовах реального промислового виробництва (АТП). Ці моделі повинні відображати головні властивості

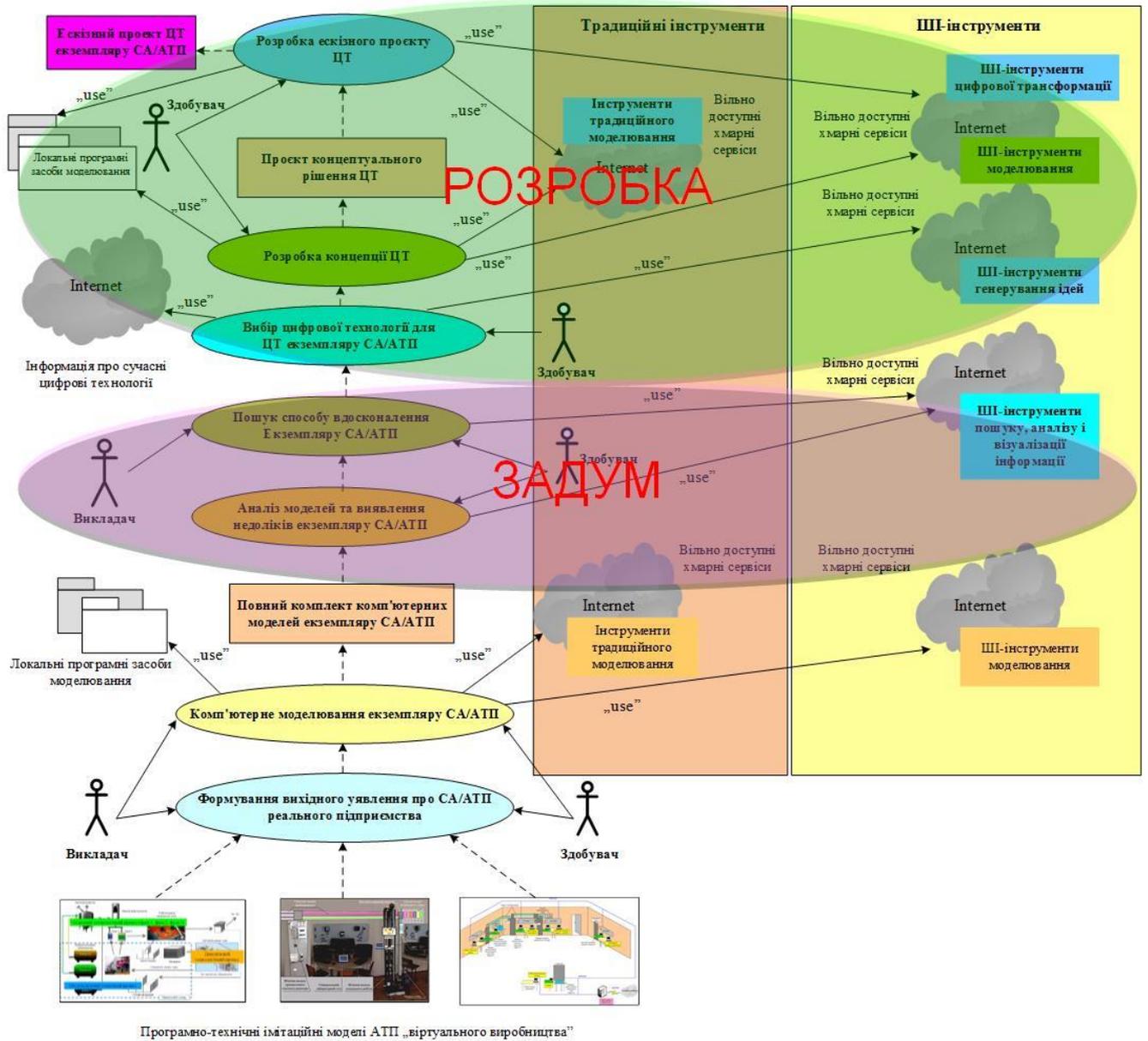


Рисунок 1.19 – Архітектура нового комп'ютеризованого навчального засобу

та особливості фізичної реалізації даного екземпляру реальної системи. Розробку деяких з цих моделей спочатку виконує викладач при підготовці навчальних завдань, а потім їх доповнює здобувач, виконуючи індивідуальне завдання в рамках проєктного практикуму. В результаті усіх описаних дій формується комплект цифрових моделей екземпляру СА/АТП реального промислового виробництва, яке побудоване за концепцією «Індустрія 3.0». Ці цифрові моделі в будь-який час можна переглядати за допомогою відповідних програмних засобів на комп'ютері лабораторії.

Для ефективного виконання здобувачем описаного цифрового моделювання екземпляру СА/АТП пропонується застосовувати як вільно доступні хмарні інструменти традиційного цифрового моделювання (наприклад двовимірні чи тривимірні графічні моделі, створені людиною), так і вільно доступні хмарні ІІІ-інструменти цифрового моделювання (наприклад автоматично створені за описом статичні або динамічні зображення, або автоматично створене відео).

Далі на основі отриманої цифрової моделі екземпляру СА/АТП реального підприємства здобувач виконує його аналіз з метою визначення тих чи інших недоліків (проблем), які в подальшому можна буде усунути шляхом його цифрової трансформації (стадія «Задум» проєктного практикуму).

В новій архітектурі КНЗ пропонується при виконанні здобувачем цього аналізу застосовувати і допомогу відповідного ІІІ-інструменту дослідника, який здатний розуміти розроблені цифрові моделі екземпляру СА/АТП (графічні та текстові), аналізувати таку інформацію, порівнюючи з відповідними Інтернет-джерелами, і давати свої висновки. Це значно прискорить процес пошуку недоліків (проблем), а здобувач при цьому виступає вже в ролі інспектора/експерта, який самостійно аналізує означені ІІІ-інструментом недоліки (проблеми) і вибирає з них, по-перше, найбільш реалістичні, по-друге, найбільш суттєві.

З усіх знайдених таким чином недоліків (проблем) здобувач обґрунтовано вибирає найбільш важливий (важливу) і переходить до пошуку способу вдосконалення даного екземпляру СА/АТП реального підприємства з метою усунення цього недоліку/проблеми (стадія «Задум»). Зазвичай, цей пошук здобувач може виконувати за участі викладача, який надаватиме йому додаткові консультації та роз'яснення. Проте в новій архітектурі КНЗ при виконанні здобувачем цього вибору пропонується застосовувати і допомогу відповідного ІІІ-інструменту дослідника, який здатний аналізувати інформацію, пов'язану з даною проблемою, шукати аналогічні випадки її розв'язання як по Інтернет-джерелах (вільний пошук), так і по сформованому здобувачем (викладачем) переліку таких джерел (обмежений пошук), та формувати свої рекомендації за результатами пошуку. Це також значно прискорить процес вибору здобувачем

способу вдосконалення даного екземпляру СА/АТП, а здобувач знову може відігравати роль інспектора/експерта, який самостійно аналізує запропоновані ШІ-інструментом способи і самостійно вибирає з них, по-перше, найбільш реалістичний, по-друге, найбільш ефективний.

Після того, як вибір способу вдосконалення екземпляру СА/АТП зроблений, здобувач здійснює вибір та обґрунтування тієї сучасної цифрової технології (або технологій), що дозволить реалізувати намічені вдосконалення або реальної СА, або реального АТП (стадія «Розробка»). При цьому здобувач обов'язково повинен використовувати поточну інформацію з Інтернет, бо область знань з цифрових технологій невпинно розвивається та ускладнюється.

Тому для допомоги здобувачу пропонується використовувати відповідний ШІ-інструмент, який вміє шукати потрібну інформацію по сучасних цифрових технологіях та пропонувати (генерувати) ідеї щодо їх можливого застосування при вирішенні наявної проблеми. І в цьому випадку здобувач також може відігравати роль інспектора/експерта, який самостійно аналізує запропоновані ШІ-інструментом цифрові технології та способи їх застосування, а також самостійно вибирає найкраще технічне рішення.

Коли потрібна цифрова технологія (або технології) вибрана (вибрані), то здобувач виконує розробку концепції запропонованого рішення цифрової трансформації (стадія «Розробка»), використовуючи для цього доступні інструменти хмарних платформ і традиційного цифрового моделювання (здобувач виконує самостійно), і ШІ-моделювання (автоматичне за запитом здобувача).

Готова цифрова модель, що відображає запропоноване концептуальне рішення цифрової трансформації екземпляру СА/АТП реального виробництва, є першим результатом практичного освоєння здобувачем процесу цифрової трансформації. Цей результат може бути отриманий на рівні бакалаврської підготовки за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», наприклад, в рамках дисципліни «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва».

На основі отриманого концептуального рішення здобувач може продовжити проектування ЦТ на новому КНЗ і перейти до етапу розробки

ескізного проєкту цифрової трансформації (стадія «Розробка» проєктного практикуму). Цей етап характеризується більшою деталізацією проєктних рішень і також передбачає активне використання доступних хмарних сервісів як цифрового моделювання (традиційного та на основі ШІ), так і розробки програмних застосунків (наприклад моделі ШІ, яка дозволяє усунути виявлену проблему екземпляра СА/АТП), тобто застосувати ШІ у ролі інструменту цифрової трансформації.

Результатом даного етапу проєктування є ескізний проєкт цифрової трансформації екземпляру СА/АТП реального виробництва, яка представлена у вигляді відповідної цифрової моделі. Цю модель можна переглядати за допомогою або хмарних додатків цифрового моделювання, або через локальні програмні засоби на комп'ютері лабораторії. Даний ескізний проєкт може бути результатом практичного освоєння процесу цифрової трансформації магістрами спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», наприклад, в рамках дисципліни «Промисловий Інтернет речей».

1.5 Висновки до розділу

В результаті виконання науково-технічного та техніко-економічного обґрунтування магістерської кваліфікаційної роботи було проведено дослідження предметної області цифрової трансформації промислового виробництва, зроблений аналіз освітнього середовища типу «віртуальне виробництво», на основі якого доцільно створити новий комп'ютеризований навчальний засіб. Такий навчальний засіб буде сприяти формуванню у студентів спеціальності 174 практичних умінь та навичок у здійсненні цифрової трансформації існуючих на виробництві систем автоматизації. Розроблена загальна архітектура нового комп'ютеризованого навчального засобу з застосуванням елементів штучного інтелекту. Такий навчальний засіб можна буде використовувати в рамках кількох професійних дисциплін бакалаврського та магістерського рівнів підготовки фахівців спеціальності 174.

2 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «ЗАДУМ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕКЗЕМПЛЯРУ СА І3.0»

2.1 Загальне бачення

Як було зазначено у попередньому розділі, новий комп'ютеризований навчальний засіб (КНЗ) дозволяє здобувачам в рамках проєктного практикуму вивчати процес цифрової трансформації екземпляру промислової системи автоматизації (СА), побудованої за концепцією «Індустрія 3.0» (СА І3.0), у більш досконалу СА, що побудована за концепцією «Індустрія 4.0» (СА І4.0). При цьому, по суті, формується життєвий цикл даного екземпляру СА, на протязі якого створюється нова її версія, а саме, СА І4.0.

Крім того, згідно з загальною архітектурою нового КНЗ (див. рисунок 1.19), здобувачі вивчають на практиці такий процес цифрової трансформації шляхом виконання відповідних проєктних робіт, послідовність яких вдовольняє вимоги діючих стандартів.

Наприклад, у таблиці 2.1 наведені рекомендовані міжнародним стандартом ДСТУ ISO ІЕС ІЕЕЕ 15288_2016 [44] стадії життєвого циклу автоматизованих інформаційних систем (АІС) та їх цілі.

Таблиця 2.1 – Стадії життєвого циклу АІС згідно з ДСТУ ISO ІЕС ІЕЕЕ
15288_2016

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

Як видно з таблиці, проєктування нових автоматизованих інформаційних систем (АІС) починається зі стадії «Задум» і продовжується на стадії «Розробка». Далі йде реалізація проєктних рішень АІС на конкретному виробництві.

Тому для нового КНЗ і треба спроектувати процеси виконання здобувачами цих основних стандартних стадій життєвого циклу екземпляру промислової СА, в результаті чого в рамках проєктного практикуму і буде реалізована цифрова трансформація СА.

По-перше, розділимо вказані стандартні стадії життєвого циклу на етапи. Так, стадію «Задум цифрової трансформації екземпляру СА ІЗ.0» розділимо на два послідовні етапи – «Аналіз екземпляру СА/АТП ІЗ.0» та «Формування ідеї цифрової трансформації», а стадію «Розробка цифрової трансформації екземпляру СА ІЗ.0» розділимо на такі два етапи – «Концепція цифрової трансформації» та «Ескізний проєкт цифрової трансформації».

По-друге, представимо загальне бачення процесу виконання стадії «Задум цифрової трансформації екземпляру СА ІЗ.0» у вигляді діаграми станів мови UML (рисунок 2.1 і додаток Б).

Згідно з розробленою вище архітектурою нового КНЗ, на попередній стадії «Моделювання екземпляру СА/АТП ІЗ.0» практичного вивчення цифрової трансформації розробляється повний комплект комп'ютерних моделей екземпляру СА ІЗ.0 та відповідного АТП ІЗ.0, в результаті чого у здобувача формується повне уявлення про їх будову та принцип дії.

Далі на першому етапі «Аналіз екземпляру СА/АТП ІЗ.0» стадії «Задум цифрової трансформації екземпляру СА ІЗ.0» викладач та здобувач самостійно та з залученням відповідних інструментів штучного інтелекту (ШІ) досліджують предметну область „розумного” автоматизованого виробництва (АВ І4.0). В результаті викладач перед початком проєктного практикуму розробляє відповідні навчально-методичні матеріали щодо властивостей „розумного” АВ І4.0, а здобувач та задіяний штучний інтелект доповнюють ці матеріали вже в ході проєктного практикуму. Такий алгоритм дій пояснюється тим, що на сьогодні ще не сформоване остаточне визначення поняттю «розумне» АВ І4.0, а тому його предметна область постійно змінюється і доповнюється.

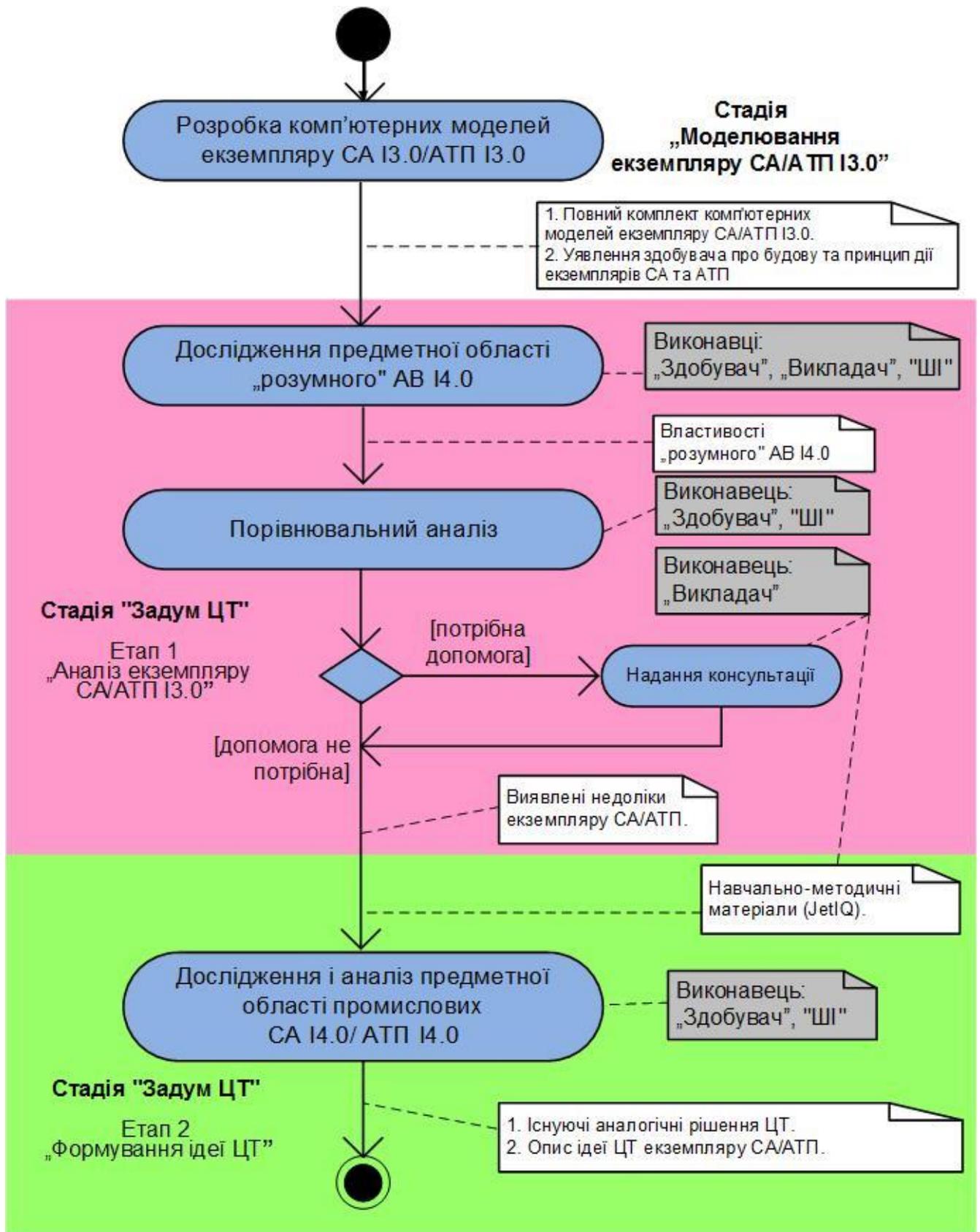


Рисунок 2.1 – Загальне бачення процесу виконання стадії «Задум цифрової трансформації екземпляру СА 13.0»

Після проведених даних досліджень предметної області „розумного" АВ І4.0 буде сформований поточний перелік його властивостей/ознак.

Далі здобувач, використовуючи цей перелік, виконує порівняння властивостей існуючого екземпляру СА/АТП І3.0 хімічного виробництва з окремими властивостями/ознаками «розумного» автоматизованого виробництва (АВ І4.0), аналізує результат кожного порівняння та складає перелік тих недоліків даного екземпляру СА/АТП І3.0, які далі і можна буде усунути шляхом впровадження перспективних цифрових технологій, тобто шляхом цифрової трансформації.

Після означення недоліків існуючого екземпляру СА/АТП І3.0, здобувач самостійно або за вказівкою викладача вибирає з цих недоліків один й переходить до виконання наступного етапу цієї стадії проєктного практикуму – «Формування ідеї цифрової трансформації». В ході цього етапу здобувач повинен обґрунтовано вибрати той спосіб вдосконалення екземпляр СА/АТП І3.0, який перетворить цей екземпляр у його нову версію СА/АТП І4.0. Іншими словами, здобувач має сформуванати загальну ідею цифрової трансформації.

Даний етап здобувач повинен виконувати самостійно або з залученням доступних інструментів штучного інтелекту, але викладач має обов'язково надавати йому відповідний навчально-методичний матеріал, консультації та додаткові роз'яснення.

Щоб кваліфіковано сформуванати ідею цифрової трансформації здобувач обов'язково повинен ретельно дослідити предметну область «Промислові системи автоматизації та автоматизовані технологічні процеси І4.0», використовуючи при цьому як доступні ресурси Інтернет, так і надані викладачем навчально-методичні матеріали. Для дослідження здобувач може застосовувати і відповідні інструменти штучного інтелекту. В результаті дослідження необхідно знайти приклади цифрової трансформації аналогічних реальних СА/АТП, аналіз яких і дозволить далі запропонувати реалістичну ідею найбільш ефективної цифрової трансформації існуючого екземпляру СА/АТП І3.0 хімічного виробництва.

Таким чином, результатом виконання стадії «Задум цифрової трансформації екземпляру СА І3.0» стане детальний опис ідеї виконання ЦТ.

2.2 Алгоритм виконання етапу «Аналіз екземпляру СА/АТП І3.0»

Розробимо тепер методику виконання першого етапу даної стадії проєктного практикуму, а саме, етапу «Аналіз екземпляру СА/АТП І3.0». Згідно з загальним баченням процесу виконання цього етапу (див. рисунок 2.1) проєктний практикум починається з дослідження предметної області «розумного» автоматизованого виробництва (АВ І4.0), яке побудовано за ідеями четвертої промислової революції «Індустрія 4.0». Таке дослідження має проводити і викладач, і здобувач, застосовуючи при цьому і інструменти штучного інтелекту.

Метою цього дослідження є перелік основних властивостей/ознак АВ І4.0, які далі можна буде порівнювати з властивостями/ознаками існуючого екземпляру СА/АТП І3.0 і шляхом аналізу результатів цього порівняння формувати перелік недоліків даного екземпляру СА/АТП І3.0.

Викладач, виконуючи дослідження предметної області, формує свій перелік властивостей/ознак АВ І4.0 і викладає їх у системі JetIQ ВНТУ на початку проєктного практикуму як навчально-методичні матеріали. При цьому, враховуючи сучасний погляд на концепцію «Індустрія 4.0», викладач виявлені властивості/ознаки АВ І4.0 може розділити на такі групи [45]:

- «Економічні властивості/ознаки»;
- «Технічні/функціональні властивості/ознаки»
- «Соціальні/суспільні властивості/ознаки».

Здобувач, виконуючи цей етап проєктного практикуму, в першу чергу вивчає надані викладачем навчально-методичні матеріали, в тому числі і створений викладачем перелік властивостей/ознак АВ І4.0, а потім або самостійно (наприклад шляхом традиційного пошуку інформації через сервіси платформи Google), або з залученням відповідних інструментів ШІ (наприклад тієї ж платформи Google), досліджує поточний стан предметної області «розумного» автоматизованого виробництва (АВ І4.0) і по можливості доповнює перелік викладача новими властивостями/ознаками АВ І4.0, які, бажано, стосуватимуться саме хімічного виробництва, яке покладене в основу проєктного практикуму.

Для того, щоб спростити та прискорити викладачу й здобувачу виконання цього етапу проєктного практикуму, пропонується при дослідженні предметної області «розумного» АВ І4.0 застосовувати відповідний інструмент ШІ, наприклад «NotebookLM» компанії Google [25, 26]. Так, завантаживши в цей інструмент ШІ усі посилання на знайдені джерела Інтернет, до яких є довіра, можна дати команду проаналізувати їх усі і зробити коротке резюме, наприклад про властивості/ознаки «розумного» АВ І4.0, які згадуються у цих джерелах. Крім тексту резюме ШІ може відобразити і ментальну карту проведеного ним дослідження, на якій позначаються усі виявлені поняттями даної предметної області та логічні зв'язки між ними (рисунок 2.2) [46].

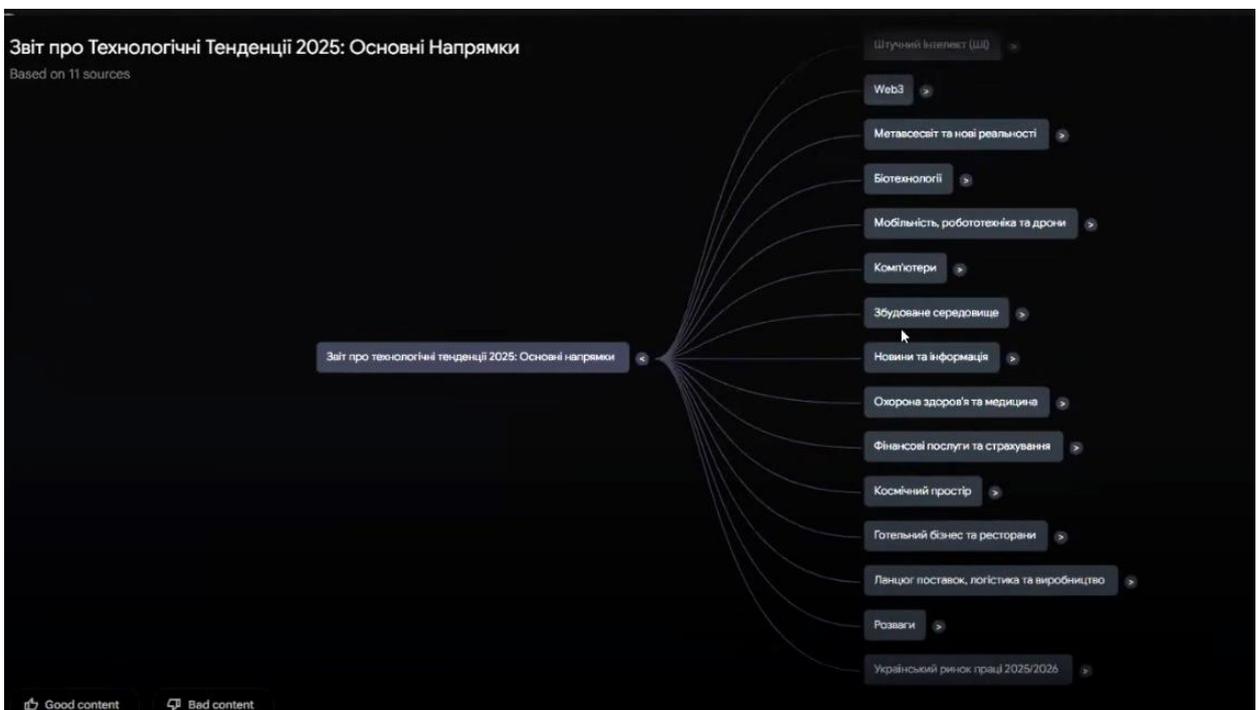


Рисунок 2.2 – Приклад проведення дослідження за допомогою ментальної карти

Якщо ж таке дослідження буде самостійно роботи викладач чи здобувач, то їм потрібно буде ознайомитись з текстом кожного джерела, проаналізувати його, знайти згадування про якусь властивість/ознаку АВ І4.0 і зафіксувати її у відповідному розділі загального переліку. Зрозуміло, що це дуже тривалий та трудомісткий процес.

Розглянемо тепер методику виконання здобувачем (самостійно або з залученням відповідного інструменту ШІ) подальшого порівнювального аналізу властивостей/ознак екземпляру СА/АТП ІЗ.0 з властивостями/ознаками «розумного» АВ І4.0. В першу чергу дослідимо здатність ШІ належним чином сприймати той чи інший опис екземпляру СА/АТП ІЗ.0, виділяючи з цього опису потрібні властивості/ознаки.

Наприклад, завантажимо спочатку у доступний інструмент «ChatGPT» графічну комп'ютерну модель автоматизованого виробництва ІЗ.0, яку розробляє викладач в рамках даного проєктного практикуму (рисунок 2.3).

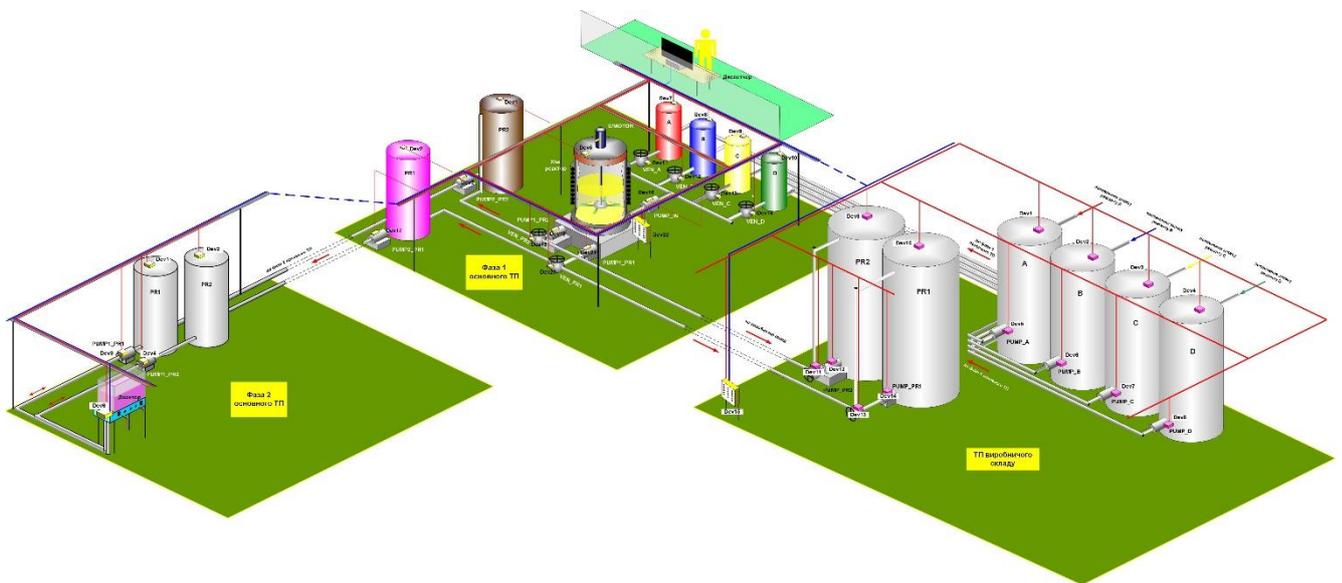


Рисунок 2.3 – Опис автоматизованого виробництва ІЗ.0 у вигляді графічної моделі

На цій моделі крім зображень технологічного устаткування (технологічні та технічні виробничі об'єкти) є зображення елементів системи автоматизації (робочого місця диспетчера, датчики рівня, контролери насосів і т. п.) з короткими символічними позначеннями.

Даємо ШІ команду розпізнати даний автоматизований виробничий процес по завантаженому його зображенню та виділити в ньому основні складові частини (елементи, об'єкти, вузли, компоненти).

На рисунку 2.4 показані результати проведеного аналізу зображення АВ.

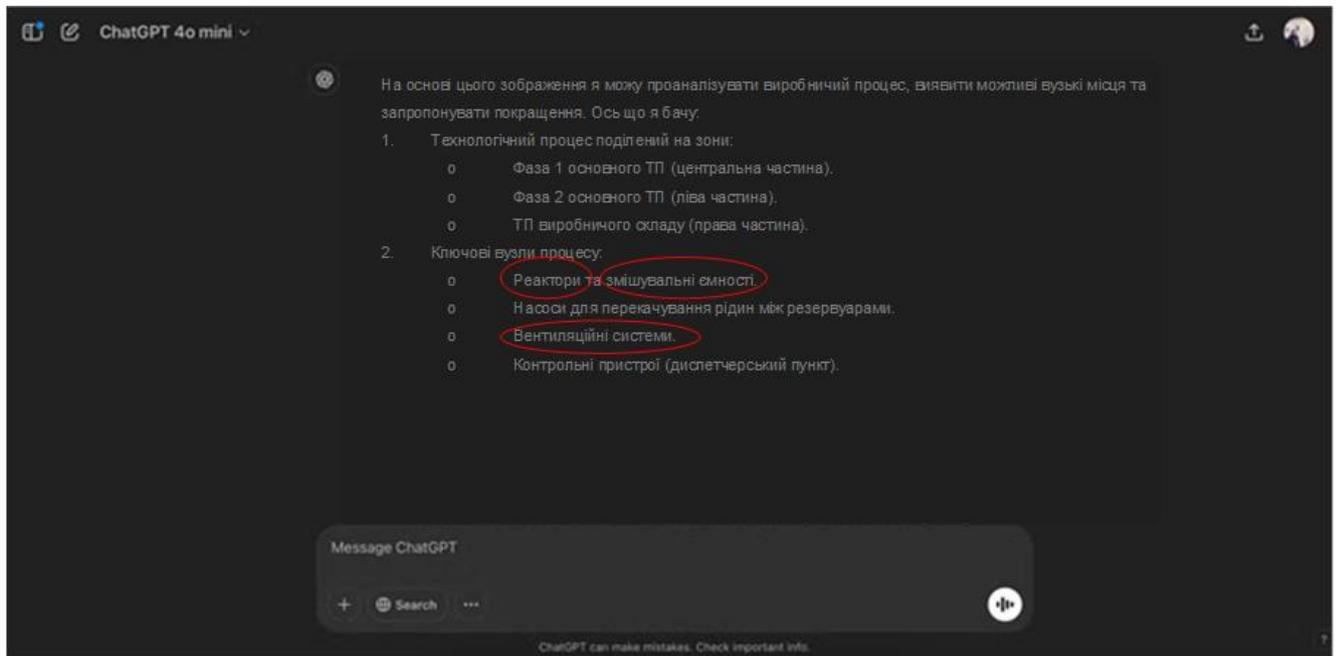


Рисунок 2.4 – Результат розпізнавання зображення АВ ІЗ.0 в «ChatGPT»

Як видно з рисунку, ШІ побачив цей виробничий процес так:

- 1). Технологічний процес поділений на зони:
 - o Фаза 1 основного ТП (центральна частина).
 - o Фаза 2 основного ТП (ліва частина).
 - o ТП виробничого складу (права частина).
- 2). Ключові вузли процесу:
 - o Реактори та змішувальні ємності.
 - o Насоси для перекачування рідин між резервуарами.
 - o Вентиляційні системи.
 - o Контрольні пристрої (диспетчерський пункт).

Видно, що ШІ дуже узагальнено підійшов до розпізнавання вузлів АВ, а в деяких з них суттєво помилився: на зображенні є тільки один реактор, ємності не є змішувальними та на зображенні немає вентиляційних систем. Крім того, зовсім не виділені інші технічні засоби автоматизації – датчики, контролери, вентилі. Скоріше за все такий результат пояснюється занадто великим і складним зображенням АВ. Тому спробуємо зменшити розмір комп'ютерної моделі АВ, завантаживши у «ChatGPT» зображення окремого ТП ІЗ.0 (рисунок 2.5).

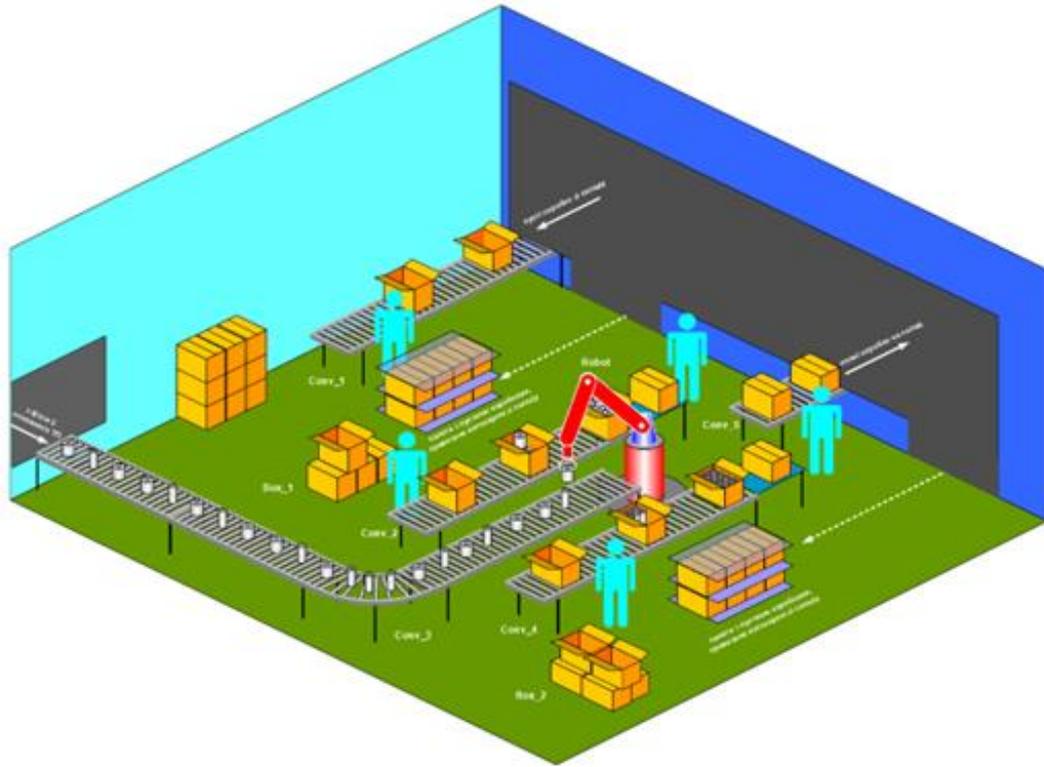


Рисунок 2.5 – Опис ТП І3.0 у вигляді графічної моделі

Результат розпізнавання цього зображення ТП наведений на рисунку 2.6

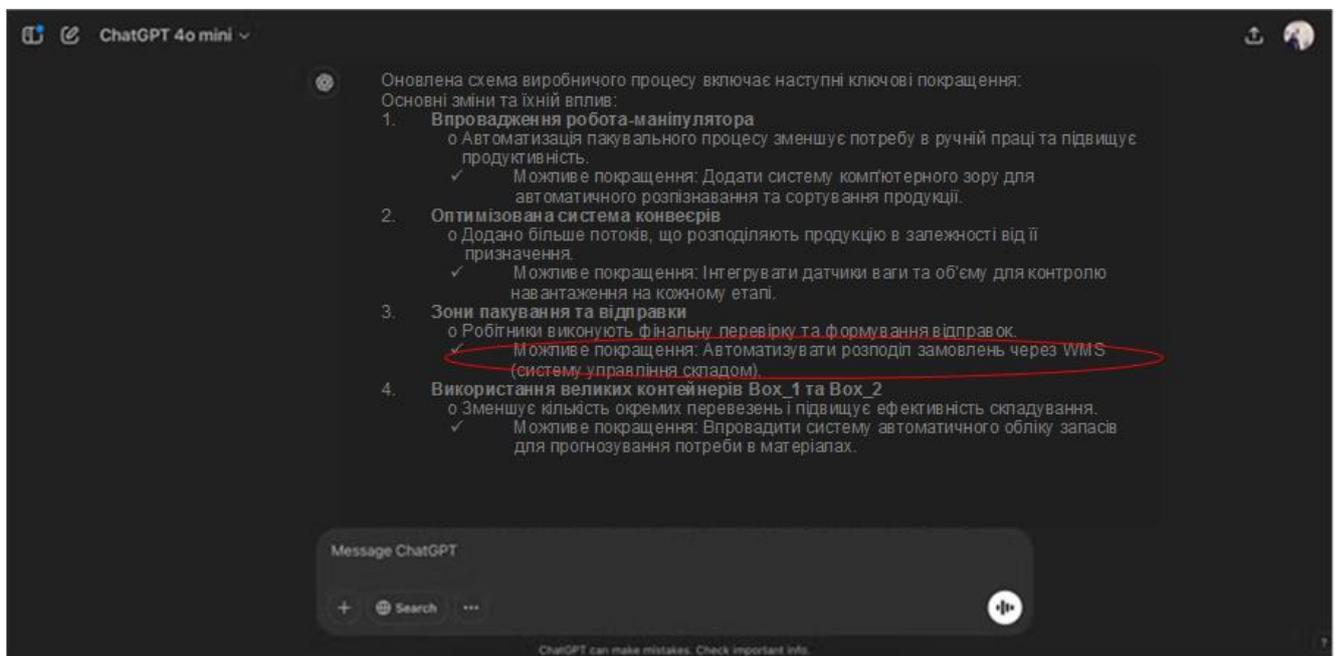


Рисунок 2.6 – Результат розпізнавання зображення ТП І3.0 в «ChatGPT»

Як видно з рисунку, програма «ChatGPT» сказала: «Оновлена схема виробничого процесу включає наступні ключові покращення:

Основні зміни та їхній вплив:

- 1). Впровадження робота-маніпулятора.
 - Автоматизація пакувального процесу зменшує потребу в ручній праці та підвищує продуктивність.
- 2). Оптимізована система конвеєрів.
 - Додано більше потоків, що розподіляють продукцію в залежності від її призначення.
- 3). Зони пакування та відправки.
 - Робітники виконують фінальну перевірку та формування відправок.
- 4). Використання великих контейнерів Vox_1 та Vox_2.
 - Зменшує кількість окремих перевезень і підвищує ефективність складування.

Таким чином, зменшення зображення призвело до якісних змін процесу розпізнавання. По-перше, правильно виділені (хоча і не всі) складові частини технологічного процесу (конвеєри, робот-маніпулятор, зони пакування та відправки, робітники, великі контейнери). Крім того, надані додаткові пояснення щодо функцій виділених об'єктів, що дає змогу далі сформулювати перелік властивостей/ознак даного ТП. Проте, зроблені і деякі неправильні припущення, наприклад, цей процес не автоматизованої пошти, а промислового виробництва. Також, мабуть, враховуючи наші попередні запити, програма «ChatGPT» самостійно надала рекомендації щодо покращення цього ТП ІЗ.0, що від неї не вимагалось.

Підводячи підсумок проведених досліджень (в роботі наведені лише окремі їх результати), можна зробити висновок, що для якісного і повного розпізнавання програмою «ChatGPT» опису екземпляру СА/АТП ІЗ.0 треба зменшувати блок інформації (графічну модель СА/АТП), яку завантажуюмо для аналізу в програму «ChatGPT», та надавати ще якимось коротке текстове пояснення, щоб забезпечити роботу ШІ у потрібному напрямі.

Як же можна розділяти існуючий екземпляр СА/АТП І3.0 на менші фрагменти? На рисунку 2.7 показаний загальний алгоритм такого ділення всього екземпляру СА/АТП І3.0 на окремі компоненти, які потім можна буде ефективно розпізнавати і аналізувати здобувачем як самостійно, так і з залученням ШІ.

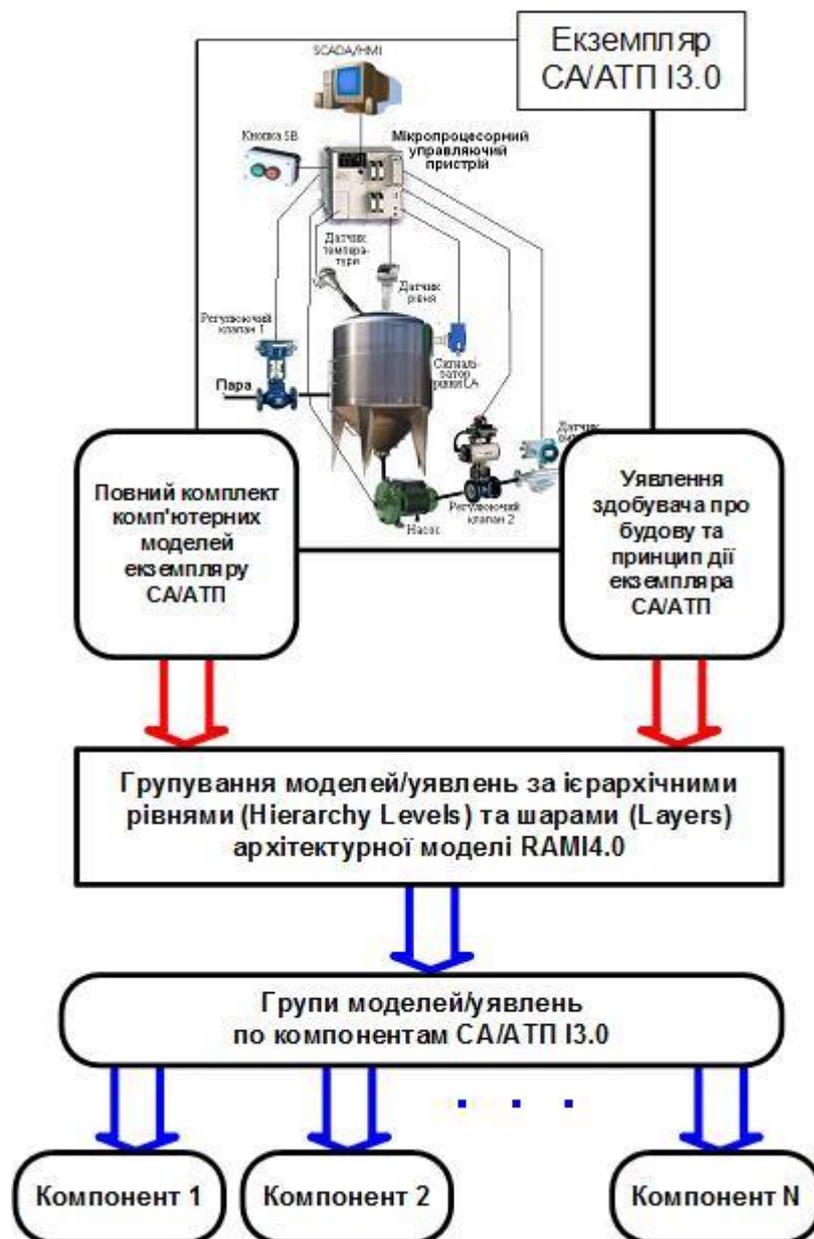


Рисунок 2.7 – Алгоритм ділення екземпляру СА/АТП І3.0 на окремі компоненти

Як було вже відмічено вище, здобувач починає виконувати дану стадію проектного практикуму, маючи повний комплект комп'ютерних моделей екземпляру СА/АТП І3.0 реального хімічного підприємства та сформоване

особисте уявлення про їх будову та принцип дії. Далі здобувач повинен згрупувати усі наявні в цьому екземплярі СА/АТП ІЗ.0 архітектурні компоненти по двом осям архітектурної моделі RAMІ4.0 (рисунок 2.8), а саме, по осі «Ієрархічні рівні» (Hierarchy Levels) та по осі «Шари» (Layers) [47].

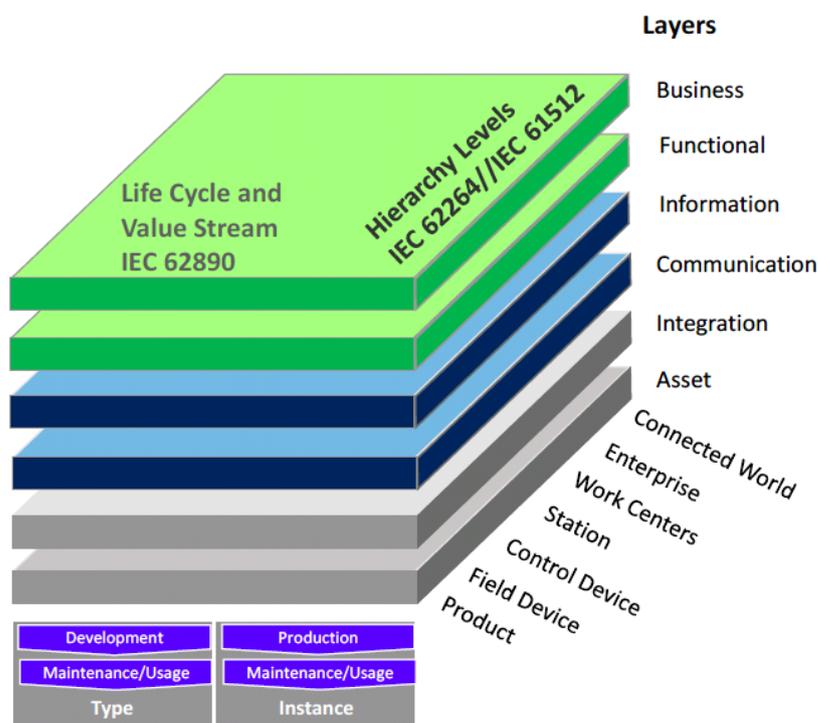


Рисунок 2.8 - Референтна архітектурна модель RAMІ 4.0

В результаті здобувач отримає комплект груп компонентів даного екземпляру СА/АТП ІЗ.0, кожна з яких має своє призначення (роль) у системі автоматизації, тобто забезпечує потрібну її властивість/ознаку.

Розглянемо приклад виконання цього алгоритму. Візьмемо довільний фрагмент екземпляру СА/АТП ІЗ.0 (рисунок 2.9). Він стосується виконання робочої операції перекачування реагенту D з ємності локального зберігання через вентиль та насос до хімічного реактора.

Виділимо усі можливі компоненти даного фрагменту СА/АТП. Їх буде п'ять – ємність локального зберігання реагенту D (Tank D), вентиль подачі даного реагенту до хімічного реактора (VEN_D), трубопровід (Pipe), електричний насос подачі реагенту до хімічного реактора (PUMP_IN) та хімічний реактор (Reactor).

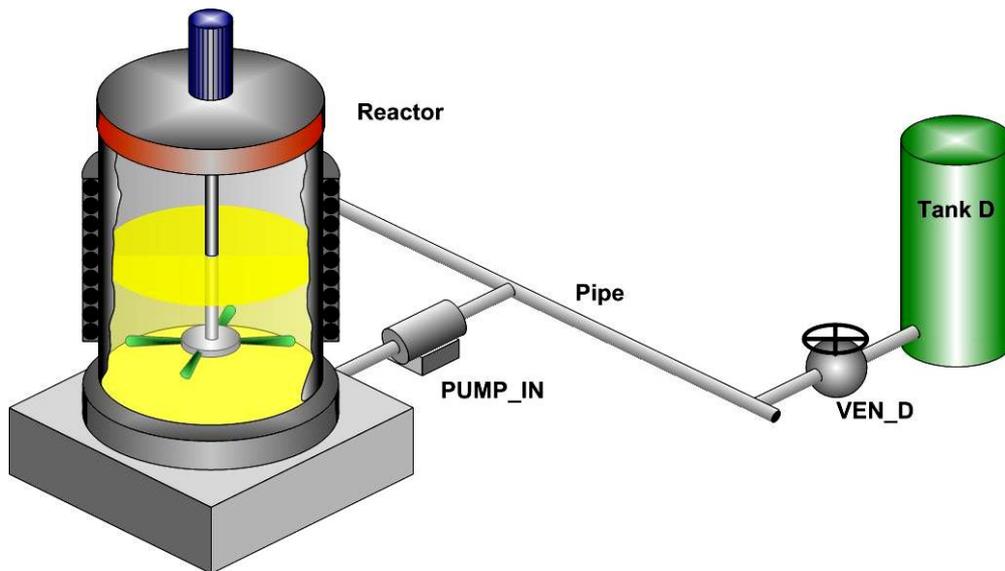


Рисунок 2.9 – Фрагмент екземпляру СА/АТП І3.0

Тепер розподілимо ці компоненти по групах, кожна з яких відповідає одному з ієрархічних рівнів (Hierarchy Levels) моделі RAMI4.0. Отримаємо дві групи – «Product» (Reactor, Tank D, Pipe) та «Field Device» (VEN_D, PUMP_IN).

Далі переходимо до осі «Layers» моделі RAMI4.0 (рисунок 2.10), означуючи на ній відповідні активи/ресурси екземпляру СА/АТП І3.0, які важливі для їх ІТ-відображення. Для нашого прикладу, беручи до уваги мету цих дій, ми перенесемо усі п'ять компонентів з двох ієрархічних рівнів на шар «Asset» осі «Layers». Якщо б був присутній компонент з рівня «Control Device», який керує насосом та вентилем, то в шарі «Asset» треба було б означити і цифрові дані, які важливі для їх сумісної роботи. В нашому ж прикладі такого керуючого пристрою немає.

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

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

– «Tank D» з «Pipe System».

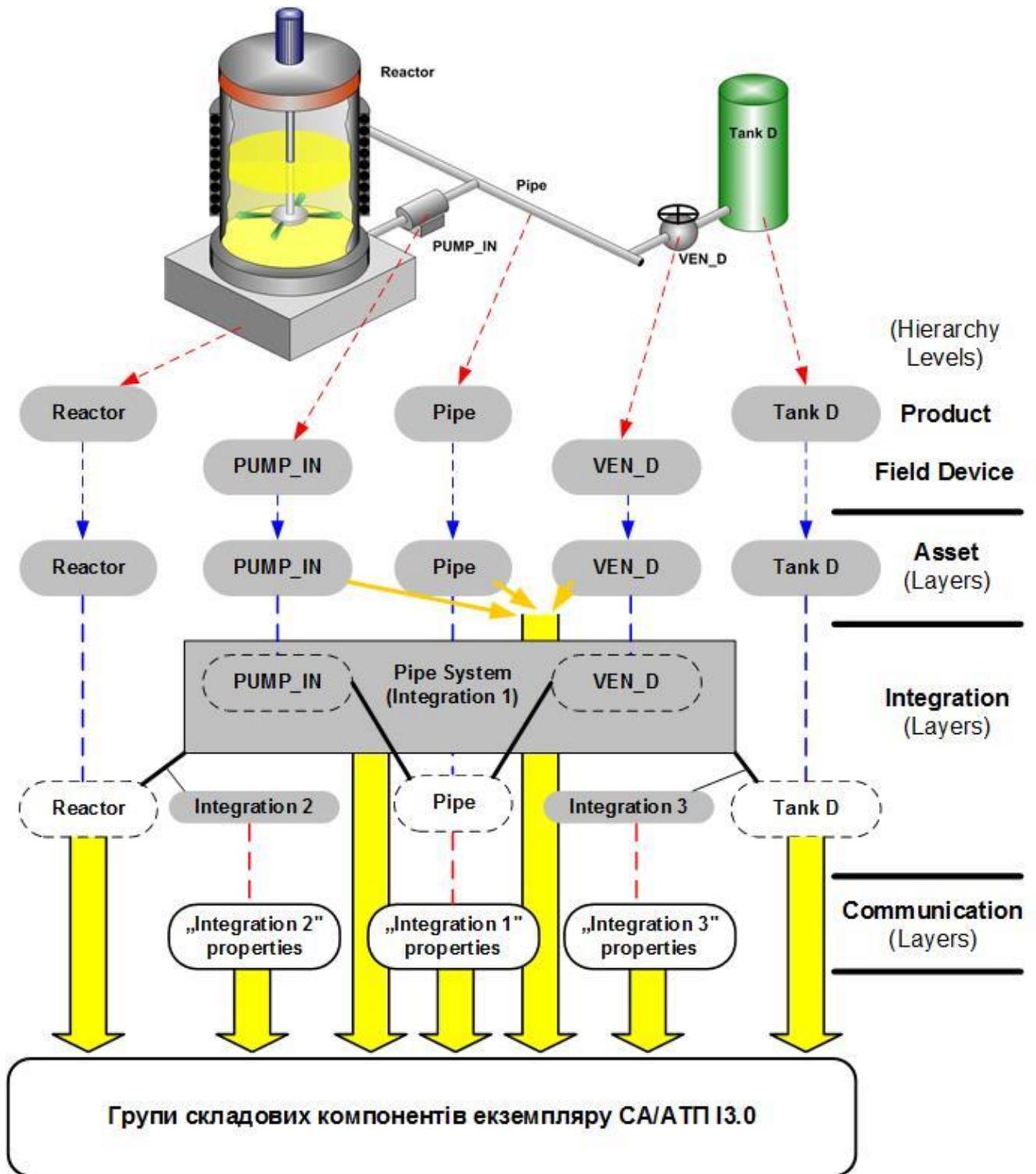


Рисунок 2.10 – Приклад ділення фрагменту екземпляра СА/АТП І3.0 на складові компоненти

В дійсності, у шарі «Integration» для СА/АТП «розумного» АВ І4.0 має відображатися його інтеграція з віддаленими у мережі Інтернет іншими

«розумними» АВ або з НМІ працівників. У нашому ж випадку ми дещо змінюємо призначення цього шару з метою здійснити далі всебічний порівнювальний аналіз екземпляру СА/АТП І3.0, для якого модель RAMІ4.0 з самого початку і не призначалась.

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

Таким чином, у нас будуть сформовані такі групи компонентів екземпляру СА/АТП І3.0 для проведення їх подальшого аналізу у порівнянні з властивостями/ознаками «розумного» АВ І4.0:

- «Група 1», яка включає «Pipe», «Reactor» та «Tank D» (компоненти ієрархічного рівня «Product»);
- «Група 2», яка включає «VEN_D» та «PUMP_IN» (компоненти ієрархічного рівня «Field Device»)
- «Група 3», яка включає «Pipe», «Reactor», «Tank D», «VEN_D» та «PUMP_IN» (компоненти шару «Asset» осі «Layers» ІТ – представлення системи автоматизації);
- «Група 4», яка включає «Integration 1» («PUMP_IN» – «Pipe» – «VEN_D»), «Integration 2» («Reactor» – «PUMP_IN»), «Integration 3» («VEN_D» – «Tank D»), тобто «Pipe System» (компоненти шару «Integration» осі «Layers» ІТ – представлення системи автоматизації);
- «Група 5», яка включає «Integration 1 properties», «Integration 2 properties» та «Integration 3 properties» (компоненти шару «Communication» осі «Layers» ІТ – представлення системи автоматизації).

Після ділення екземпляру СА/АТП І3.0 на групи компонентів їх зображення значно спрощується, що в подальшому дозволить і здобувачу, і штучному інтелекту, простіше виконувати їх розпізнавання та порівняння з властивостями/ознаками «розумного» АВ І4.0.

Для прикладу на рисунку 2.11 показана група компонентів екземпляру СА/АТП І3.0, яка відображає тільки ті з них, які мають відношення до процесів виготовлення та транспортування рідкого продукту у даному АВ. Видно, що ця модель спростилась навіть у порівнянні з невеликим фрагментом на рисунку 2.9.

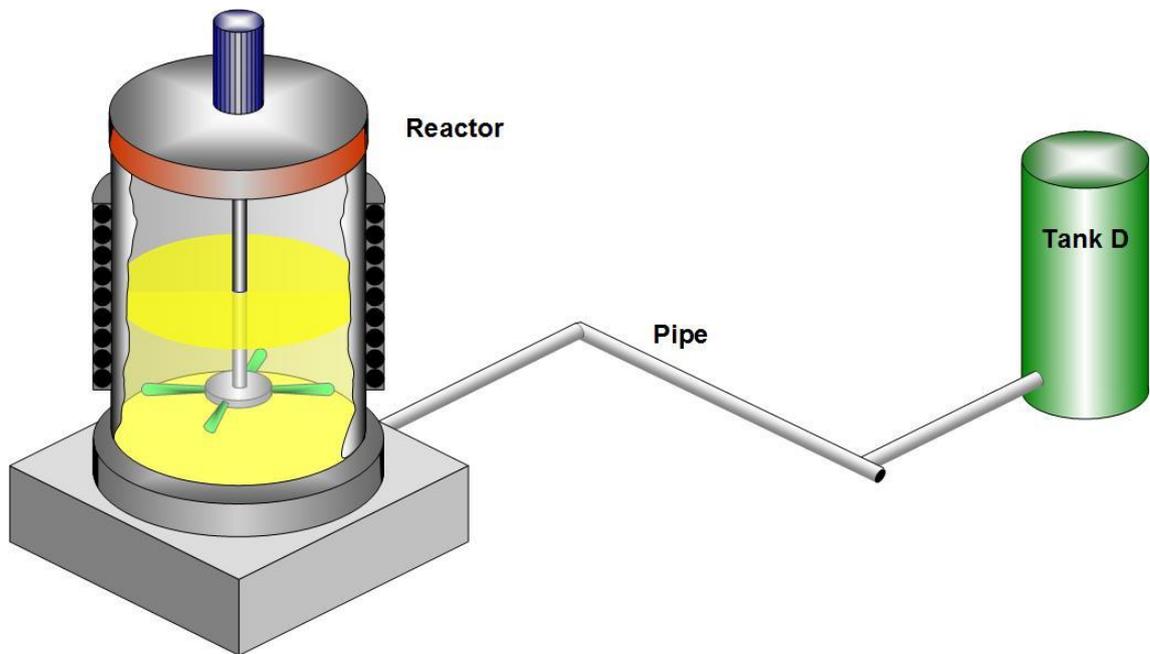


Рисунок 2.11 – Спрощена група компонентів екземпляру СА/АТП І3.0

І хоча таке ділення екземпляру СА/АТП І3.0 на велику кількість компонентів та їх груп, без сумніву, ускладнює і уповільнює процес виконання здобувачем даної діяльності, проте значно прискорює процес проведення подальшого порівняльного аналізу, особливо, якщо застосовувати відповідний інструмент ШІ. Наприклад, в якості такого інструменту можна застосувати ту ж саму програму «ChatGPT», коли вона буде або розпізнавати завантажений опис групи компонентів екземпляру СА/АТП І3.0 і порівнювати властивості/ознаки цієї групи з властивостями/ознаками «розумного» АВ І4.0, або буде аналізувати аргументи "за" і "проти" щодо тих недоліків (проблем), які здобувач після порівнювального аналізу самостійно сформулює, а потім завантажить у програму «ChatGPT».

В останньому випадку ШІ виступає в ролі неупередженого критика. Тоді розроблений алгоритм виконання етапу «Аналіз екземпляру СА/АТП ІЗ.0» в рамках проєктного практикуму буде такий, як показано на рисунку 2.12.

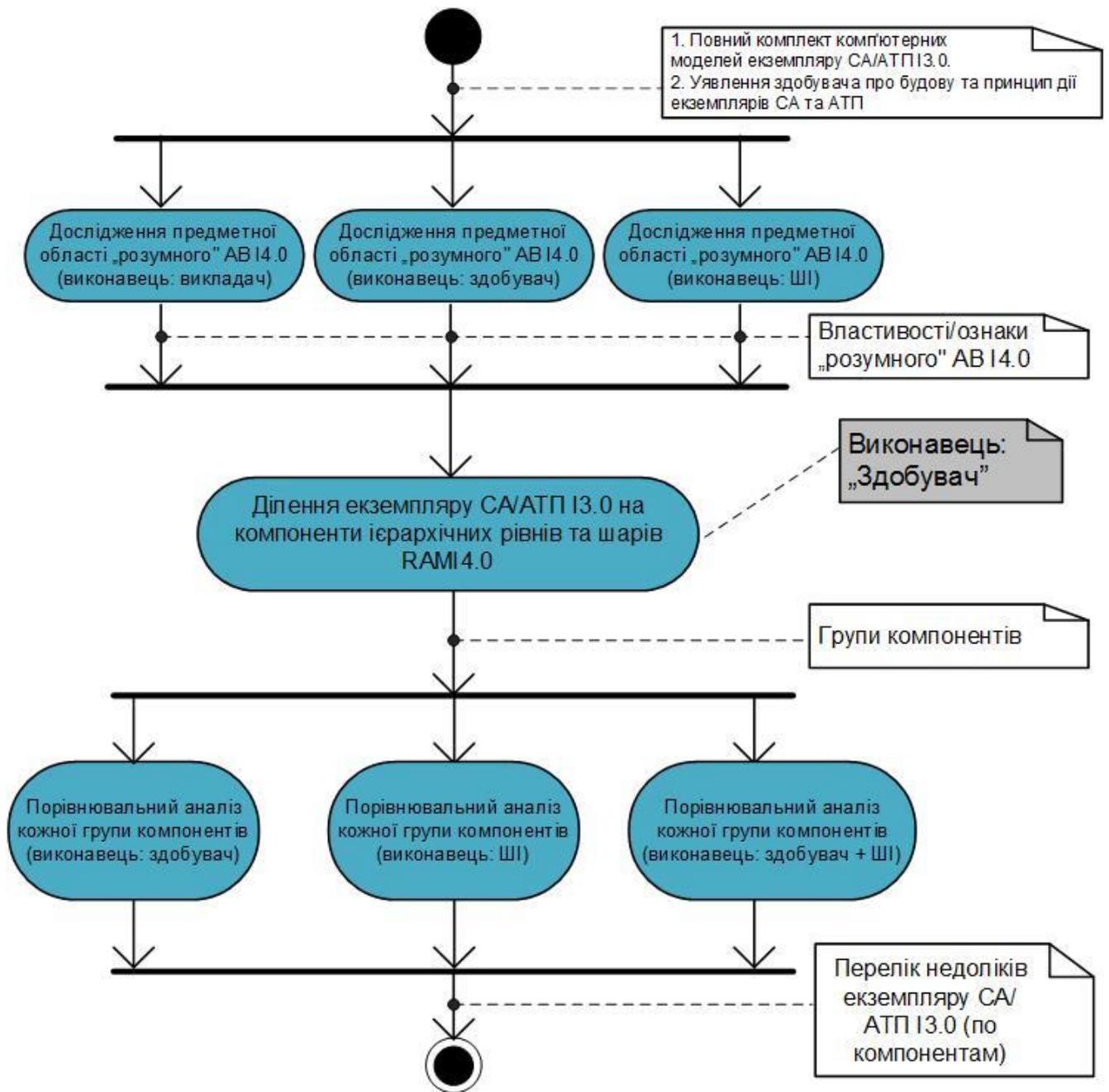


Рисунок 2.12 – Алгоритм виконання етапу «Аналіз екземпляру СА/АТП ІЗ.0»

Усі діяльності, показані на цьому рисунку, вже були описані вище.

2.3 Алгоритм виконання етапу «Формування ідеї ЦТ»

Розробимо тепер алгоритм виконання здобувачем етапу «Формування ідеї ЦТ» даної стадії проєктного практикуму за допомогою нового КНЗ. Як було зазначено вище, на попередньому етапі здобувач самостійно або за вказівкою викладача вибирає один з виявлених суттєвих недоліків екземпляру СА/АТП І3.0, що і стає відправною точкою для виконання етапу «Формування ідеї ЦТ». В ході цього етапу здобувач повинен вже обґрунтовано вибрати той спосіб вдосконалення цього екземпляру СА/АТП І3.0, щоб перетворити його у нову версію – СА/АТП І4.0. Іншими словами, здобувач має сформулювати загальну ідею такої цифрової трансформації.

Даний етап здобувач повинен виконувати самостійно або з залученням доступних інструментів штучного інтелекту, але викладач має обов'язково надавати йому відповідний навчально-методичний матеріал, консультації та додаткові роз'яснення. Проте, щоб кваліфіковано сформулювати ідею цифрової трансформації, здобувач обов'язково повинен ретельно дослідити предметну область «Промислові системи автоматизації (СА) та автоматизовані технологічні процеси (АТП) І4.0», використовуючи при цьому як доступні ресурси Інтернет, так і надані викладачем навчально-методичні матеріали. Крім того, для проведення даного дослідження передбачається застосування здобувачем і відповідних інструментів штучного інтелекту.

Тому спочатку дослідимо експериментально можливості доступних натеper інструментів ШІ для проведення такого дослідження предметної області та формування ідеї ЦТ.

Візьмемо опис екземпляру СА/АТП І3.0, який показаний на рисунку 1.18. Після ділення цього опису на менші за розміром і складністю фрагменти, що складаються з груп відповідних компонентів (див. підрозділ 2.2), програма «ChatGPT» продемонструвала коректне виконання розпізнавання цього опису та аналіз недоліків екземпляру СА/АТП І3.0. Далі цій програмі було надане завдання запропонувати способи (можливості) покращення цього екземпляру, тобто згенерувати відповідні ідеї ЦТ. Деякі результати роботи програми «ChatGPT»

показані на рисунку 2.13. Зокрема, для відповідних груп компонентів були запропоновані такі можливості їх вдосконалення, тобто ідеї ЦТ:

1). Навантаження на насоси. Проблема: можливе перевантаження насосів або падіння тиску при одночасному використанні. Рішення:

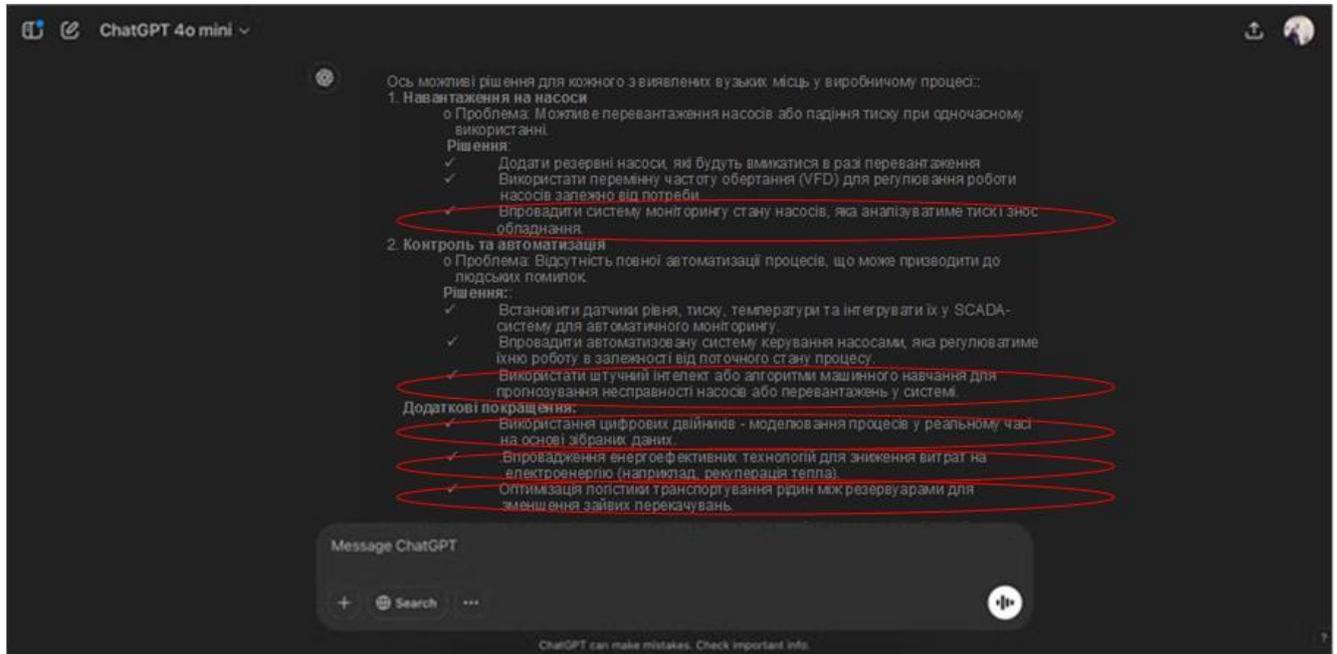


Рисунок 2.13 – Способи вдосконалення екземпляру СА/АТП ІЗ.0, запропоновані програмою «ChatGPT»

- Додати резервні насоси, які будуть вмикатися в разі перевантаження.
- Використати перемінну частоту обертання (VFD) для регулювання роботи насосів залежно від потреби.
- Впровадити систему моніторингу стану насосів, яка аналізуватиме тиск і знос обладнання.

2). Контроль та автоматизація. Проблема: відсутність повної автоматизації процесів, що може призводити до людських помилок. Рішення:

- Встановити датчики рівня, тиску, температури та інтегрувати їх у SCADA-систему для автоматичного моніторингу.
- Впровадити автоматизовану систему керування насосами, яка регулюватиме їхню роботу в залежності від поточного стану процесу.

- Використати штучний інтелект або алгоритми машинного навчання для прогнозування несправності насосів або перевантажень у системі.

3). Додаткові покращення:

- Використання цифрових двійників – моделювання процесів у реальному часі на основі зібраних даних.
- Впровадження енергоефективних технологій для зниження витрат на електроенергію (наприклад, рекуперація тепла).
- Оптимізація логістики транспортування рідин між резервуарами для зменшення зайвих перекачувань.

Якщо проаналізувати ці рекомендації, то більшість з них (виділені підкреслюванням) відносяться саме до дієвих шляхів цифрової трансформації промислових систем автоматизації, тобто здобувач може без вагань взяти їх до уваги при подальшому формуванні ідеї ЦТ конкретного екземпляру СА/АТП І3.0.

Візьмемо тепер інший опис екземпляру ТП І3.0, який показаний на рисунку 2.14. Після відповідного ділення цього опису на менші за розміром і складністю фрагменти, що складаються з груп складових компонентів, програма «ChatGPT» теж продемонструвала коректне виконання розпізнавання цього опису та аналіз його недоліків, а також згенерувала можливі шляхи покращення цього екземпляру.

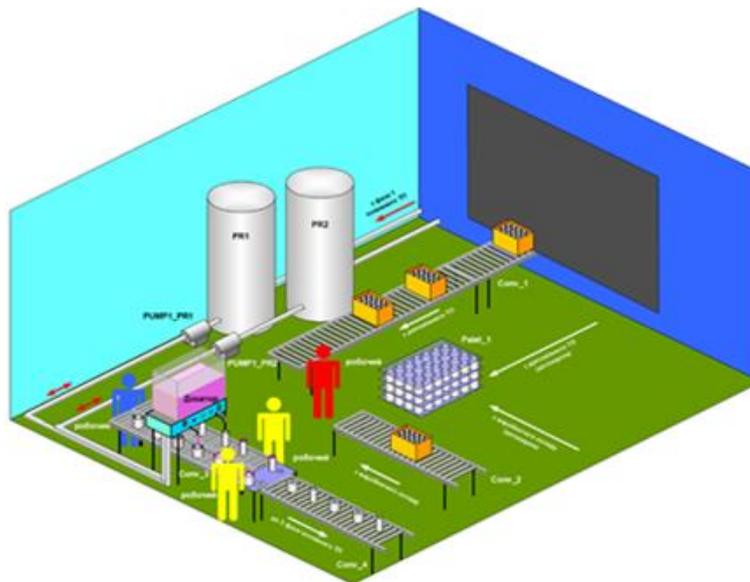


Рисунок 2.14 – Екземпляр технологічного процесу І3.0

Деякі результати цієї роботи програми «ChatGPT» показані на рисунку 2.15. Зокрема, для відповідних груп компонентів були запропоновані такі можливості їх вдосконалення, тобто ідеї ЦТ:

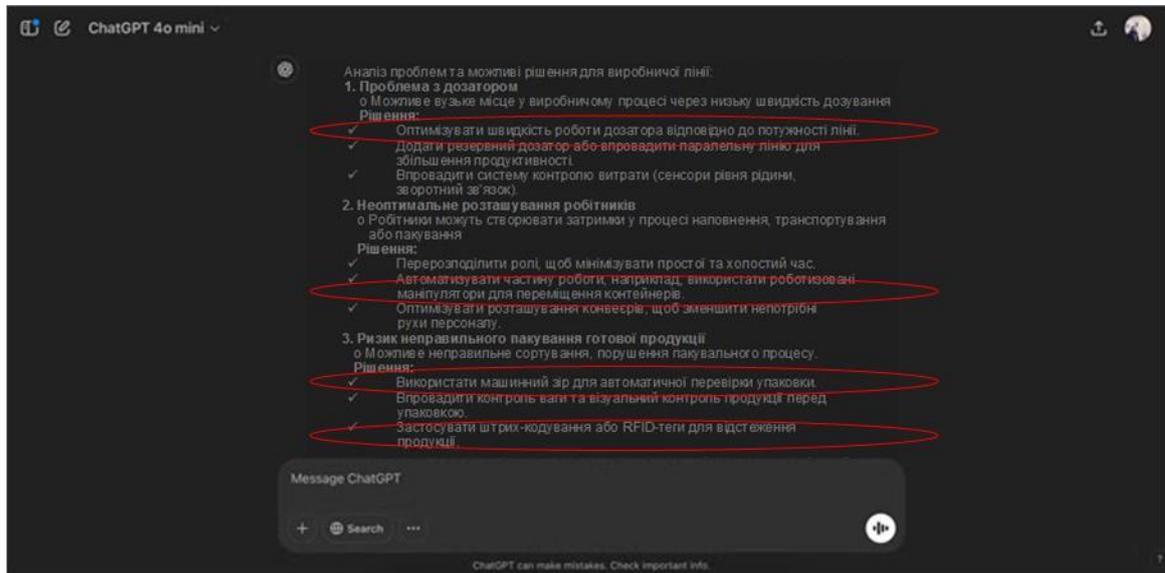


Рисунок 2.15 – Способи вдосконалення екземпляру ТП І3.0, запропоновані програмою «ChatGPT»

1). Проблема з дозатором. Можливе вузьке місце у виробничому процесі через низьку швидкість дозування. Рішення:

- Оптимізувати швидкість роботи дозатора відповідно до потужності лінії.
- Додати резервний дозатор або впровадити паралельну лінію для збільшення продуктивності.
- Впровадити систему контролю витрати (сенсори рівня рідини, зворотний зв'язок).

2). Неоптимальне розташування робітників. Робітники можуть створювати затримки у процесі наповнення, транспортування або пакування. Рішення:

- Перерозподілити ролі, щоб мінімізувати простій та холостий час.
- Автоматизувати частину роботи, наприклад, використати роботизовані маніпулятори для переміщення контейнерів.

- Оптимізувати розташування конвеєрів, щоб зменшити непотрібні рухи персоналу.

3). Ризик неправильного пакування готової продукції. Можливе неправильне сортування, порушення пакувального процесу. Рішення:

- Використати машинний зір для автоматичної перевірки упаковки.
- Впровадити контроль ваги та візуальний контроль продукції перед упаковкою.
- Застосувати штрих-кодування або RFID-теги для відстеження продукції.

Якщо теж проаналізувати ці рекомендації, то більшість з них (виділені підкреслюванням) також відносяться до дієвих шляхів цифрової трансформації аналогічних процесів, тобто здобувач може також без вагань взяти їх до уваги при подальшому формуванні ідеї ЦТ цього екземпляру ТП чи СА/АТП І3.0.

Візьмемо ще один опис екземпляру СА/АТП І3.0, який показаний на рисунку 2.16.

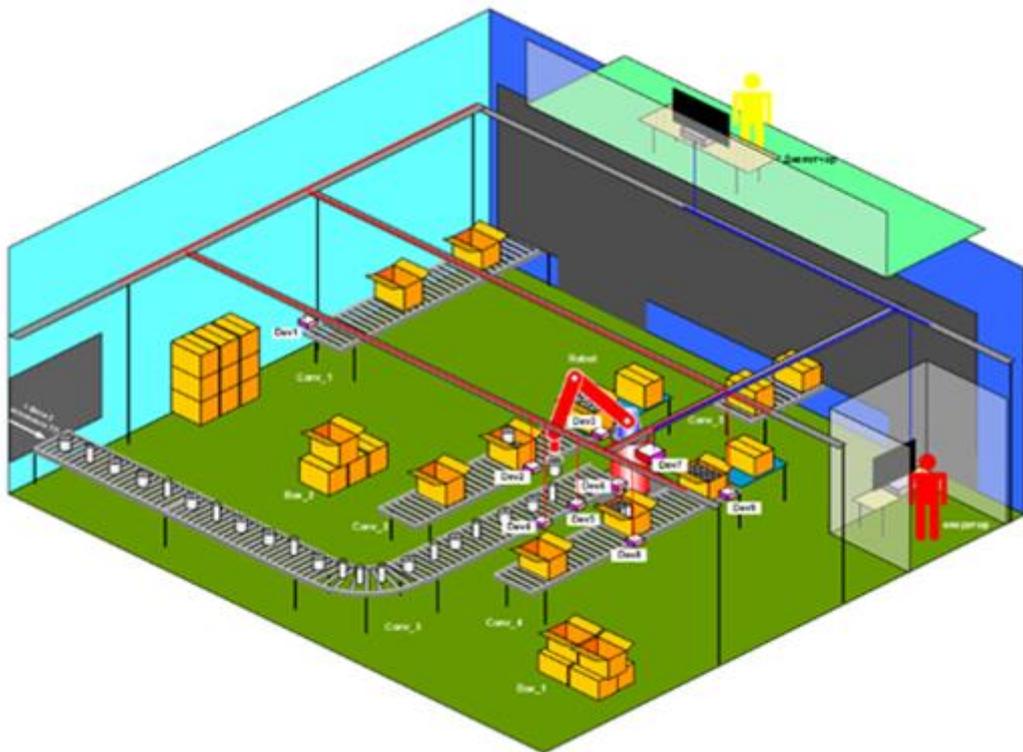


Рисунок 2.16 – Екземпляр СА/АТП І3.0

Також після відповідного ділення цього опису на менші за розміром і складністю фрагменти, що складаються з груп складових компонентів, програма «ChatGPT» продемонструвала коректне виконання розпізнавання цього опису та аналіз його недоліків, а також згенерувала можливі шляхи покращення цього екземпляру СА/АТП ІЗ.0. Деякі з цих результатів роботи програми «ChatGPT» показані на рисунку 2.17.

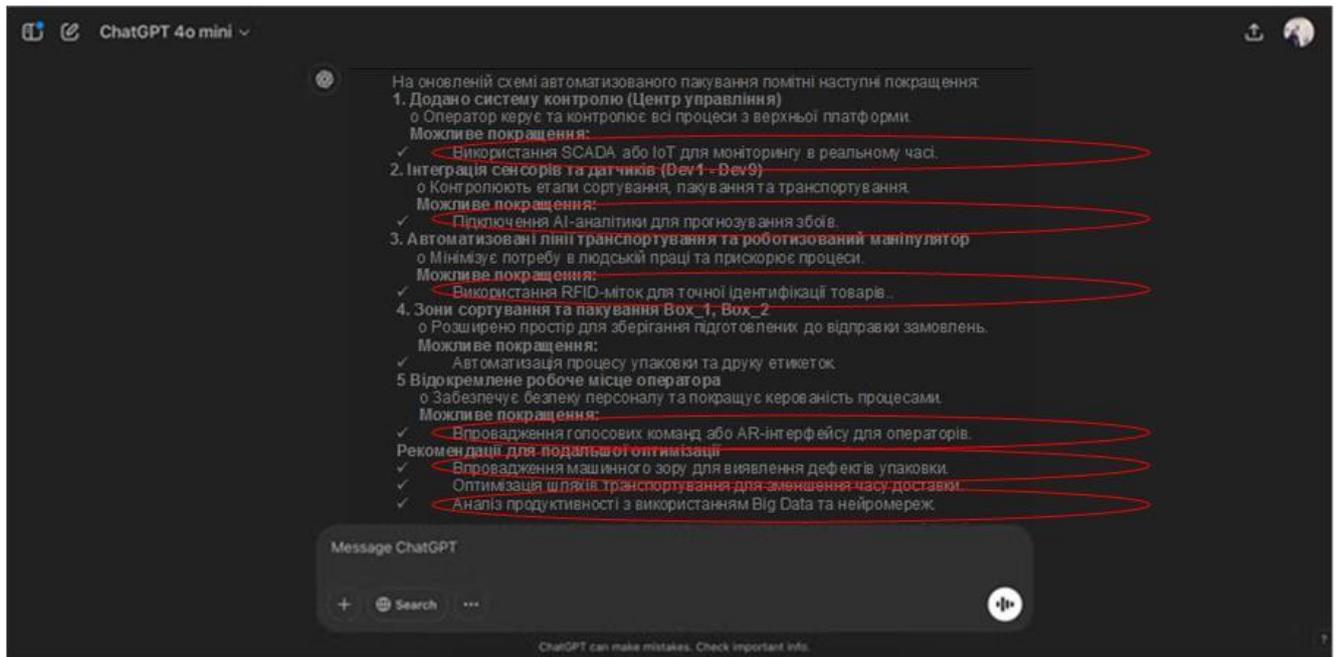


Рисунок 2.17 – Способи вдосконалення екземпляру СА/АТП ІЗ.0, запропоновані програмою «ChatGPT»

Зокрема, для відповідних груп компонентів екземпляру СА/АТП ІЗ.0 були запропоновані такі можливості їх вдосконалення, тобто ідеї ЦТ:

1). Додано систему контролю (Центр управління). Оператор керує та контролює всі процеси з верхньої платформи. Можливе покращення:

- Використання SCADA або IoT для моніторингу в реальному часі.

2). Інтеграція сенсорів та датчиків (Dev1 - Dev9). Контролюють етапи сортування, пакування та транспортування. Можливе покращення:

- Підключення AI-аналітики для прогнозування збоїв.

3). Автоматизовані лінії транспортування та роботизований маніпулятор. Мінімізує потребу в людській праці та прискорює процеси. Можливе покращення:

- Використання RFID-міток для точної ідентифікації товарів.

4). Зони сортування та пакування Vox_1, Vox_2. Розширено простір для зберігання підготовлених до відправки замовлень. Можливе покращення:

- Автоматизація процесу упаковки та друку етикеток.

5). Відокремлене робоче місце оператора. Забезпечує безпеку персоналу та покращує керованість процесами. Можливе покращення:

- Впровадження голосових команд або AR-інтерфейсу для операторів.

Рекомендації для подальшої оптимізації:

- Впровадження машинного зору для виявлення дефектів упаковки.
- Оптимізація шляхів транспортування для зменшення часу доставки.
- Аналіз продуктивності з використанням Big Data та нейромереж.

Якщо проаналізувати ці рекомендації, то також можна зробити висновок, що більшість з них (виділені підкреслюванням) відносяться саме до дієвих шляхів цифрової трансформації аналогічних СА/АТП, тобто здобувач також може без вагань взяти їх до уваги при подальшому формуванні ідеї ЦТ цього екземпляру ТП чи СА/АТП ІЗ.0.

Як було зазначено у розділі 1, для ефективної роботи з програмою «ChatGPT» варто вказати, де саме буде використовуватися отримана від неї інформація (наприклад, у статті або дослідницькому проєкті). Це допомагає отримувати більш точні та релевантні результати. Додатково може допомогти і запит на роботу в ролі експерта. Крім того, стандартний формат генерації ідей програмою «ChatGPT» - не межа. Використання певних технік допомагає розширити горизонти. Один з ефективних методів - пошук прогалін. Спочатку формуються власні ідеї, а потім використовується такий запит: "Ось список тем: [перелік]. На підставі наданої мною інформації чи можеш ти визначити можливі прогалини, які мені слід заповнити?".

Таким чином, програма «ChatGPT» - чудовий засіб для генерації ідей цифрової трансформації. Наприклад, модель може підказати здобувачу

несподівані напрямки ЦТ, про які він самостійно не зміг би подумати, бо не має поки що відповідних знань та досвіду. При цьому навіть одна корисна ідея програми «ChatGPT» може запустити у здобувача потік нових думок і свіжих рішень. А впевнитись в їх реалістичності здобувач зможе також за допомогою «ChatGPT», яка вміє виважено аналізувати аргументи "за" і "проти" в рамках однієї теми (ідеї). Тому це робить «ChatGPT» ідеальним інструментом для тих, хто хоче розглянути ситуацію з різних точок зору або "посперечатися" із самим собою (зі своїми ідеями). Також, якщо у здобувача виникне якась власна абстрактна ідея, але він не знатиме, як її реалізувати на практиці, то «ChatGPT» допоможе "розкласти" концепт по етапах: від технічної реалізації до візуального опису. В результаті таких експериментів з ШІ здобувач зможе ефективно проводити справжні мозкові атаки в рамках проєктного практикуму.

Інший доступний інструмент ШІ – «NotebookLM» компанії «Google». Він дозволяє швидко і якісно аналізувати за запитом інформацію, завантажену здобувачем, робити короткі резюме і будувати ментальні карти. Такий інструмент може бути корисним здобувачу саме для перегляду навчально-методичних матеріалів, підготовлених викладачем, з метою виявлення в цих матеріалах потенційних ідей виконання ЦТ екземпляру СА/АТП ІЗ.0.

Підводячи підсумок дослідженню можливості використання ШІ при виконанні здобувачем етапу «Формування ідеї ЦТ», можна запропонувати загальний алгоритм виконання здобувачем цього етапу проєктного практикуму із залученням відповідних інструментів ШІ (рисунок 2.18).

Як видно з рисунку, вихідними даними для початку виконання здобувачем цього етапу є «Виявлені недоліки екземпляру СА/АТП» (виявлені здобувачем на попередньому етапі) та «Навчально-методичні матеріали (JetIQ)» (підготовлені заздалегідь викладачем та розміщені в системі «JetIQ» ВНТУ). Далі паралельно виконуються три діяльності – «Дослідження предметної області промислових СА І4.0/ АТП І4.0» (виконується самостійно здобувачем традиційним пошуком в Інтернеті), «Дослідження предметної області промислових СА І4.0/ АТП І4.0» (виконується автоматично штучним інтелектом по навчально-методичним матеріалам, наданим викладачем) та «Дослідження предметної області

промислових СА І4.0/ АТП І4.0» (виконується штучним інтелектом в Інтернеті за запитом, які уточнюються і доповнюються здобувачем). Після отримання відповідних результатів дослідження (аналогічні рішення та проекти ЦТ) здобувач виконує або самостійний їх аналіз, або залучає для цього ШІ.

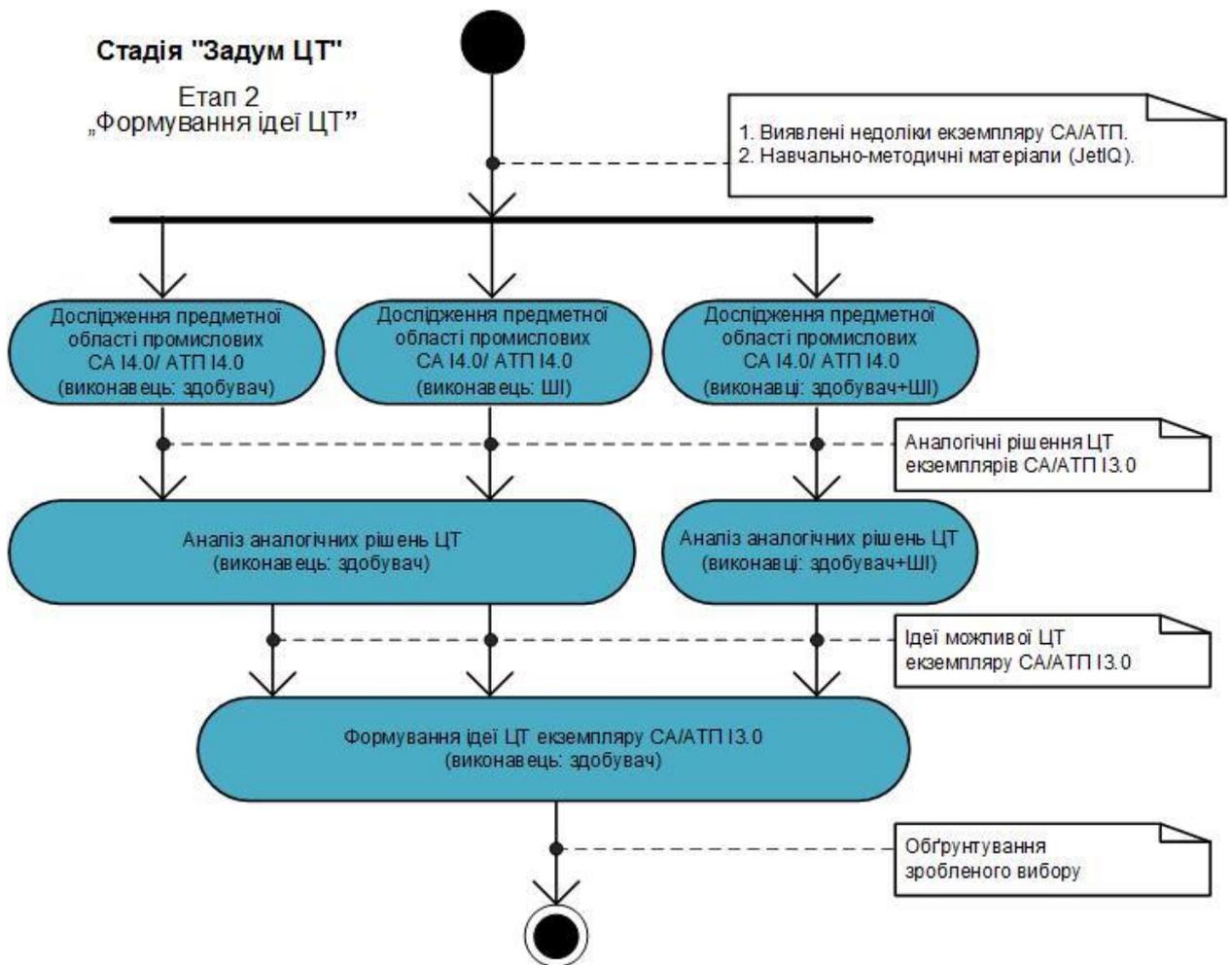


Рисунок 2.18 – Алгоритм виконання здобувачем етапу «Формування ідеї ЦТ»

Як ШІ може допомогти здобувачу з аналізом та пропонуванням ідей, було показано вище. Після формування якогось переліку таких ідей здобувач повинен самостійно обґрунтувати вибір найбільш ефективною (реалістичною, дієвою і т. п.) з них і надати відповідний технічний опис цієї ідеї (графічний, текстовий). На цьому навчальний процес виконання даного етапу завершується.

2.4 Висновки до розділу

В результаті виконання даного розділу магістерської кваліфікаційної роботи було розроблене загальне бачення процесу виконання на новому КНЗ першої стадії проєктного практикуму «Задум цифрової трансформації екземпляру СА ІЗ.0». З навчально-методичних міркувань ця стадія розділена на два проєктні етапи – «Аналіз екземпляру СА/АТП ІЗ.0» та «Формування ідеї цифрової трансформації». Обидва ці етапи здобувач виконує з залученням відповідних інструментів штучного інтелекту, зокрема, «ChatGPT» компанії «OpenAI» та «NotebookLM» компанії «Google». На основі експериментальних досліджень цих інструментів ШІ були розроблені детальні алгоритми виконання здобувачем обох етапів проєктного практикуму за допомогою відповідних інструментів ШІ.

3 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «РОЗРОБКА ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕКЗЕМПЛЯРУ СА І3.0»

3.1 Загальне бачення

Згідно з розробленою вище архітектурою нового КНЗ, процес виконання даної стадії навчального проєктного практикуму розділений на два послідовні етапи – «Концепція цифрової трансформації» та «Ескізний проєкт цифрової трансформації». Представимо послідовність діяльностей впродовж цих етапів у вигляді загального бачення їх виконання у вигляді діаграми станів мови UML (рисунок 3.1 і додаток Б).

Вхідна інформація для виконання даної стадії поділена на дві групи - «Існуючі аналогічні рішення ЦТ» (зібрана та систематизована як викладачем, так і здобувачем на попередній стадії практикуму) та «Опис ідеї ЦТ екземпляру СА/АТП.» (сформований здобувачем в результаті виконання попередньої стадії практикуму), Тоді виконання здобувачем першого етапу даної стадії починається знову з діяльності «Дослідження предметної області цифрових технологій АВ І4.0» з метою знаходження такої існуючої на даний час цифрової технології (або декількох цифрових технологій), яка дозволить реалізувати ту ідею ЦТ СА І3.0, яку здобувач сформував на попередній стадії практикуму. Цю діяльність здобувач може виконувати і самостійно, і з використанням допомоги відповідного інструменту ШІ, як це було описано вище для аналогічної діяльності на попередній стадії. В результаті такого дослідження у здобувача буде поступово формуватися детальне уявлення про дану предметну область у вигляді ментальної карти, яка відобразатиме поточні взаємні зв'язки цифрових технологій та прикладних задач цифрової трансформації. Тобто за вказаною концепцією «Цифрові технології цифрової трансформації» створюється відповідна модель предметної області.

Далі, по мірі наповнення цієї моделі новими технологіями та зв'язками між ними, здобувач виконує наступну діяльність «Обґрунтування вибору І4.0 технології/технологій ЦТ». Це обґрунтування здобувач вже повинен робити сам.

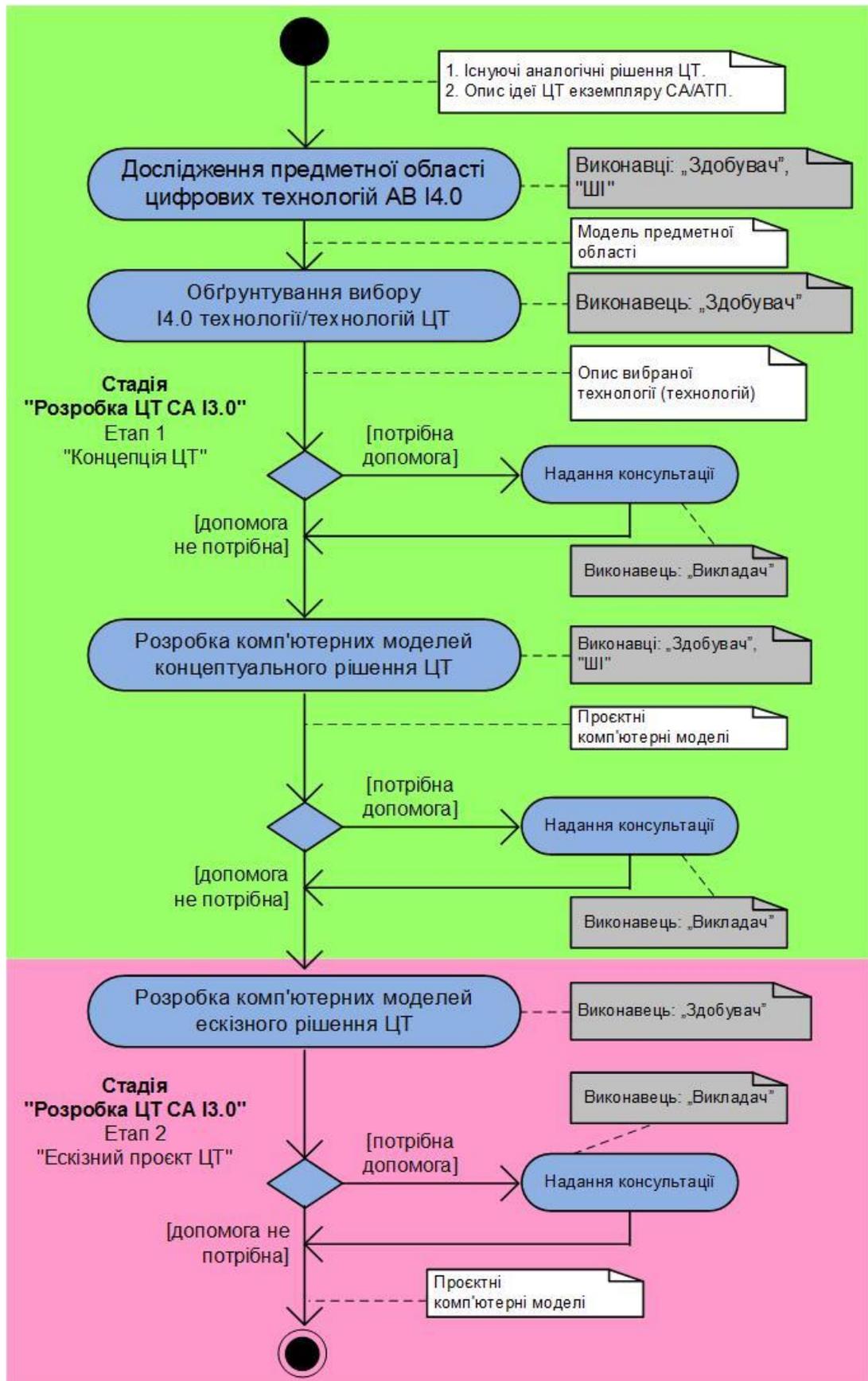


Рисунок 3.1 – Загальне бачення процесу виконання стадії «Розробка цифрової трансформації екземпляру СА І3.0»

При цьому інформацію для побудови моделі предметної області здобувач бере і з доступних ресурсів Інтернет, і з наявних навчально-методичних матеріалів, підготовлених викладачем в рамках відповідної професійної дисципліни або проєктного практикуму. Коли потрібна технологія або технології цифрової трансформації будуть обґрунтовано вибрані, то здобувач переходить до виконання наступної діяльності цього етапу – «Розробка комп'ютерних моделей концептуального рішення ЦТ». При цьому здобувач може користатися і допомогою відповідного інструменту ШІ, наприклад, для автоматичного створення реалістичних зображень чи відео, які дають додаткове пояснення концептуального рішення ЦТ.

Готовий проєкт, що відображає запропоноване концептуальне рішення цифрової трансформації екземпляру СА/АТП ІЗ.0, буде першим результатом практичного вивчення здобувачем процесу цифрової трансформації за допомогою нового КНЗ. Бажано, щоб цей практичний результат здобувач отримав в ході навчального процесу бакалаврського рівня підготовки, наприклад, це може бути навчальний процес у рамках професійної дисципліни «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва».

Якщо ж здобувач продовжить навчання в магістратурі вузу, то він зможе на основі описаного вище концептуального рішення цифрової трансформації екземпляру СА/АТП ІЗ.0 продовжити практичне вивчення його цифрової трансформації, виконуючи наступний його етап – «Ескізний проєкт цифрової трансформації». Цей етап характеризується більшою деталізацією проєктних рішень і також передбачає активне використання здобувачем як доступних хмарних сервісів цифрового моделювання того чи іншого виду (наприклад з цифровою симуляцією поведінки трансформованого екземпляру СА/АТП), так і наявних локальних програмних засобів такого моделювання. Результатом діяльності здобувача на цьому етапі стане ескізний проєкт цифрової трансформації екземпляру СА/АТП ІЗ.0, який повинен бути представлений у вигляді відповідних комп'ютерних моделей статичної та динамічної трансформованого екземпляру. Усі розроблені здобувачем комп'ютерні моделі ескізного проєкту повинні мати формат, що дозволить викладачу без проблем

переглядати їх або на комп'ютерах навчальної лабораторії, або на доступних хмарних сервісах цифрового моделювання, або за допомогою наявних локальних програмних засобів моделювання. Таким чином, ескізний проєкт стане заключним результатом практичного вивчення цифрової трансформації екземпляру СА/АТП ІЗ.0 на новому КНЗ. Цей практичний результат може бути досягнутий або в рамках професійної дисципліни магістерського рівня підготовки, наприклад, «Промисловий Інтернет речей», або в рамках відповідного проєктного практикуму.

Для демонстрації можливості використання здобувачем інструментів ШІ в ході виконання етапів даної стадії проєктного практикуму, були проведені відповідні експериментальні дослідження. Так, для екземпляру СА/АТП ІЗ.0, що показаний на рисунку 2.3, програма «ChatGPT» дала таку рекомендацію по його цифровій трансформації: використання цифрової технології цифрових двійників для моделювання процесів у реальному часі на основі зібраних даних. Цей результат роботи моделі ШІ показаний на рисунку 2.13.

Для екземпляру СА/АТП ІЗ.0, який показаний на рисунку 2.5, програма «ChatGPT» дала інші рекомендації по його цифровій трансформації (рисунок 3.2).

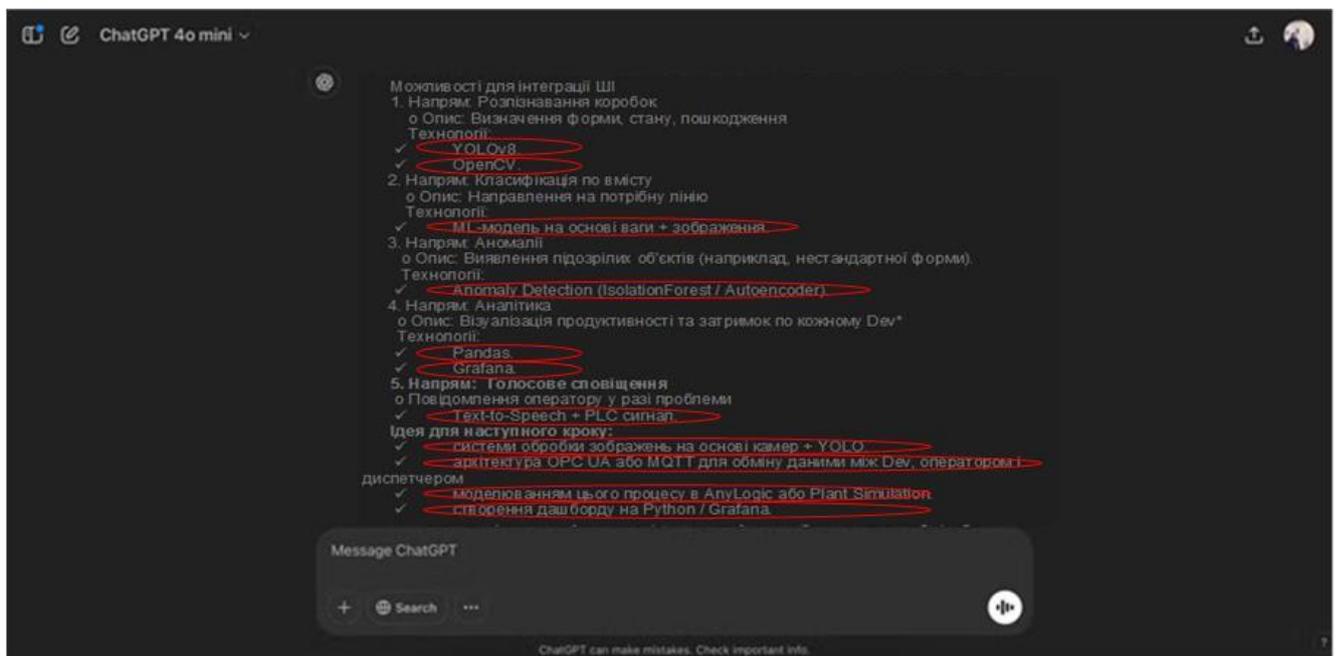


Рисунок 3.2 - Рекомендації програми «ChatGPT» по ЦТ екземпляру СА/АТП

Як видно з цього рисунку, програма «ChatGPT» сказала: «Можливості для інтеграції ШІ:

1. Напрямок: Розпізнавання коробок

о Опис: Визначення форми, стану, пошкодження

Технології:

✓ YOLOv8.

✓ OpenCV.

2. Напрямок: Класифікація по вмісту

о Опис: Направлення на потрібну лінію

Технології:

✓ ML-модель на основі ваги + зображення.

3. Напрямок: Аномалії

о Опис: Виявлення підозрілих об'єктів (наприклад, нестандартної форми).

Технології:

✓ Anomaly Detection (IsolationForest / Autoencoder).

4. Напрямок: Аналітика

о Опис: Візуалізація продуктивності та затримок по кожному Dev*

Технології:

✓ Pandas.

✓ Grafana.

5. Напрямок: Голосове сповіщення

о Повідомлення оператору у разі проблеми

Технології:

✓ Text-to-Speech + PLC сигнал.

Ідея для наступного кроку:

✓ системи обробки зображень на основі камер + YOLO.

✓ архітектура OPC UA або MQTT для обміну даними між

Dev, оператором і диспетчером

✓ моделюванням цього процесу в AnyLogic або Plant Simulation.

✓ створення дашборду на Python / Grafana».

Якщо теж проаналізувати ці рекомендації, то більшість з них (виділені підкреслюванням) напряму відносяться до дієвих шляхів цифрової трансформації аналогічних процесів, тобто здобувач може без вагань взяти їх до уваги при подальшому обґрунтуванні вибору відповідної цифрової технології (технологій) для ЦТ цього екземпляру СА/АТП ІЗ.0.

:Також для екземпляру СА/АТП ІЗ.0, який показаний на рисунку 2.14, програма «ChatGPT» дала свої рекомендації по його цифровій трансформації (рисунок 3.3).

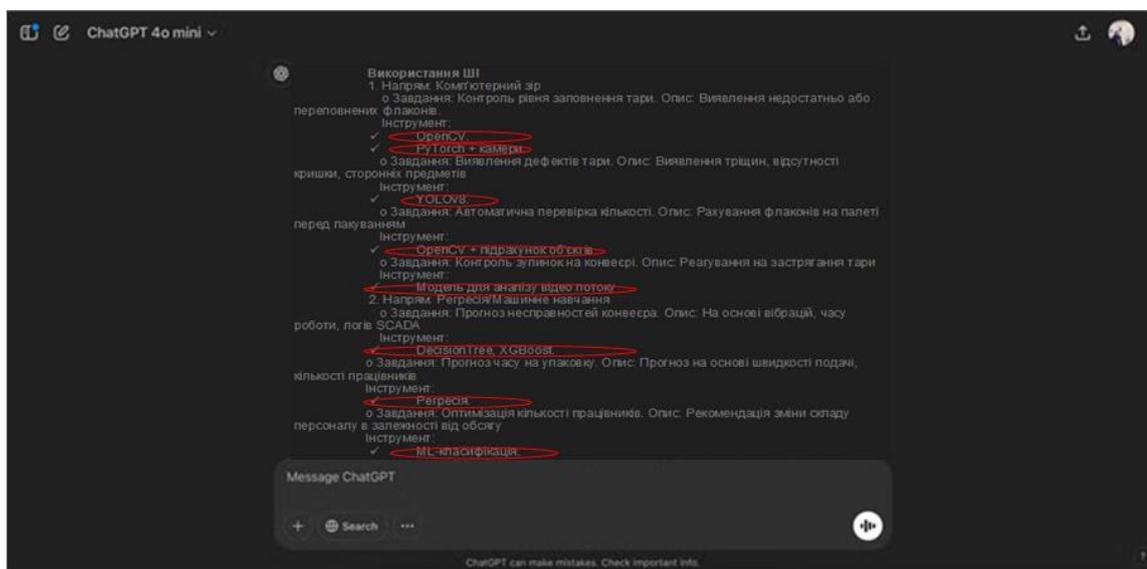


Рисунок 3.3 – Цифрові технології для цифрової трансформації екземпляру СА/АТП ІЗ.0, що запропоновані програмою «ChatGPT»

Як видно з цього рисунку, програма «ChatGPT» сказала:» Використання ШІ

1. Напрямок: Комп'ютерний зір

о Завдання: Контроль рівня заповнення тари. Опис: Виявлення недостатньо або переповнених флаконів.

Інструмент:

✓ OpenCV.

✓ PyTorch + камери.

о Завдання: Виявлення дефектів тари. Опис: Виявлення тріщин, відсутності кришки, сторонніх предметів

Інструмент:

✓ YOLOv8.

о Завдання: Автоматична перевірка кількості. Опис: Рахування флаконів на палеті перед пакуванням

Інструмент:

✓ OpenCV + підрахунок об'єктів

о Завдання: Контроль зупинок на конвеєрі. Опис: Реагування на застрягання тари

Інструмент:

✓ Модель для аналізу відео потоку

2. Напрямок: Регресія/Машинне навчання

о Завдання: Прогноз несправностей конвеєра. Опис: На основі вібрацій, часу роботи, логів SCADA

Інструмент:

✓ DecisionTree, XGBoost.

о Завдання: Прогноз часу на упаковку. Опис: Прогноз на основі швидкості подачі, кількості працівників

Інструмент:

✓ Регресія.

о Завдання: Оптимізація кількості працівників. Опис: Рекомендація зміни складу персоналу в залежності від обсягу

Інструмент:

✓ ML-класифікація.

Якщо проаналізувати ці рекомендації, то також можна зробити висновок, що більшість з них (виділені підкреслюванням) відносяться саме до сучасних цифрових технологій цифрової трансформації аналогічних СА/АТП, тобто здобувач також може без вагань взяти їх до уваги при подальшому обґрунтованому виборі такої технології для ЦТ цього екземпляру СА/АТП ІЗ.0.

3.2 Приклад концептуального проєктування ЦТ екземпляру СА ІЗ.0 хімічного реактора

Вище були показані результати роботи програми «ChatGPT» (див. рисунок 2.13) з такою рекомендацією – використати для цифрової трансформації даного екземпляру СА ІЗ.0 цифрову технологію цифрового двійника для моделювання процесів у реальному часі на основі зібраних даних.

Для прикладу практичного використання нового КНЗ розробимо відповідне концептуальне рішення такої ЦТ. Відомо, що одним із способів реалізації цього рішення є застосування такої сучасної цифрової технології як CFD (Computational Fluid Dynamics), яка дозволяє у режимі реального часу за допомогою чисельних методів моделювати протікання фізичних процесів у рідинах, зокрема, їх змішування та нагрівання [48-50]. Зокрема, технологія CFD для змішувальних резервуарів хімічних реакторів дозволяє виконувати в режимі реального часу [44] такі дослідження: виникнення завихрень і розподілення енергій; розподілення швидкостей руху рідкої суміші; аналіз поведінки суспензії твердих часток; трасування процесу змішування (побудова траєкторій окремих струмів); аналіз процесу аерації; утворення поверхневих вихрів й ефектів.

Для прикладу на рисунку 3.4 показаний приклад застосування CFD для дослідження трасування при змішуванні двох рідин лопатевим змішувачем,

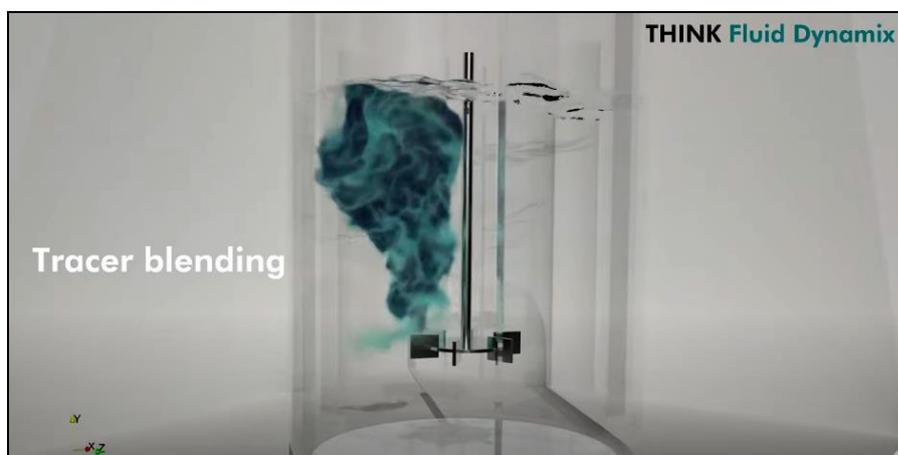


Рисунок 3.4 – Приклад трасування процесу змішування двох рідин

а на рисунку 3.5 – для побудови діаграми розподілення швидкостей руху рідкої суміші по об'єму хімічного реактора.

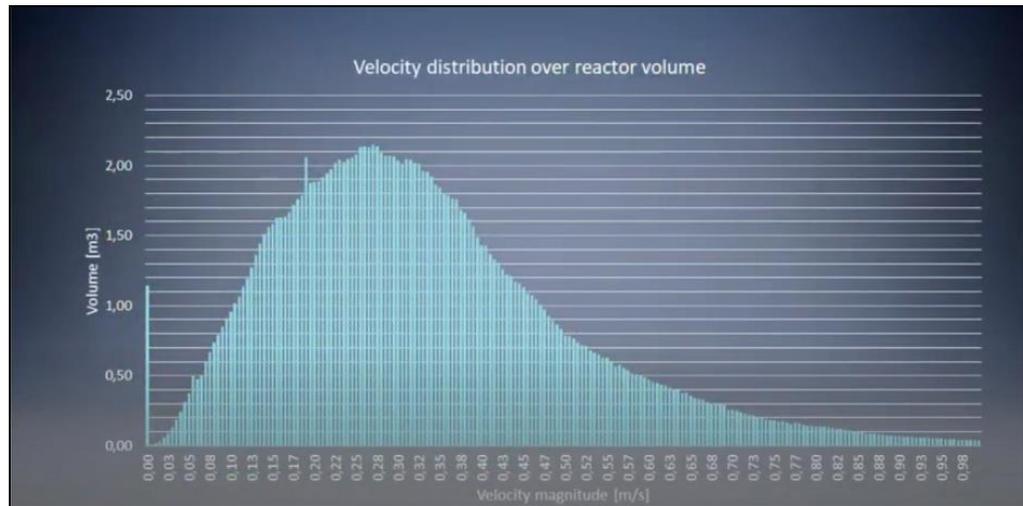


Рисунок 3.5 – Розподілення швидкостей руху рідкої суміші по об'єму реактора

У наш час технологію CFD широко використовують не тільки академічні установи, але і виробники відповідного промислового обладнання. Так, італійська компанія «ЕКАТО», що відома у всьому світі як виробник якісного змішувального устаткування, на своєму сайті [49, 50] не тільки рекламує приклади використання CFD для різних прикладних задач, але і організує он-лайн курси для підготовки молодих фахівців та надає можливість їм самостійно змодельювати будь-який процес змішування за допомогою «хмарного» інструментального додатку.

На рисунку 3.6 показаний приклад такого моделювання. На рисунку моделюється дисперсія рідин, під якою розуміють змішання двох або більше рідин, які в природних умовах не змішуються одна з одною. Такі суміші роблять і використовують для багатьох промислових застосувань. Наприклад, у хімічній промисловості рідини часто змішують протягом заданого відрізка часу для протікання відповідної хімічної реакції. Довгострокова стійка дисперсія також застосовується в промисловості, наприклад на фармацевтичних, косметичних або харчових виробництвах. Для моделювання дисперсії рідин на «хмарній»

платформі компанії «ЕКАТО» треба задавати: основні вимоги до процесу (тимчасова або стійка дисперсія); значення різниці густини/граничної напруженості рідких фаз, а також значення вхідної механічної енергії від системи змішувача. Можна також вибрати тип лопатей змішувача з тих, що виготовляє ця компанія.



Рисунок 3.6 – Приклад моделювання процесу змішування на «хмарній» платформі компанії «ЕКАТО»

Для прикладу на рисунку 3.7 наведені результати чисельного моделювання процесу змішування п'яти рідин для визначення часу протікання цього процесу.

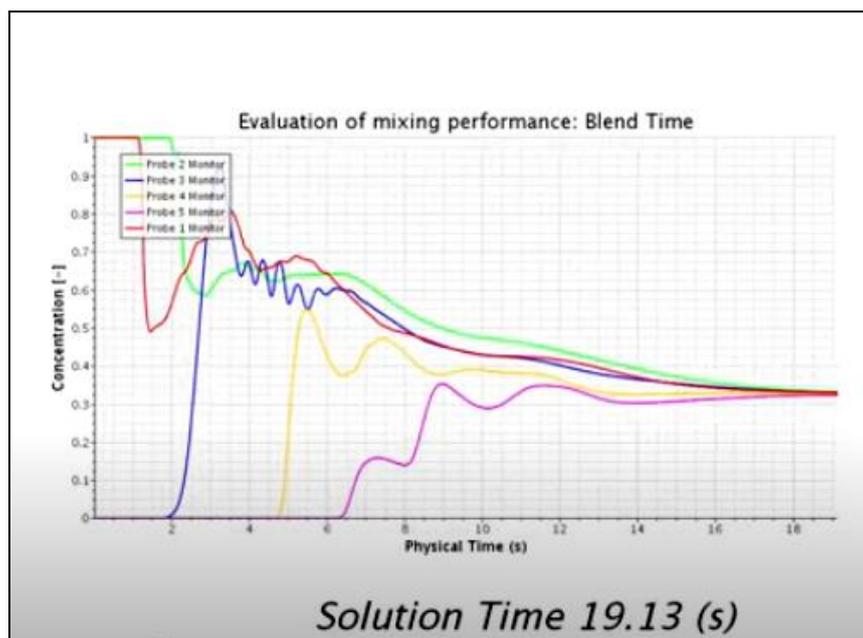


Рисунок 3.7 – Дослідження часу протіканні процесу змішування

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

На рисунку 3.8 показаний ескізний проєкт такої цифрової трансформації існуючого реального АТП. В цьому проєкті застосована ще одна розповсюджена зараз цифрова технологія – «Edge Computing» (Граничне Обчислення), коли процес чисельного обчислення CFD моделей виконується на локальному сервері, а результат цих обчислень не доступний з боку глобальної мережі (це зроблено з метою забезпечення безпеки технологічного процесу).

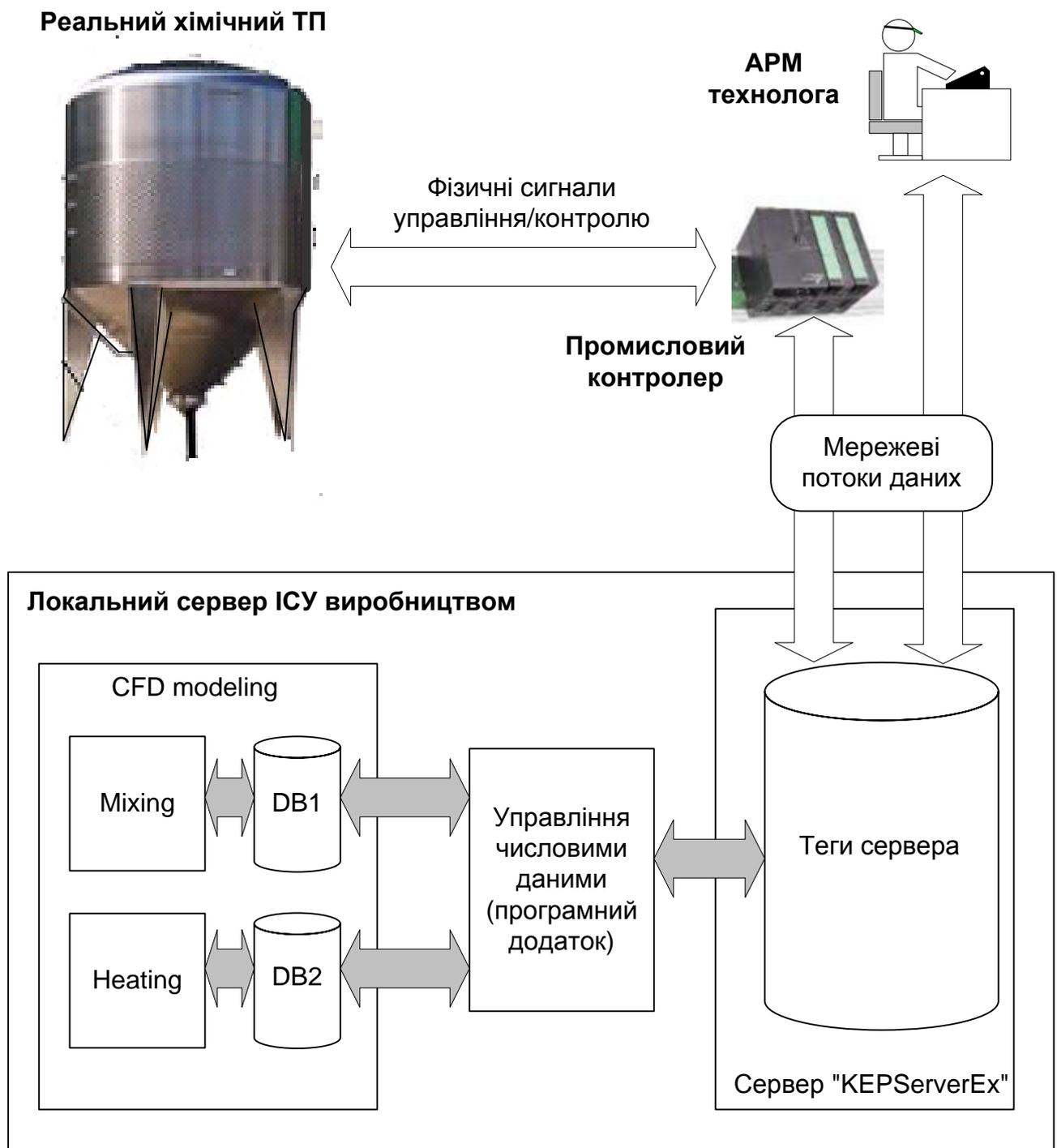


Рисунок 3.8 – Ескізний проект цифрової трансформації на основі технології «Digital Twin» та «Edge Computing»

Як видно з рисунку, на локальному сервері ІСУ виробництвом розгорнутий додаток CFD моделювання «CFD modeling», в якому реалізовані дві чисельні моделі – «Mixing» (моделювання у реальному часі процесу змішування рідких реагентів в ємності реактора) та «Heating» (моделювання у реальному часі

процесу нагрівання суміші рідких реагентів в ємності реактора). В результаті роботи цих моделей формуються числові дані, які зберігаються у двох внутрішніх базах даних (позначені як DB1 та DB2). Така будова віртуального об'єкту.

У свою чергу, реальний об'єкт, а саме, реальний хімічний ТП, що керується промисловим контролером, обмінюється з ним відповідними фізичними сигналами управління та контролю в процесі виготовлення поточної порції хімічної продукції. Через цифрову мережу усі ці дані записуються у теги комунікаційного сервера «KEPServerEx» для подальшого використання в ІСУ виробництвом. Крім того, у відповідні теги даного комунікаційного сервера записуються і дані з АРМ технолога, які стосуються технологічної процедури виготовлення поточної порції хімічної продукції (послідовність закачування реагентів до реактора, температура нагрівання суміші, нормативна тривалість хімічної реакції і т.п.) та фізичних характеристик реагентів, з яких виготовляється ця продукція (густина, об'єм, в'язкість і т.п.).

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

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

Наприклад, промисловий контролер після вмикання змішувача хімічного реактора (програмою контролера формується відповідний сигнал управління, дані про який записуються і у відповідний тег комунікаційного сервера «KEPServerEx») переходить до очікування результатів моделювання процесу змішування (дані про вмикання змішувача через програмний додаток локального сервера ІСУ передаються у відповідну локальну базу цифрового моделювання, що

запускає до дії процес цифрового моделювання процесу змішування). Після того, як моделювання зафіксує момент закінчення процесу змішування (ця функція може бути реалізована і у програмному додатку), дані про це через відповідний тег комунікаційного сервера «KEPServerEx», та цифрову мережу поступають до прикладної програми контролера, який зупиняє змішувач або не зупиняє його, але переходить до наступної технологічної операції, наприклад, нагрівання суміші або закачування ще одного реагенту.

3.3 Приклад концептуального проєктування ЦТ екземпляру СА І3.0 дозатора

Вище були показані результати роботи програми «ChatGPT» (див. рисунок 2.15) з такою рекомендацією – використати для цифрової трансформації даного екземпляру СА І3.0 цифрові технології «Машинний зір» (для автоматичної перевірки упаковки) та «Штрих-кодування або RFID-теги» (для відстеження продукції)..

Для прикладу практичного використання нового КНЗ розробимо відповідне концептуальне рішення такої ЦТ. На рисунку 3.9 показаний цей проєкт.

Основними елементами даного проєкту є:

- система управління (CONTROL та SCADA), що виконує функції цих двох рівнів управління ІСУ виробництвом;
- 2-шляховий конвеєр, на якому пусті банки подаються до кранів №1 та №2 дозатора, зупиняються у робочій позиції, а після наповнення, переміщуються до наступної технологічної операції;
- логістична система, що обслуговує АТП дозування;
- нейронна мережа, що розгорнута на edge-сервері.

Трансформований АТП дозування працює наступним чином. Починається все з отримання Майстер рецепту. Підсистема управління SCADA, отримуючи

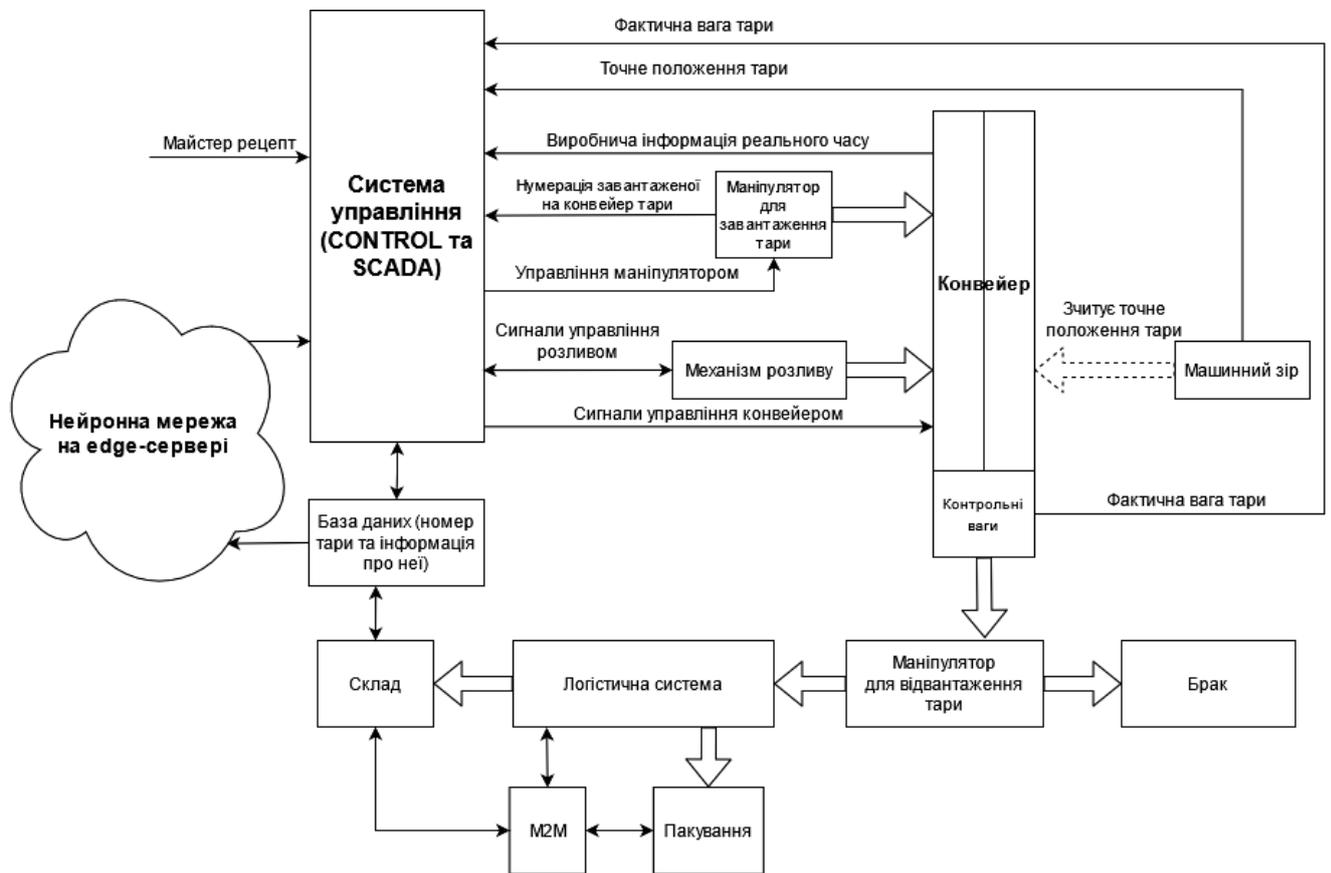


Рисунок 3.9 – Концептуальний проєкт цифрової трансформації АТП дозування з застосуванням цифрової технології AI

Майстер рецепт, за допомогою вбудованої програми автоматично створює Керівний рецепт. Після створення Керівного рецепту починається виконання технологічного процесу з виготовлення партії готової продукції. Підсистема управління CONTROL подає відповідні команди на маніпулятор для завантаження тари (пусті банки) на конвеєр та здійснює пуск самого конвеєра. На цьому етапі також виконується автоматичне цифрове позначення кожної завантаженої одиниці тари (пуста банка) і ці цифрові дані зберігаються в базі даних системи управління. Нумерація здійснюється в процесі роботи маніпулятора – кожен його рух детермінований програмою управління і пов'язується з одиницею тари, що поміщується на конвеєр. Таким чином, кожна окрема одиниця тари (пуста банка) ідентифікується за своїм цифровим номером у відповідності зі своїм розміщенням на конвеєрі. Одночасно з цим зберігаються дані про тару (пусту банку) – номер тари, номер поточного керівного рецепту, тип

тари (форма, літраж), час завантаження. Важливо зауважити, що на конвеєр тари (пусті банки) мають завантажуватися попарно (на праву та ліву стрічки конвеєра одночасно).

Далі завантажена тара рухається по конвеєру доки вона не під'їде до точки позиціювання, де дозатор заповнить її через відповідний кран. Пропонується застосувати систему машинного зору, яка дозволить отримати детальну візуальну інформацію та оцінити точність положення одиниці тари (пустої банки) під краном дозатора. Саме на основі цієї інформації здійснюється точна зупинка конвеєра подачі пустої тари (пустої банки) під кран дозатора. Також за допомогою машинного зору можна виявити будь-які порушення на етапі подачі тари (пустої банки) до крану дозатора, наприклад, або помилкова подача тари не того типу, або подача пошкодженої тари, або подача тари (банки, яка впала в процесі руху конвеєра. У такому випадку раніше збережена інформація про одиницю тари, що поставлена на конвеєр, дозволить швидко її відстежити та скоригувати процес виконання Керівного рецепту, наприклад, замінити браковану тару, завантаживши на конвеєр додаткову нову її одиницю. Також корегується робота програми управління дозатором, наприклад, відміняється процес відкривання відповідного крану дозатора.

Коли тара (пуста банка) знаходиться у правильній робочій позиції під краном розливу та ніякого її браку не виявлено, то на пристрій розливу подаються відповідний сигнал управління. Так як у відкритого крану є своя пропускна здатність, то процес заповнення тари триває у часі, протягом якого кран буде відкритий. Наприклад, якщо через кран поступає 200 мл/с, то для заповнення тари об'ємом 1.3л клапан повинен бути відкритий протягом 6,5с. Дані про літраж тари також фіксуються на етапі її завантаження на конвеєр.

Після завершення процесу розливу конвеєр переміщує наповнену тару (банку) на контрольні ваги. Це важливий момент, адже він дозволить виявити брак – у кожній заповненої тари (банки) повинна бути задана вага в межах якихось допусків. Якщо відхилення виходить за рамки встановлених границь, то готова продукція бракується, що фіксується у відповідній базі даних.

Після контролю ваги готової продукції маніпулятор знімає її з контрольних ваг (розділяє готову продукцію від браку). Готова продукція передається у логістичну систему, звідки вона потрапляє на наступну роботизовану станцію пакування, а далі на склад. На протязі цього процесу додаткова інформація про готову продукцію заноситься у базу даних АТП.

Після потрапляння готової продукції на склад технологічний процес можна вважати завершеним. Таким чином, в ході всього трансформованого АТП дозування активно зберігається різноманітна інформація щодо його ходу та станів його матеріальних ресурсів (тара, готова продукція), яку можна надалі аналізувати. Наприклад, якщо виявиться, що брак після наповнення банок є систематичним, то можна, наприклад, скорегувати програму управління дозатором, щоб усунути джерело браку. Також, змінюючи належним чином порядок подачі пустої тари на конвеєр можна оптимізувати час виконання всього технологічного процесу з виготовлення партії готової продукції, обсяг якої заданий у Керівному рецепті. Всім цим аналізом та розрахунком має займатися нейронна мережа на edge-сервері, яка відправляє необхідні дані у підсистему управління SCADA, щоб належним чином змінити хід виконання ТП.

Також можна запропонувати використання модульних конструкцій для групового переміщення банок на конвеєрі. На рисунку 3.10 показане таке вдосконалення АТП дозування..

По-перше, в дозаторі встановлюється тільки один наливний кран, а замість двох його конвеєрів поштучної подачі банок встановлюється єдиний транспортний стіл з рейками, по яких утримувач з пустими банками автоматично переміщується з його вхідного краю на платформу позиціонування, розміщену під краном дозатора. Ця платформа за допомогою 2-координатної системи електроприводів та за командами промислового контролера, який обробляє відповідне зображення з відеокамери, переміщує деталь так, щоб вона розмістилась в робочій зоні інструмента автоматичного верстату. Після цього виконується технологічна операція оброблення деталі, а далі за командою контролера оброблена деталь

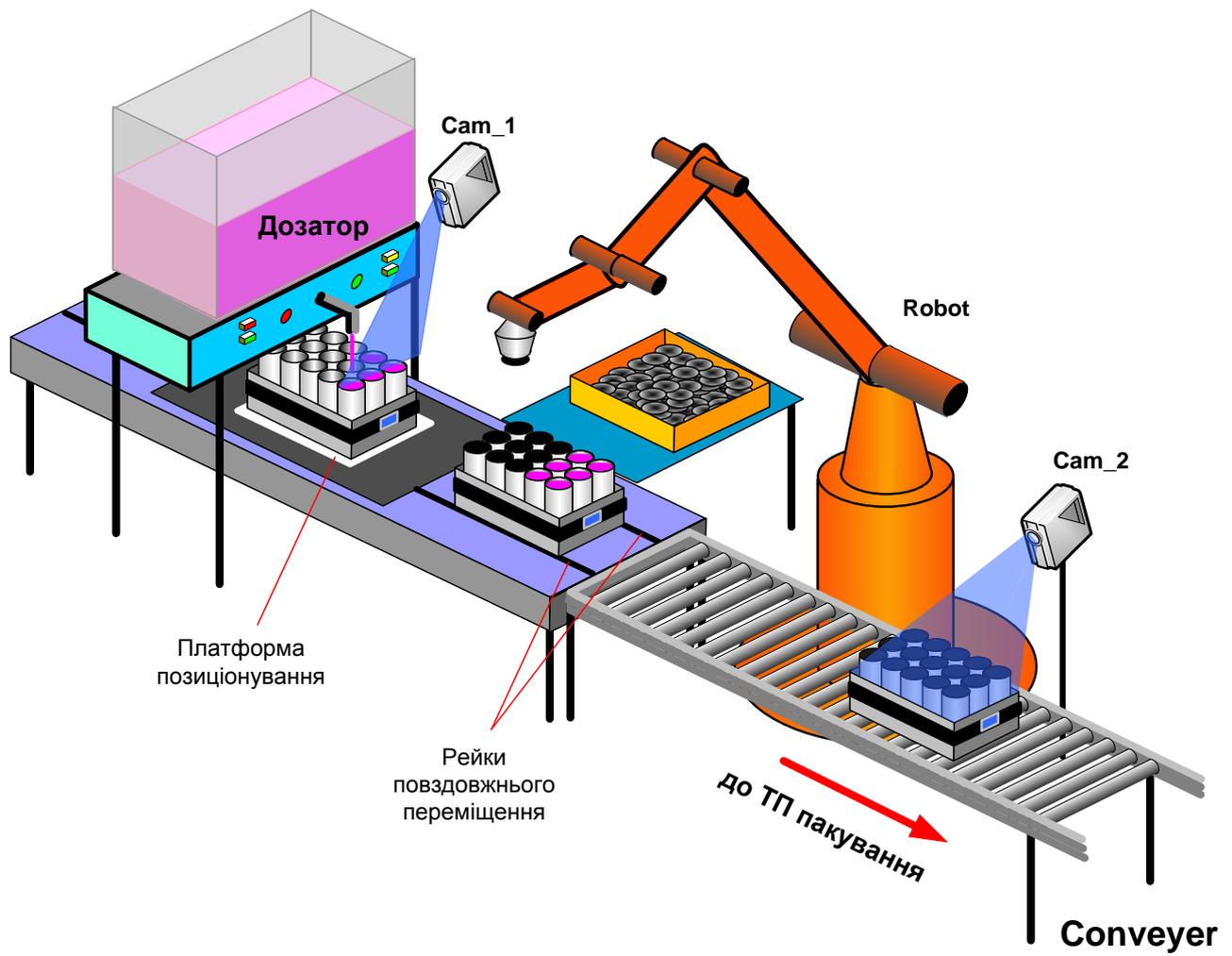


Рисунок 3.10 – Концепція вдосконалення екземпляру СА/АТП дозатора

знімається промисловим роботом з платформи позиціювання і переноситься на конвеєр, що рухає її до наступної робочої станції.

Крім того, для вдосконалення АТП дозування для контролю за процесом переміщення утримувача з пустими банками під наливним краном дозатора можна запропонувати використання промислової відеокамери «Cam_1», яка б формувала високоякісне зображення робочої зони дозатора. Крім функції позиціювання окремої пустої банки точно під наливним краном, ця система може виконувати і додаткову функцію – контроль процесу наповнення банки хімічною продукцією. Це, без сумніву, підвищує цінність (Value) даного ТП, бо усуває брак, пов'язаний з недоливом або взагалі пропуском окремої банки.

На відміну від екземпляру СА/АТП ІЗ.0 в запропонованій концепції (див. рисунок 3.10) на технологічній операції закривання наповнених банок кришками використовується промисловий робот («Robot»). Цей робот спеціальним вакуумним захоплювачем бере поштучно кришки з коробки та з натиском закриває по черзі усі наповнені банки, що знаходяться в утримувачі, що по рейках був переміщений з платформи позиціювання в робочу зону робота. На цій операції можна також використати машинний зір для контролю процесу та управління промисловим роботом, але ми це не показали для спрощення рисунку. Проте в концепції використовується друга промислова відеокамера «Cam_2», яка встановлена на виході АТП дозування. Вона сканує банки всередині утримувача, що переміщуються конвеєром до наступного АТП пакування. За отриманим зображенням можна далі програмним шляхом виявити брак – банки, що не закриті кришками, і вжити відповідних заходів.

Також, враховуючи те, що машинний зір, є дуже ефективним способом цифрової трансформації, можна включити в концептуальний проєкт і його застосування. По суті, машинний зір є заміною людського візуального контролю в процесі виробництва, наприклад, за допомогою відеокамер та відповідного програмного забезпечення комп'ютерів здійснюється розпізнавання зображень і реалізації вимірів, підрахунків, а також зчитування штрих-кодів і оптичних символів –OCR.

3.4 Приклад концептуального проєктування ЦТ екземпляру СА ІЗ.0 пакування

Вище були показані результати роботи програми «ChatGPT» (див. рисунок 2.17) з такою рекомендацією – використати для цифрової трансформації даного екземпляру СА ІЗ.0 цифрові технології «AI-аналітика» (для прогнозування збоїв), «RFID-мітки» (для точної ідентифікації товарів) та «Машинний зір» (для виявлення дефектів упаковки)..

Для прикладу практичного використання нового КНЗ розробимо

відповідне концептуальне рішення такої ЦТ стосовно пакувального робота.

Визначимо спочатку ті набори цифрових даних, які можна збирати з пакувального робота існуючого екземпляру СА/АТП ІЗ.0 та аналізувати тим чи іншим методом ML з метою, наприклад, виявлення аномалій в його роботі. По-перше, на ці дані не повинні впливати будь-які дії людей (працівників), яких в цьому процесі задіяно досить багато. Тому треба аналізувати тільки ті операції, які пакувальний робот виконує самостійно, наприклад, технологічну операцію пакування шару банок у коробку, але починати збір даних треба лише з того моменту, коли банки вже зупинилися конвеєром у робочій зоні робота, а контролер надав команду роботу почати виконувати операцію по їх пакування. По-друге, ці дані повинні спочатку реєструватися (накопичуватися) у контролері робота в ході виконання ним чергової технологічної операції, а вже після закінчення операції, дані мають передаватися через мережу підприємства з контролера до того обчислювача (сервера), де буде виконуватися їх аналіз моделлю ШІ. Тому важливим є не перевантажити контролер надмірною обробкою цих даних. Наприклад, можна задіяти для цього апаратний таймер контролера і фіксувати програмним шляхом тільки ті моменти часу, коли спрацьовують дискретні датчики, що контролюють рухи маніпулятора на протязі всієї технологічної операції.

Для прикладу на рисунку 3.11 показаний можливий варіант такого набору даних, що реєструється в пам'яті контролера за цикл виконання однієї технологічної операції. По вісі абсцис вказані номери дискретних датчиків у порядку їх спрацювання по ходу виконання роботом однієї технологічної операції. По вісі ординат вказані моменти часу спрацювання того чи іншого датчика, починаючи від початку виконання технологічної операції (подача контролером команди на початок виконання роботом поточної операції).

Для аналізу можна брати набори або абсолютних значень часу почергового спрацювання дискретних датчиків руху маніпулятора, які відмічені на рисунку точками, або часових інтервалів між спрацюваннями, що йдуть один за одним (позначені на рисунку як ΔT_i). Суттєва відмінність у цих наборах буде вважатися

аномалією, яка свідчить про ті чи інші порушення в роботі промислового робота, на що має відреагувати відповідальний за це персонал.

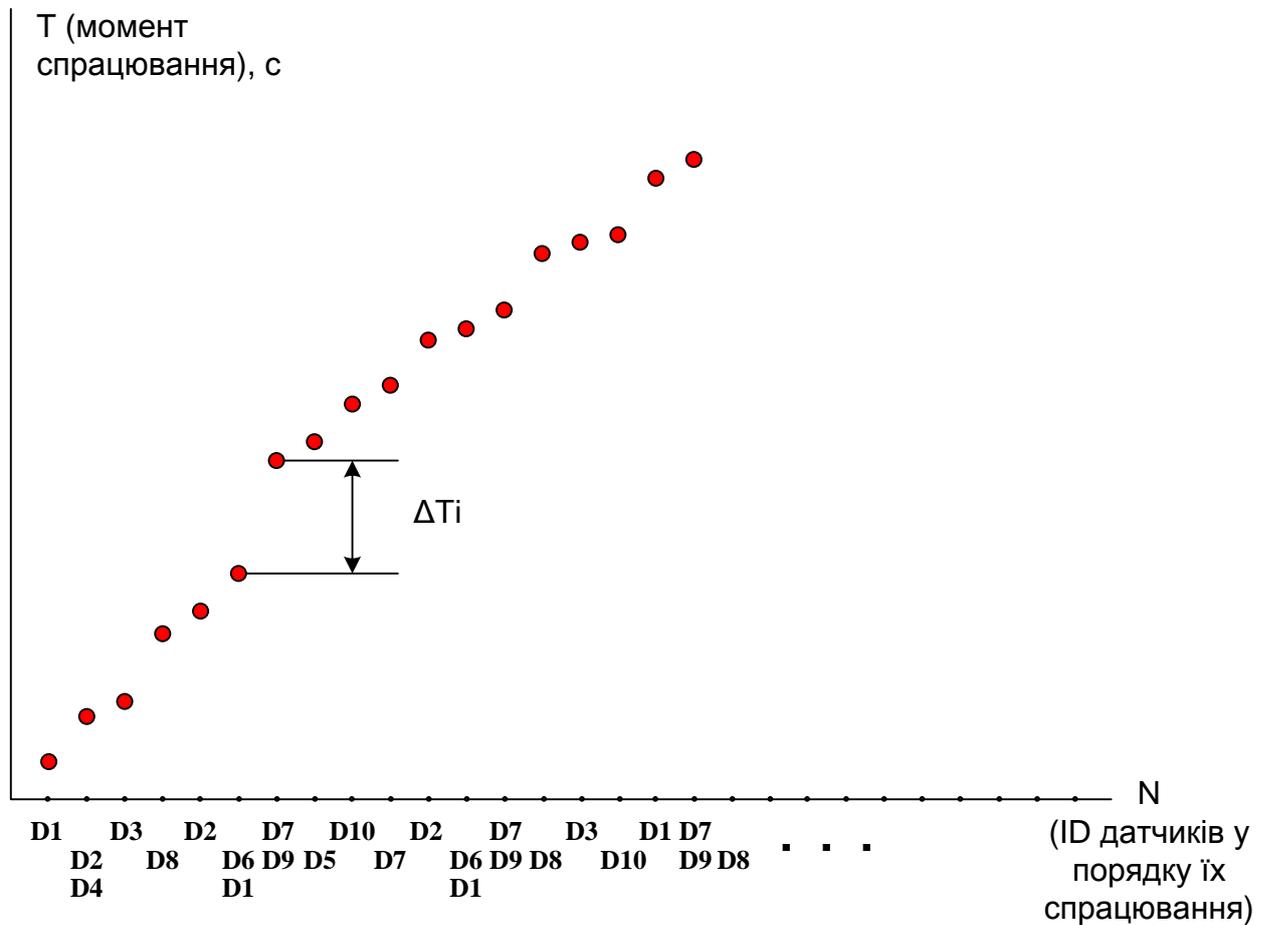


Рисунок 3.11– Набір даних по одній технологічній операції робота

На рисунку 3.12 показаний варіант побудови системи віддаленого моніторингу та управління промисловим роботом, що використовує мобільний користувацький інтерфейс. Контролер робота підключається через Інтернет до користувацького IoT додатка за допомогою «ThingWorx Edge MicroServer». Мобільний користувацьких інтерфейсів для управління роботом завантажує з сервера «ThingWorx Server» графічний інтерфейс робота (ThingWorx Mashup), що розроблений за допомогою компонента "Mashup Builder".

Іншим способом зв'язування «розумних» пристроїв з хмарними IoT додатками та сервісами є використання сервера «ThingWorx Connectivity» фірми «Kerware Technologies» [51], яка пропонує свій продукт - промислову

комунікаційну платформу «KEPServerEX» [51], яка створює для будь-яких додатків користувача єдине джерело даних промислової автоматизації.

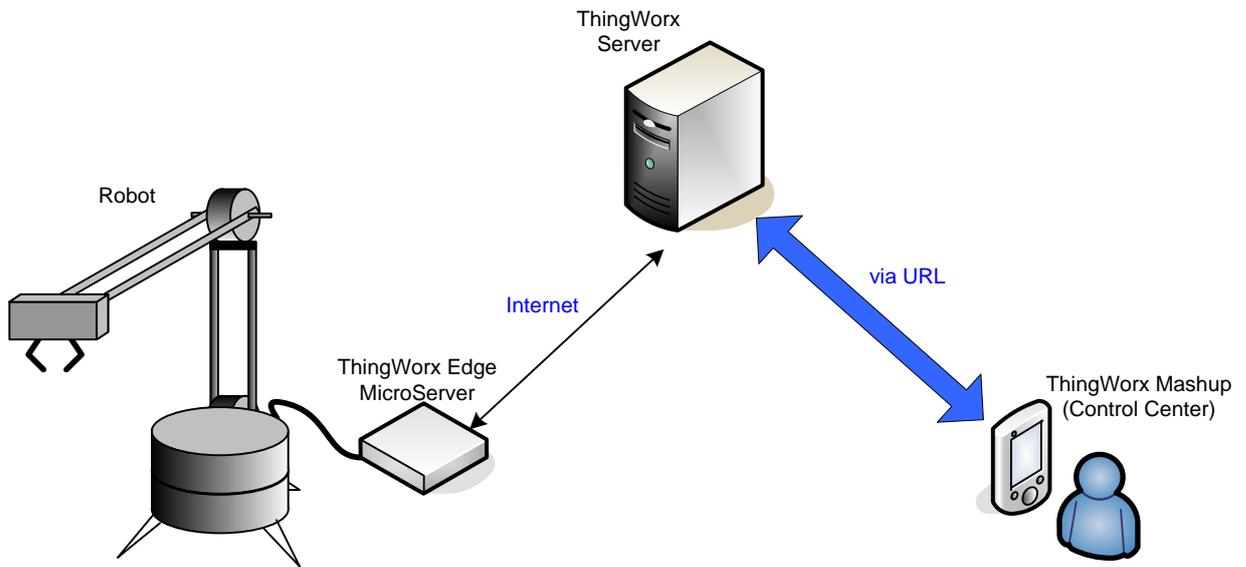


Рисунок 3.12 – Система віддаленого моніторингу та управління роботом

Архітектура цієї платформи дозволяє користувачам з'єднувати, налаштовувати, виконувати моніторинг та управління різними автоматичними пристроями та програмними додатками через єдиний інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. На рисунках 3.13 та 3.14 показані варіанти оформлення відповідних Web-сторінок даного GUI.

Також у попередньому підрозділі було запропонований спосіб ЦТ, який застосовує на даному АТП модульну конструкцію оснастки, що, по-перше, покращує адаптацію встановленого обладнання до нових видів продукції, по-друге, виключає зсуви, перекидання чи падіння банок при переміщенні конвеєром, по-третє, збільшує продуктивність процесу пакування, бо одночасно в коробку робот кладе весь шар цих банок. Зокрема, пропонується використовувати на даному виробництві спеціальний прямокутний утримувач, виготовлений з пластмаси, всередині якого банки затискаються за допомогою вбудованого фіксатора. Цей фіксатор приводиться до дії натисканням на важіль, що розміщений на торцевому боці утримувача. Таким чином, якщо натиснути на

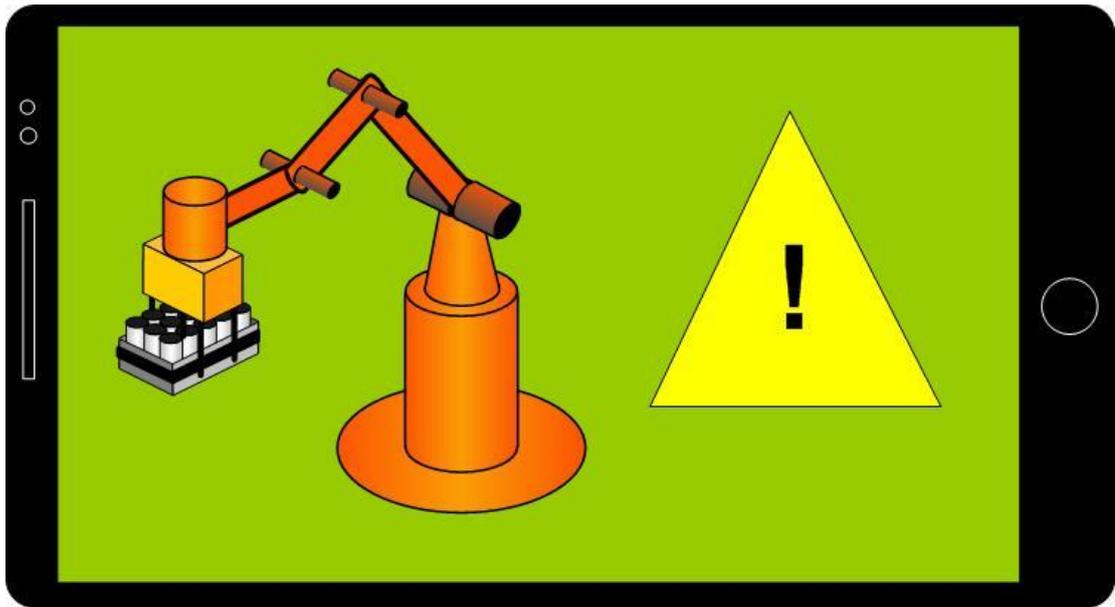


Рисунок 3.13 – Сторінка сповіщення фахівця про виявлення аномалії

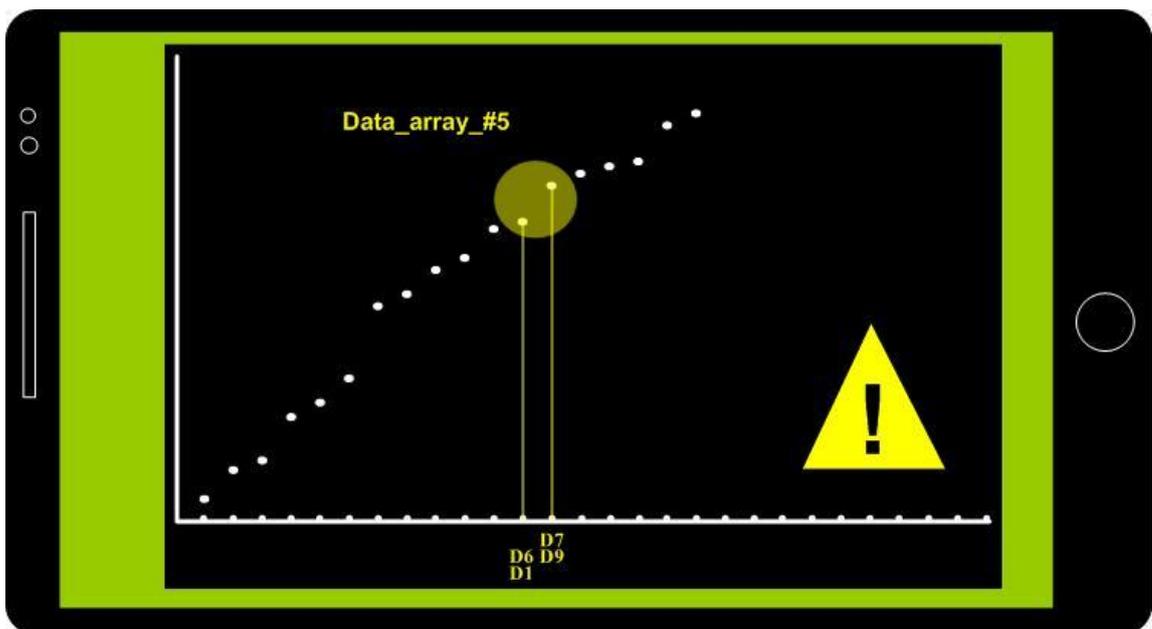


Рисунок 3.14 – Сторінка детальної інформації щодо аномалії

важіль, то банки всередині утримувача будуть притискатися одна до одної і не падуть, якщо цей утримувач разом з банками підняти догори, наприклад, для їх переміщенні на конвеєр або при їх зніманні з конвеєра.

Розглянемо тепер концепцію вдосконалення обладнання АТП пакування,

що має бути зроблено в рамках його цифрової трансформації. На рисунку 3.15 показано це концептуальне рішення.

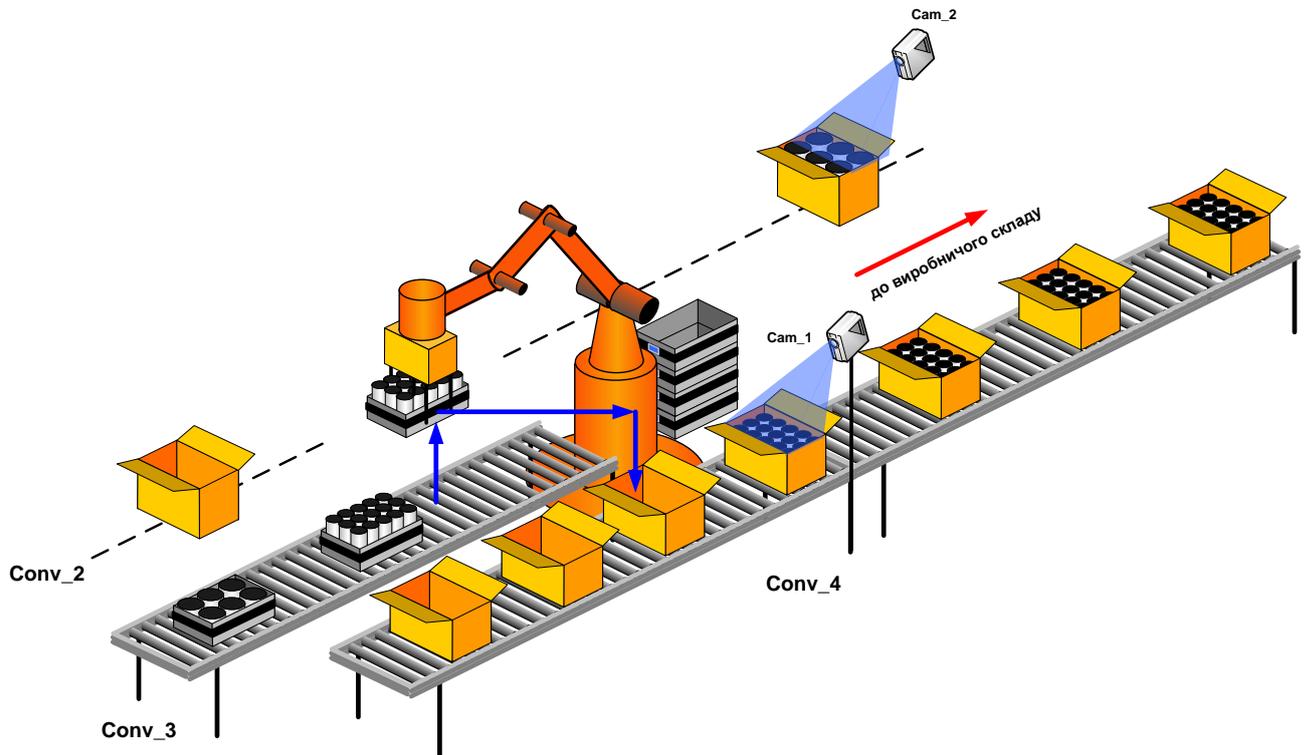


Рисунок 3.15 - Концепція вдосконалення екземпляру СА/АТП пакування

Воно відрізняється від існуючого екземпляру СА/АТП ІЗ.0 тим, що пакування наповнених та закритих банок у коробки виконується роботом пошарово, завдяки використанню спеціального утримувача. Коли такий утримувач конвеєром «Conv_3» подається в робочу зону робота, то робот захоплює цей утримувач разом з банками, натискаючи при цьому на важіль фіксатора, піднімає все разом догори і переносить до пустої коробки, яка розміщена або на конвеєрі «Conv_2» (для банок типу 2), або на конвеєрі «Conv_4» (для банок типу 1), далі повертає механізм схоплення на потрібний кут, опускає до коробки і повільно відпускає важіль фіксатора. Усі банки з утримувача повільно сковзають всередину коробки. Для управління роботою робота на цій операції також можна використати машинний зір, встановивши в робочій зоні конвеєрів «Conv_2» та «Conv_4» дві відеокамери.

3.5 Висновки до розділу

В результаті виконання даного розділу магістерської кваліфікаційної роботи було розроблене загальне бачення процесу виконання на новому КНЗ другої стадії проєктного практикуму «Розробка цифрової трансформації екземпляру СА ІЗ.0». З навчально-методичних міркувань ця стадія розділена на два проєктні етапи – «Концепція цифрової трансформації екземпляру СА ІЗ.0» та «Ескізний проєкт цифрової трансформації екземпляру СА ІЗ.0». Обидва ці етапи здобувач виконує з залученням відповідних інструментів штучного інтелекту, зокрема, «ChatGPT» компанії «OpenAI» та «NotebookLM» компанії «Google». Наведені приклади навчального концептуального проєктування в рамках нового КНЗ цифрової трансформації екземплярів трьох СА/АТП ІЗ.0.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання науково-технічного та техніко-економічного обґрунтування магістерської кваліфікаційної роботи було проведено дослідження предметної області цифрової трансформації промислового виробництва, зроблений аналіз освітнього середовища типу «віртуальне виробництво», на основі якого доцільно створити новий комп'ютеризований навчальний засіб. Такий навчальний засіб буде сприяти формуванню у студентів спеціальності 174 практичних умінь та навичок у здійсненні цифрової трансформації існуючих на виробництві систем автоматизації. Розроблена загальна архітектура нового комп'ютеризованого навчального засобу з застосуванням елементів штучного інтелекту. Такий навчальний засіб можна буде використовувати в рамках кількох професійних дисциплін бакалаврського та магістерського рівнів підготовки фахівців спеціальності 174.

В результаті виконання другого розділу магістерської кваліфікаційної роботи було розроблене загальне бачення процесу виконання на новому КНЗ першої стадії проєктного практикуму «Задум цифрової трансформації екземпляру СА ІЗ.0». З навчально-методичних міркувань ця стадія розділена на два проєктні етапи – «Аналіз екземпляру СА/АТП ІЗ.0» та «Формування ідеї цифрової трансформації». Обидва ці етапи здобувач виконує з залученням відповідних інструментів штучного інтелекту, зокрема, «ChatGPT» компанії «OpenAI» та «NotebookLM» компанії «Google». На основі експериментальних досліджень цих інструментів ШІ були розроблені детальні алгоритми виконання здобувачем обох етапів проєктного практикуму за допомогою відповідних інструментів ШІ.

В результаті виконання третього розділу магістерської кваліфікаційної роботи було розроблене загальне бачення процесу виконання на новому КНЗ другої стадії проєктного практикуму «Розробка цифрової трансформації екземпляру СА ІЗ.0». З навчально-методичних міркувань ця стадія розділена на два проєктні етапи – «Концепція цифрової трансформації екземпляру СА ІЗ.0» та «Ескізний проєкт цифрової трансформації екземпляру СА ІЗ.0». Обидва ці етапи

здобувач виконує з залученням відповідних інструментів штучного інтелекту, зокрема, «ChatGPT» компанії «OpenAI» та «NotebookLM» компанії «Google». Наведені приклади навчального концептуального проектування в рамках нового КНЗ цифрової трансформації екземплярів трьох СА/АТП ІЗ.0.

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

4 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Технологічний аудит розробленого комп'ютеризованого навчального засобу

Як було зазначено раніше, однією із основних форм практичної підготовки висококваліфікованих фахівців з автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки є наскрізний проєктний практикум, за допомогою якого здобувачі-магістранти можуть отримати практичні знання та набути професійного досвіду у проєктуванні різноманітних систем автоматизації для «розумного» цифрового виробництва на рівні ескізного та технічного проєктів. Тому розробка сучасної методики використання цього проєктного практикуму за допомогою комп'ютеризованого навчального засобу є актуальною задачею.

У зв'язку з цим, метою виконаної магістерської кваліфікаційної роботи стала розробка загальної методики наскрізного проєктного практикуму на основі застосування нового комп'ютеризованого навчального засобу з елементами штучного інтелекту. Для цього нами було досліджено цифрову трансформацію як процес вдосконалення промислових систем автоматизації; досліджено сучасні освітні тренди у практичній підготовці фахівців; обгрунтовано вибір технічного рішення комп'ютеризованого навчального засобу; розроблено архітектуру нового комп'ютеризованого навчального засобу; спроектовано окремі стадії проєктного практикуму в рамках нового комп'ютеризованого навчального засобу.

Для встановлення комерційного потенціалу розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу було запрошено 3-х відомих експертів: к.т.н., професора Кривогубченка С.Г., к.т.н. доцента Овчинникова К.В. та к.т.н., доцента Кулика Я.А.

Технологічний аудит розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу на предмет доцільності його комерційного використання було зроблено за критеріями, які наведено в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу будь-якої розробки і їх бальна оцінка

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

Продовження таблиці 4.1

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
0	1	2	3	4	
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витрачати значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промислово-му комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Запрошені експерти оцінили комерційний потенціал розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу шляхом виставлення бальних оцінок по кожному із критеріїв, як це пропонується в таблиці 4.1.

Виставлені експертами бальні оцінки було зведено в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати оцінювання комерційного потенціалу наукової розробки за 5-ти бальною шкалою оцінювання:

Критерії	Ініціали, прізвище експертів		
	С.Г. Кривогубченко	С.Г. Овчинников	Я.А.Кулик
	Бали, що їх виставили експерти:		
1	3	3	3
2	4	4	4
3	3	3	4
4	3	4	3
5	4	3	3
6	3	3	3
7	3	4	3
8	4	3	3
9	3	3	4
10	3	3	3
11	4	3	3
12	3	3	3
Сума балів	СБ ₁ = 40	СБ ₂ = 39	СБ ₃ = 39
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 СБ_i = \frac{40 + 39 + 39}{3} = \frac{118}{3} \approx 39,33$		

Після проведеного експертного оцінювання нами було розраховано рівень комерційного потенціалу розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу. Для цього були використані рекомендації, які наведено в таблиці 4.3 [52].

Оскільки середньоарифметична сума балів, що їх виставили експерти, становить 39,33 балів (із максимально можливих 48-ми балів), то це свідчить, що розроблений нами комп'ютеризований навчальний засіб має рівень комерційного потенціалу, який можна вважати як «вище середнього».

Таблиця 4.3 – Рівні комерційного потенціалу будь-якої наукової розробки

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

Це обумовлено тим, що розроблений нами комп'ютеризований навчальний засіб будується на основі інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне виробництво», що дозволяє шляхом використання доступних інструментів штучного інтелекту та сучасної методики проведення проектного практикуму підвищити ефективність практичного освоєння здобувачами-магістрантами методів та засобів цифрової трансформації екземплярів промислових систем автоматизації.

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

4.2 Розрахунок витрат на розроблення комп'ютеризованого навчального засобу

При розробленні комп'ютеризованого навчального засобу були зроблені такі основні витрати:

Основна заробітна плата Z_o розробників, консультантів, фахівців тощо, величина якої визначається за формулою:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t \text{ [Грн.]}, \quad (4.1)$$

де M – місячний посадовий оклад розробника (дослідника), інших фахівців грн;

Для 2025 року прийmemo, що:

M дорівнює (8000...36000) грн/місяць;

T_p – число робочих днів в місяці; прийmemo T_p дорівнює 24 дні;

t – число днів роботи розробників, дослідників, інших фахівців.

Зроблені розрахунки величини основної заробітної плати розробників, дослідників, консультантів тощо зведемо до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Основна заробітна плата розробників (дослідників)

Найменування посади виконавця	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів (годин) роботи	Витрати на оплату праці, грн
1. Науковий керівник магістерської роботи, професор	26525	1105,21	20 годин	$(1105,21 / 6) \times 20 = 3684,03 \approx 3685$ грн (при 6-годинному робочому дні)
2. Здобувач-магістрант (виконавець)	8000	333,33	76 днів	25333,08 \approx 25334 грн
3. Консультант з економічної частини	21150	881,25	1,5 години	$(881,25 / 6) \times 1,5 = 220,31 \approx 221$ грн (при 6-годинному робочому дні)
Загалом				$Z_o = 29240$ грн

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

$$Z_d = \alpha \cdot Z_o = (0,1...0,12) \cdot Z_o \text{ [грн.]}. \quad (4.2)$$

Прийmemo, що α дорівнює 0,114. Тоді для нашого випадку отримаємо:

$$Z_d = 0,108 \times 29240 = 3157,92 \approx 3158 \text{ (грн.)}.$$

Нарахування на заробітну плату $H_{зп}$ розробників (дослідників) та всіх інших фахівців розраховуються за формулою:

$$H_{zn} = (Z_o + Z_d) \cdot \frac{\beta}{100} \text{ [грн.]}, \quad (4.3)$$

де β – ставка обов'язкового єдиного внеску на державне соціальне страхування, %. В 2025 році ставка β дорівнює 22%. Тоді:

$$H_{zn} = (29240 + 3158) \times 0,22 = 7127,56 \approx 7128 \text{ (грн.)}.$$

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

$$A = \frac{Ц \cdot H_a}{100} \cdot \frac{T}{12} \text{ [грн.]}, \quad (4.4)$$

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

H_a – річна норма амортизаційних відрахувань.

Встановлено, що H_a дорівнює (2,5...25)%;

T – термін використання основних засобів, місяці.

Зроблені розрахунки зведено в таблицю 4.5.

Таблиця 4.5 – Розрахунок амортизаційних відрахувань

Найменування обладнання, приміщень тощо	Балансова вартість, грн	Норма амортизації, %	Термін використання, місяців	Величина амортизаційних відрахувань, Грн
1. Комп'ютерна техніка, обладнання, інші спеціальні прилади тощо	92500	21,5	3,0 (при 80% використанні)	3977,50 \approx 3978
2. Приміщення університету, факультету, кафедри	100000	2,5	3,0 (при 75% використанні)	468,75 \approx 469
Всього				A = 4447 грн

Витрати на матеріали M розраховуються за формулою:

$$M = \sum_1^n H_i \cdot \Pi_i \cdot K_i - \sum_1^n B_i \cdot \Pi_B \quad [\text{грн.}], \quad (4.5)$$

де H_i – витрати матеріалу i -го найменування, кг; Π_i – вартість матеріалу i -го найменування; K_i – коефіцієнт транспортних витрат, K_i дорівнює (1,1...1,15); B_i – маса відходів матеріалу i -го найменування; Π_B – ціна відходів матеріалу i -го найменування; n – кількість видів матеріалів.

Витрати на комплектуючі K розраховуються за формулою:

$$K = \sum_1^n H_i \cdot \Pi_i \cdot K_i \quad [\text{грн.}], \quad (4.6)$$

де H_i – кількість комплектуючих i -го виду, шт.; Π_i – ціна комплектуючих i -го виду; K_i – коефіцієнт транспортних витрат, K_i дорівнює (1,1...1,15); n – кількість видів комплектуючих.

Під час виконання магістерської кваліфікаційної роботи загальні витрати на матеріали та комплектуючі 850 грн.

Витрати на силову електроенергію V_e розраховуються за формулою:

$$V_e = \frac{B \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}}{K_d} \quad [\text{грн.}], \quad (4.7)$$

де B – вартість 1 кВт-год. електроенергії, в 2025 р. B приблизно 8,1 грн/кВт;

Π – установлена потужність обладнання, кВт; Π дорівнює 1,22 кВт;

Φ – фактична кількість годин роботи обладнання, годин.

Прийmemo, що Φ дорівнює 240 годин;

K_{Π} – коефіцієнт використання потужності; K_{Π} менше 1 і дорівнює 0,82.

K_d – коефіцієнт корисної дії, K_d дорівнює 0,75.

Тоді витрати на силову електроенергію будуть дорівнювати:

$$B_e = \frac{8,1 \cdot 1,22 \cdot 240 \cdot 0,82}{0,75} = 2593,04 \approx 2594 \text{ (грн.)}.$$

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

$$V_{\text{інш}} = (0,5 \dots 3) \times Z_o \text{ [грн.]}. \quad (4.8)$$

Для нашого випадку отримаємо:

$$V_{\text{інш}} = 0,55 \times 29240 = 16082,00 \text{ (грн.)}.$$

Сума всіх попередніх статей витрат дає нам витрати на виконання цієї магістерської кваліфікаційної роботи безпосередньо розробником-магістрантом – V :

$$V = 29240 + 3158 + 7128 + 4447 + 850 + 2594 + 16082 = 63499 \text{ (грн.)}.$$

Загальні витрати на розроблення комп'ютеризованого навчального засобу становитимуть:

$$V_{\text{заг}} = \frac{V}{\beta} \text{ [грн.]}, \quad (4.9)$$

де β – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання цієї роботи.

Оскільки наша розробка практично готова, то можна умовно прийняти, що, β приблизно 0,90 [52].

Тоді:

$$V_{\text{зар}} = \frac{63499}{0,9} = 70554,44 \text{ (грн.)},$$

або приблизно 71 тисяча грн.

Тобто прогнозовані загальні витрати на розроблення нами комп'ютеризованого навчального засобу з елементами штучного інтелекту для практичного вивчення цифрової трансформації екземпляру промислової системи автоматизації можуть становити 71 тисячу грн.

4.3 Розрахунок економічного ефекту від можливої комерціалізації розробки

Проведене дослідження ринку показало, що розроблений нами комп'ютеризований навчальний засіб може знайти широке застосування завдяки своїм кращим функціональним і вартісним характеристикам. Приблизний аналіз місткості ринку показав, що на сьогодні в Україні кількість реальних користувачів подібних стендів може становити приблизно 1000 зацікавлених осіб. Окрім того, можна очікувати зростання попиту на нашу розробку принаймні протягом 3-х років після її впровадження.

Тобто, якщо наша розробка буде впроваджена з 1 січня 2026 року, то її результати будуть виявлятися протягом 2026-го, 2027-го та 2028-го років.

Прогноз зростання попиту на нашу розробку може складати по роках:

- а) 2026 р. – приблизно + 100 осіб (відносно базового року);
- б) 2027 р. – + 200 осіб (відносно базового року);
- в) 2028 р. – + 300 осіб (відносно базового року).

Аналіз ринку також показує, що сьогодні приблизна ціна на подібні розробки становить 4000 грн. А оскільки розроблений нами комп'ютеризований навчальний засіб має значно кращі функціональні можливості, то його можна буде реалізувати за ціною, що перевищує ціну на подібні розробки.

лізувати на ринку дещо дорожче, ніж подібні (та аналогічні розробки), наприклад, в середньому за 5,0 тисяч грн, тобто на 1,0 тисячу грн дорожче.

Тоді можливе збільшення чистого прибутку $\Delta\Pi_i$, що його може отримати потенційний інвестор від комерціалізації нашої розробки при її виведенні на ринок, становитиме:

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta\Pi_o \cdot N + \Pi_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{v}{100}\right) \text{ [тис.грн.]}, \quad (4.10)$$

де $\Delta\Pi_o$ – збільшення ціни реалізації розробки $\Delta\Pi_o = 5,0 - 4,0 = + 1,0$ тисяча грн;

N – обсяг діяльності у році до впровадження розробки; N дорівнює 1000 шт.;

ΔN – покращення основного кількісного показника від впровадження розробки: у 2026 році – + 100 шт., у 2027 році + 200 шт., у 2028 році + 300 шт.;

Π_o – ціна реалізації розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу після його виведення на ринок, Π_o дорівнює 5,0 тисяч грн;

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

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

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати ρ дорівнює (0,2...0,5); візьмемо рівень ρ дорівнює 0,5;

v – ставка податку на прибуток. У 2025 році v дорівнює 18%.

Тоді можливе зростання чистого прибутку $\Delta\Pi_1$ для потенційного інвестора протягом першого року від можливої комерціалізації нашої розробки (2026 р.) становитиме:

$$\Delta\Pi_1 = [1,0 \cdot 1000 + 5,0 \cdot 100] \cdot 0,8333 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 512,47 \approx 513 \text{ (тисяч грн.)}.$$

Можливе зростання чистого прибутку $\Delta\Pi_2$ для потенційного інвестора від можливої комерціалізації нашої розробки протягом другого (2027 р.) року становитиме:

$$\Delta\Pi_2 = [1,0 \cdot 1000 + 5,0 \cdot 200] \cdot 0,8333 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 683,31 \approx 684 \text{ (тисячі грн.)}$$

Можливе зростання чистого прибутку $\Delta\Pi_3$ для потенційного інвестора від можливої комерціалізації нашої розробки протягом третього (2028 р.) року становитиме:

$$\Delta\Pi_3 = [1,0 \cdot 1000 + 5,0 \cdot 300] \cdot 0,8333 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 854,13 \approx 855 \text{ (тисяч грн.)}$$

Приведена вартість зростання для потенційного інвестора всіх чистих прибутків від можливої комерціалізації нашої розробки становитиме:

$$\text{ПП} = \sum_1^t \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (4.11)$$

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

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

τ – ставка дисконтування (рівень інфляції). Прийmemo, що τ дорівнює 0,15 (15,0%);

t – період часу (в роках) від моменту початку розробки комп'ютеризованого навчального засобу до моменту отримання потенційним інвестором можливих чистих прибутків від комерціалізації цього засобу.

Тоді прогнозована приведена вартість зростання всіх можливих чистих

прибутків ПП, що їх може отримати потенційний інвестор від комерціалізації нашої розробки, становитиме:

$$\text{ПП} = \frac{513}{(1+0,15)^2} + \frac{684}{(1+0,15)^3} + \frac{855}{(1+0,15)^4} \approx 388 + 450 + 489 = 1327 \text{ (тисяч грн.)}.$$

Теперішня вартість інвестицій PV (або можлива вартість придбання нашої розробки інвестором для її комерціалізації):

$$\text{PV} = K \times V_{\text{заг}} = (1,0 \dots 5,0) \times V_{\text{заг}} \text{ [тис.грн.]}, \quad (4.12)$$

де $V_{\text{заг}}$ дорівнює 71 тисяч грн (див. підрозділ 4.1).

Для нашого випадку приймемо, що:

$$\text{PV} = (1,0 \dots 5,0) \times 71 = 4,5 \times 71 = 319,5 \approx 320 \text{ (тисяч грн.)}.$$

Абсолютний економічний ефект для інвестора від можливої комерціалізації нашої розробки за три роки (2026, 2027, 2028) складе:

$$E_{\text{абс}} = \text{ПП} - \text{PV} = 1327 - 320 = 1007 \text{ (тисяч грн.)}.$$

Далі розрахуємо внутрішню дохідність $E_{\text{в}}$ вкладених потенційним інвестором інвестицій (коштів):

$$E_{\text{в}} = \sqrt[T_{\text{ж}}]{1 + \frac{E_{\text{абс}}}{\text{PV}}} - 1 \text{ [%]}, \quad (4.13)$$

де $E_{\text{абс}}$ – абсолютний ефект вкладених інвестицій; $E_{\text{абс}}$ дорівнює 1007 тисяч грн;

PV –теперішня вартість початкових інвестицій PV дорівнює 320 тисяч грн;

$T_{ж}$ – життєвий цикл розробки, роки.

$T_{ж} = 4$ роки (2025-й, 2026-й, 2027-й, 2028-й роки).

Для нашого випадку отримаємо:

$$E_{\varepsilon} = \sqrt[4]{1 + \frac{1007}{320}} - 1 = \sqrt[4]{1 + 3,1469} - 1 = \sqrt[4]{4,1469} - 1 = 1,427 - 1 \approx 42,7 (\%).$$

Мінімальна дохідність вкладених коштів $\tau_{\text{мін}}$, нижче за яку потенційному інвестору не вигідно буде займатися комерціалізацією нашої розробки, становить:

$$\tau_{\text{мін}} = d + f [\%], \quad (4.14)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2025 році в Україні d дорівнює (0,10...0,16). Прийmemo, що τ дорівнює 12%.

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

Прийmemo, що f дорівнює 30%, тобто f дорівнює 0,3.

Тоді для нашого випадку отримаємо:

$$\tau_{\text{мін}} = 0,12 + 0,30 = 0,42,$$

або $\tau_{\text{мін}}$ дорівнює 42 %.

Оскільки величина E_{ε} дорівнює 42,7% більше $\tau_{\text{мін}}$, що дорівнює 42%, то потенційний інвестор у принципі може бути зацікавлений у комерціалізації розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу.

Термін окупності коштів, вкладених у можливу комерціалізацію розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу, становитиме:

$$T_{ок} = \frac{1}{0,427} \approx 2,34 \text{ (років)}, \quad (4.15)$$

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

4.4 Висновки до розділу

Таким чином, основні техніко-економічні показники розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу з елементами штучного інтелекту для практичного вивчення цифрової трансформації екземпляру промислової системи автоматизації, визначені у технічному завданні, повністю виконані.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання науково-технічного та техніко-економічного обґрунтування магістерської кваліфікаційної роботи було проведено дослідження предметної області цифрової трансформації промислового виробництва, зроблений аналіз освітнього середовища типу «віртуальне виробництво», на основі якого доцільно створити новий комп'ютеризований навчальний засіб. Такий навчальний засіб буде сприяти формуванню у студентів спеціальності 174 практичних умінь та навичок у здійсненні цифрової трансформації існуючих на виробництві систем автоматизації. Розроблена загальна архітектура нового комп'ютеризованого навчального засобу з застосуванням елементів штучного інтелекту. Такий навчальний засіб можна буде використовувати в рамках кількох професійних дисциплін бакалаврського та магістерського рівнів підготовки фахівців спеціальності 174.

В результаті виконання другого розділу магістерської кваліфікаційної роботи було розроблене загальне бачення процесу виконання на новому КНЗ першої стадії проектного практикуму «Задум цифрової трансформації екземпляру СА ІЗ.0». З навчально-методичних міркувань ця стадія розділена на два проектні етапи – «Аналіз екземпляру СА/АТП ІЗ.0» та «Формування ідеї цифрової трансформації». Обидва ці етапи здобувач виконує з залученням відповідних інструментів штучного інтелекту, зокрема, «ChatGPT» компанії «OpenAI» та «NotebookLM» компанії «Google». На основі експериментальних досліджень цих інструментів ШІ були розроблені детальні алгоритми виконання здобувачем обох етапів проектного практикуму за допомогою відповідних інструментів ШІ.

В результаті виконання третього розділу магістерської кваліфікаційної роботи було розроблене загальне бачення процесу виконання на новому КНЗ другої стадії проектного практикуму «Розробка цифрової трансформації екземпляру СА ІЗ.0». З навчально-методичних міркувань ця стадія розділена на два проектні етапи – «Концепція цифрової трансформації екземпляру СА ІЗ.0»

та «Ескізний проєкт цифрової трансформації екземпляру СА ІЗ.0». Обидва ці етапи здобувач виконує з залученням відповідних інструментів штучного інтелекту, зокрема, «ChatGPT» компанії «OpenAI» та «NotebookLM» компанії «Google». Наведені приклади навчального концептуального проєктування в рамках нового КНЗ цифрової трансформації екземплярів трьох СА/АТП ІЗ.0.

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

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Гур'янова А.В. та ін. Організація цифрових виробництв Індустрії 4.0 на основі кіберфізичних систем та онтологій / О.В. Гур'янова, Д.А. Заколдаєв, А.В. Шукалова, І.О. Жарінова, М.О. Костишина // Науково-технічний вісник інформаційних технологій, механіки та оптики. – 2018. – Т. 18. – № 2. – С. 268 – 277.

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

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

4. Папінов В.М. Автоматизований виробничий склад: гібридне моделювання в навчальній комп'ютеризованій лабораторії / В.М. Папінов // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. – 2020. - №1(39). – С.61-77 (URL : <https://oeipt.vntu.edu.ua/index.php/oeipt/article/download/571/545/632>).

5. Папінов В.М. Лабораторна імітація «навчальної фабрики»: гібридне моделювання матеріальних потоків / В.М. Папінов // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. – 2020. - №2(40). – С.65-81 (URL : <https://oeipt.vntu.edu.ua/index.php/oeipt/article/view/581>).

6. Factors for a Successful Digital Manufacturing Transformation [Електронний ресурс] . URL : <https://discover.3ds.com/6-factors-successful-digital-manufacturing>.

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

8. Штучний інтелект у закладах вищої освіти: рекомендації для викладачів, студентів і працівників ЗВО [Електронний ресурс] . URL : <https://mon.gov.ua/news/shtuchnyi-intelekt-u-zakladakh-vyshchoi-osvity-rekomendatsii-dlia-vykladachiv-studentiv-i-pratsivnykiv-zvo>.

9. Штучний інтелект в освіті [Електронний ресурс] . URL : <https://library.bdpu.org.ua/ai-for-education-and-research/>.

10. МОН і МІНЦИФРА розробили проєкт рекомендацій із використання ШІ в школах [Електронний ресурс] . URL : <https://mon.gov.ua/news/mon-i-mintsyfra-rozrobily-proiekt-rekomendatsii-iz-vykorystannia-shi-v-shkolakh>.

11. Денисюк О.В. Комп'ютеризований навчальний засіб з елементами штучного інтелекту для практичного вивчення цифрової трансформації екземпляру промислової системи автоматизації / О.В. Денисюк, В. М. Папінов // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2026)» [Електронне мережне наукове видання] / URL : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2026/schedConf/presentations..>

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

13. 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/>.

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

15. 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>.

16. 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.

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

18. 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/>.

19. Індустрія 4.0 – майбутнє технічної освіти [Електронний ресурс]: Ua.Automation.com / URL: <http://ua.automation.com/content/industrija-40-budushhee-tehnicheskogo-obrazovanija>.

20. Як ми зламували «розумну» фабрику [Електронний ресурс] / URL: <https://habr.com/company/trendmicro/>.

21. Коломієць А.М., Кушнір О.І. Використання штучного інтелекту в освітній та науковій діяльності: можливості та виклики // сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми. – 2023. – № 70 [Електронний ресурс] / URL: <https://vspu.net/sit/index.php/sit/article/view/5567/5009>.

22. Штучний інтелект в освіті [Електронний ресурс] / URL: <https://library.bdpu.org.ua/ai-for-education-and-research/>.

23. Штучний інтелект (ШІ) для життєвого циклу дослідження [Електронний ресурс] / URL: <https://csdrs.ukma.edu.ua/index.php/uk/17-holovni-novyny/230-shtuchnij-intelekt-shi-dlya-zhittevogo-tsiklu-doslidzhennya>.

24. Назаренко І. Google безкоштовно дарує українським студентам найрозумнішу версію Gemini: як її отримати [Електронний ресурс] / URL: https://www.unian.ua/techno/neiroseti/gemini-2-5-pro-google-bezkoshtovno-daye-gemini-2-5-pro-ukrajinskim-studentam-13156173.html?utm_source=unian&utm_medium=read_more_news&utm_campaign=read_more_news_in_post.

25. Google відкрив безкоштовну річну підписку AI Pro для студентів [Електронний ресурс] / URL: https://x.com/ygnatyuk_/status/1975861102211682480.

26. Як перетворити NotebookLM на свій Digital мозок для навчання і досліджень? Інструкція, кейси, прокти [Електронний ресурс] / URL: https://www.youtube.com/watch?v=1_oGrMgmD6w.

27. Як за допомогою локальної LLM автоматизувати рутину та полегшити

життя собі та колегам [Електронний ресурс] / URL: <https://habr.com/ru/companies/avito/articles/950926/> .

28. Колеснік П. Як перетворити ChatGPT на потужний інструмент для генерації ідей: корисні поради [Електронний ресурс] / URL: <https://www.rbc.ua/rus/stylar/k-peretvoriti-chatgpt-potuzhniy-instrument-1745325152.html> .

29. Колеснік П. Як використовувати ChatGPT креативно. 9 ідей, які виходять за рамки звичного [Електронний ресурс] / URL: <https://www.rbc.ua/rus/news/k-vikoristovuvati-chatgpt-kreativno-9-idey-1753976128.html> .

30. Шиканова А. Чому ChatGPT вигадує факти, робить помилки та інколи пише дурості: як це пояснюють науковці [Електронний ресурс] / URL: https://www.rbc.ua/rus/news/chomu-chatgpt-vigadue-fakti-robit-pomilki-1758668286.html#goog_rewarded .

31. Колеснік П. Як правильно скласти запит до ШІ, щоб зображення виходили ідеальними [Електронний ресурс] / URL: <https://www.rbc.ua/rus/news/k-pravilno-sklasti-zapit-shi-shchob-zobrazhennya-vihodili-idealnyimi-1758038895.html> .

32. Колеснік П. Як написати промпт для ChatGPT, щоб він давав точну відповідь з першого разу: простий гайд [Електронний ресурс] / URL: <https://www.rbc.ua/rus/stylar/k-napisati-prompt-chatgpt-shchob-vin-davav-tochnu-vidpovid-z-perшого-razu-prostiy-ghayd-1748350832.html> .

33. Колеснік П. OpenAI безкоштовно додала в ChatGPT те, чого чекали мільйони [Електронний ресурс] / URL: <https://www.rbc.ua/rus/news/openai-bezkoshtovno-dodala-chatgpt-te-chogo-1753866131.html> .

34. Відкриті моделі ШІ змінюють правила гри на світовому ринку [Електронний ресурс] / URL: <https://fakty.com.ua/ua/styl-zhyttia/nauka-tekhnohii/20250807-vidkryti-modeli-shi-zminyuyut-pravyla-gry-na-svitovomu-rynku/> .

35. Sora побил рекорд ChatGPT: новий ШІ-додаток скачали 1 млн разів за п'ять днів [Електронний ресурс] / URL: <https://www.unian.ua/techno/neiroseti/>

sora-zavantazhiti-ai-tiktok-obignav-navit-chatgpt-za-tempami-zrostannya-na-starti-13158255.html#webview=1.

36. Mezha.Media: OpenAI представила нову модель генерації відео Sora 2 з реалістичною фізикою та синхронізованим звуком [Електронний ресурс] / URL: <https://mezha.media/news/openai-predstavila-novu-model-generaciji-video-sora-2-305239/>.

37. Вийшов посібник з написання промптів для Sora 2 [Електронний ресурс] / URL: <https://habr.com/news/955454/>.

38. О.П. Клос, В.М. Папінов. Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення цифрової трансформації технологічних процесів промислового складу // Матер. Лі науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (ВНТУ, 31.05.2022 – 01.06.2022). [Електронне мережне наукове видання]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2022/paper/view/14845/12583>.

39. Т.В. Педоренко, В.М. Папінов. Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення цифрової трансформації хімічного технологічного процесу // Матер. Лі науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (ВНТУ, 31.05.2022 – 01.06.2022). [Електронне мережне наукове видання]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2022/paper/view/14846/12584>.

40. Р.М. Поляков, В.М. Папінов. Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення цифрової трансформації промислової транспортної системи // Матер. Лі науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (ВНТУ, 31.05.2022 – 01.06.2022). [Електронне мережне наукове видання]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2022/paper/view/14847/12585>.

41. М.І. Проценко, В.М. Папінов. Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення цифрової трансформації процесу пакування готової

продукції // Матер. Лі науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (ВНТУ, 31.05.2022 – 01.06.2022). [Електронне мережне наукове видання]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2022/paper/view/14848/12587>.

42. А.В. Жарков, В.М. Папінов. Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення цифрової трансформації технологічного процесу дозування // Матер. Лі науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (ВНТУ, 31.05.2022 – 01.06.2022). [Електронне мережне наукове видання]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2022/paper/view/14852/12589>.

43. О.М. Волковський, В.М. Папінов. Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення цифрової трансформації допоміжного виробництва промислового підприємства // Матер. Лі науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (ВНТУ, 31.05.2022 – 01.06.2022). [Електронне мережне наукове видання]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2022/paper/view/14851/12590>.

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

45. Шваб К. Четверта промислова революція. Формуючи четверту промислову революцію. – К.: Вид-во «КСД», 2019. – 416 с.

46. Google NotebookLM: Як я використовую NotebookLM для ... [Електронний ресурс]. URL: https://youtu.be/QbV_acbDABk.

47. 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.

48. CFD (Computational Fluid Dynamics) analysis of a Rushton Turbine by a time accurate simulation and LES (Large Eddy Simulation) turbulence model [Електронний ресурс] : THINK Fluid Dynamix / URL : <https://www.youtube.com/watch?v=i0sRdхpOz00>.

49. Computational Fluid Dynamics (CFD) in the past and today for mixing tanks [Електронний ресурс] : ЕКАТО/ URL : <https://www.youtube.com/watch?v=Dc4zlwхod84>.

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

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

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

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А
(обов'язковий)

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

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри АІТ

Олег БІСІКАЛО

«14» 10 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

«Комп'ютеризований навчальний засіб з елементами штучного інтелекту для
практичного вивчення цифрової трансформації екземпляру промислової
системи автоматизації»

08-31.МКР.003.00.000 ТЗ

Керівник роботи:

Володимир ПАПІНОВ

«16» 10 2025 р.

Здобувач:

гр. 1АКІТР-24м

Олександр ДЕНИСЮК

«16» 10 2025 р.

Вінниця – 2025 рік

1 Назва і галузь застосування

Комп'ютеризований навчальний засіб (КНЗ) з елементами штучного інтелекту для практичного вивчення цифрової трансформації екземпляру промислової системи автоматизації.

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

2 Підстава для виконання роботи

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

3 Мета та призначення роботи

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є розробка загальної методики наскрізного проєктного практикуму на основі нового комп'ютеризованого навчального засобу з елементами штучного інтелекту для практичного вивчення здобувачами вищої освіти методів та засобів цифрової трансформації екземпляру промислової системи автоматизації.

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

Використання КНЗ дозволяє створити умови для індивідуальної когнітивної діяльності здобувача при рішенні реальних проєктних задач, сприяє

більш глибокому вивченню здобувачем теоретичного матеріалу навчальних дисциплін, а також дає можливість сформуванню у здобувача відповідні професійно-орієнтовані практичні уміння та навички проєктування.

4 Джерела виконання роботи

Джерелами розробки є такі:

1. Папінов В.М. Багатофункціональна комп'ютеризована лабораторія для наскрізної практичної підготовки студентів спеціальності 151 / В.М. Папінов, Я.А. Кулик // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. – 2018. - №2(36). – С. 89-104.
2. Папінов В.М. Лабораторна імітація «навчальної фабрики»: гібридне моделювання матеріальних потоків / В.М. Папінов // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. – 2020. - №2(40). – С.65-81.
3. Папінов В.М. Industrial Internet of Things: практичне вивчення на базі багатофункціональної комп'ютеризованої лабораторії / В.М. Папінов, Я.А. Кулик // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. – 2019. - №2(38). – С.122-137.
4. Папінов В.М. Автоматизований виробничий склад: гібридне моделювання в навчальній комп'ютеризованій лабораторії / В.М. Папінов // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології/ Міжнародний науково-технічний журнал. – 2020. - №1(39). – С.61-77.
5. Пупена О.М. Автоматизовані системи управління виробництвом (MES-рівень): курс лекцій для студ. освіт. ст. "магістр" спец. 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" спеціалізації "Інтегровані автоматизовані системи управління" денної та заочної форм навчання / О.М. Пупена, Р.М. Міркевич. - К.: НУХТ, 2016. -135 с.

5 Показники призначення

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

Предметом досліджень є підвищення ефективності освоєння здобувачами спеціальності методів та засобів практичного проектування цифрової трансформації екземплярів промислових систем автоматизації шляхом використання сучасного комп'ютеризованого навчального засобу з елементами штучного інтелекту.

Задачі, що вирішуються в ході НДР:

1. Дослідження цифрової трансформації як процесу вдосконалення промислових систем автоматизації.
2. Дослідження сучасних освітніх трендів у практичній підготовці фахівців спеціальності.
3. Вибір та аналіз аналогічного технічного рішення комп'ютеризованого навчального засобу.
4. Розробка архітектури нового комп'ютеризованого навчального засобу для проектного практикуму.
5. Розробка технічного завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.
6. Розробка навчально-методичного забезпечення проектного практикуму.
7. Проектування окремих стадій проектного практикуму в рамках нового комп'ютеризованого навчального засобу.
8. Приклади практичного застосування розробленої методики проектного практикуму в рамках нового комп'ютеризованого навчального засобу.

Новий КНЗ має будуватися за загальною архітектурою, що описана в розділі 1 та показана на рисунку 1.19.

Ця архітектура дозволяє відтворити в рамках наскрізного проєктного практикуму послідовне виконання описаної вище стратегії цифрової трансформації як автоматизованого виробництва (AB) чи технологічного процесу (АТП), так і будь-якої його системи автоматизації (СА). В основу даного архітектурного рішення покладена існуюча лабораторна модель автоматизованого «віртуального» хімічного виробництва, яке реалізоване у лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка» ФПТА.

Метою першої стадії цифрової трансформації промислової системи автоматизації (екземпляр СА) є формування чіткого та деталізованого уявлення щодо фізичної реалізації цієї системи в умовах реального виробництва (AB, АТП). Спочатку це уявлення формується у свідомості здобувача в ході практичного вивчення ним автоматизованого лабораторного «віртуального» виробництва, яке керується так само, як і реальне виробництво. При цьому викладач готує і надає здобувачу усі необхідні методичні матеріали. Після того, як у здобувача буде сформоване таке перше уявлення про екземпляр СА/АТП, викладач і здобувач виконують по черзі розробку цифрових моделей цієї системи автоматизації в умовах реального промислового виробництва (АТП). Ці моделі повинні відображати головні властивості та особливості фізичної реалізації даного екземпляру реальної системи. Розробку деяких з цих моделей спочатку виконує викладач при підготовці навчальних завдань, а потім їх доповнює здобувач, виконуючи індивідуальне завдання в рамках проєктного практикуму. В результаті усіх описаних дій формується комплект цифрових моделей екземпляру СА/АТП реального промислового виробництва, яке побудоване за концепцією «Індустрія 3.0». Ці цифрові моделі в будь-який час можна переглядати за допомогою відповідних програмних засобів на комп'ютері лабораторії.

Для ефективного виконання здобувачем описаного цифрового моделювання екземпляру СА/АТП пропонується застосовувати як вільно доступні хмарні інструменти традиційного цифрового моделювання (наприклад двовимірні чи тривимірні графічні моделі, створені людиною), так і вільно

доступні хмарні ШІ-інструменти цифрового моделювання (наприклад автоматично створені за описом статичні або динамічні зображення, або автоматично створене відео).

Далі на основі отриманої цифрової моделі екземпляру СА/АТП реального підприємства здобувач виконує його аналіз з метою визначення тих чи інших недоліків (проблем), які в подальшому можна буде усунути шляхом його цифрової трансформації (стадія «Задум» проектного практикуму).

В новій архітектурі КНЗ пропонується при виконанні здобувачем цього аналізу застосовувати і допомогу відповідного ШІ-інструменту дослідника, який здатний розуміти розроблені цифрові моделі екземпляру СА/АТП (графічні та текстові), аналізувати таку інформацію, порівнюючи з відповідними Інтернет-джерелами, і давати свої висновки. Це значно прискорить процес пошуку недоліків (проблем), а здобувач при цьому виступає вже в ролі інспектора/експерта, який самостійно аналізує означені ШІ-інструментом недоліки (проблеми) і вибирає з них, по-перше, найбільш реалістичні, по-друге, найбільш суттєві.

З усіх знайдених таким чином недоліків (проблем) здобувач обґрунтовано вибирає найбільш важливий (важливу) і переходить до пошуку способу вдосконалення даного екземпляру СА/АТП реального підприємства з метою усунення цього недоліку/проблеми (стадія «Задум»). Зазвичай, цей пошук здобувач може виконувати за участі викладача, який надаватиме йому додаткові консультації та роз'яснення. Проте в новій архітектурі КНЗ при виконанні здобувачем цього вибору пропонується застосовувати і допомогу відповідного ШІ-інструменту дослідника, який здатний аналізувати інформацію, пов'язану з даною проблемою, шукати аналогічні випадки її розв'язання як по Інтернет-джерелах (вільний пошук), так і по сформованому здобувачем (викладачем) переліку таких джерел (обмежений пошук), та формувати свої рекомендації за результатами пошуку. Це також значно прискорить процес вибору здобувачем способу вдосконалення даного екземпляру СА/АТП, а здобувач знову може відігравати роль

інспектора/експерта, який самостійно аналізує запропоновані ШІ-інструментом способи і самостійно вибирає з них, по-перше, найбільш реалістичний, по-друге, найбільш ефективний.

Після того, як вибір способу вдосконалення екземпляру СА/АТП зроблений, здобувач здійснює вибір та обґрунтування тієї сучасної цифрової технології (або технологій), що дозволить реалізувати намічені вдосконалення або реальної СА, або реального АТП (стадія «Розробка»). При цьому здобувач обов'язково повинен використовувати поточну інформацію з Інтернет, бо область знань з цифрових технологій неупинно розвивається та ускладнюється.

Тому для допомоги здобувачу пропонується використовувати відповідний ШІ-інструмент, який вміє шукати потрібну інформацію по сучасних цифрових технологіях та пропонувати (генерувати) ідеї щодо їх можливого застосування при вирішенні наявної проблеми. І в цьому випадку здобувач також може відігравати роль інспектора/експерта, який самостійно аналізує запропоновані ШІ-інструментом цифрові технології та способи їх застосування, а також самостійно вибирає найкраще технічне рішення.

Коли потрібна цифрова технологія (або технології) вибрана (вибрані), то здобувач виконує розробку концепції запропонованого рішення цифрової трансформації (стадія «Розробка»), використовуючи для цього доступні інструменти хмарних платформ і традиційного цифрового моделювання (здобувач виконує самостійно), і ШІ-моделювання (автоматичне за запитом здобувача).

Готова цифрова модель, що відображає запропоноване концептуальне рішення цифрової трансформації екземпляру СА/АТП реального виробництва, є першим результатом практичного освоєння здобувачем процесу цифрової трансформації. Цей результат може бути отриманий на рівні бакалаврської підготовки за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», наприклад, в рамках дисципліни «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва».

На основі отриманого концептуального рішення здобувач може

продовжити проектування ЦТ на новому КНЗ і перейти до етапу розробки ескізного проєкту цифрової трансформації (стадія «Розробка» проєктного практикуму). Цей етап характеризується більшою деталізацією проєктних рішень і також передбачає активне використання доступних хмарних сервісів як цифрового моделювання (традиційного та на основі ШІ), так і розробки програмних застосунків (наприклад моделі ШІ, яка дозволяє усунути виявлену проблему екземпляра СА/АТП), тобто застосувати ШІ у ролі інструменту цифрової трансформації.

Результатом даного етапу проектування є ескізний проєкт цифрової трансформації екземпляру СА/АТП реального виробництва, яка представлена у вигляді відповідної цифрової моделі. Цю модель можна переглядати за допомогою або хмарних додатків цифрового моделювання, або через локальні програмні засоби на комп'ютері лабораторії. Даний ескізний проєкт може бути результатом практичного освоєння процесу цифрової трансформації магістрами спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», наприклад, в рамках дисципліни «Промисловий Інтернет речей».

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

Умови експлуатації навчального засобу:

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

6 Економічно-технічні показники роботи

До основних економічних показників розробки треба віднести такі:

- термін окупності інвестицій до 3 років;
- витрати на розробку навчального засобу, тис. грн.. – до 75,0 ;
- абсолютний ефект від впровадження, тис. грн.. – не менше 1000,0;
- внутрішня дохідність інвестицій, % – не менше 42 ;

7 Стадії виконання роботи

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

7.2. Етап Проектування процесу виконання стадії «Задум цифрової трансформації екземпляру СА ІЗ.0» має бути виконаний до 10.11.25 р.

7.4. Етап Проектування процесу виконання стадії «Розробка цифрової трансформації екземпляру СА ІЗ.0» має бути виконаний до 20.12.25 р.

7.5. Етап «Економічний розділ» має бути виконаний до 01.12.25 р.

8 Порядок контролю та приймання роботи

8.1 Рубіжний контроль – 02.12.25 р.

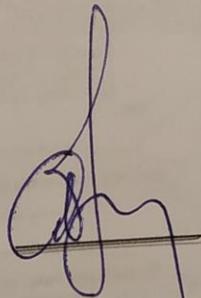
8.2 Попередній захист – 03.12.25 р.

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

Додаток Б
(обов'язковий)
ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

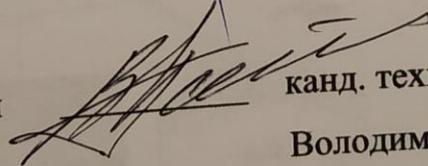
КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАСІБ З ЕЛЕМЕНТАМИ
ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПРАКТИЧНОГО ВИВЧЕННЯ ЦИФРОВОЇ
ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕКЗЕМПЛЯРУ ПРОМИСЛОВОЇ СИСТЕМИ
АВТОМАТИЗАЦІЇ

Зав. кафедри АІТ



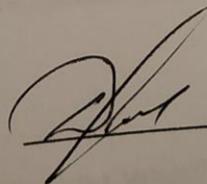
д-р техн. наук, професор каф. АІТ
Олег БІСКАЛО

Керівник роботи



канд. техн. наук, проф. каф. АІТ
Володимир ПАПІНОВ

Здобувач
гр. АКІТР-24м



Олександр ДЕНИСЮК

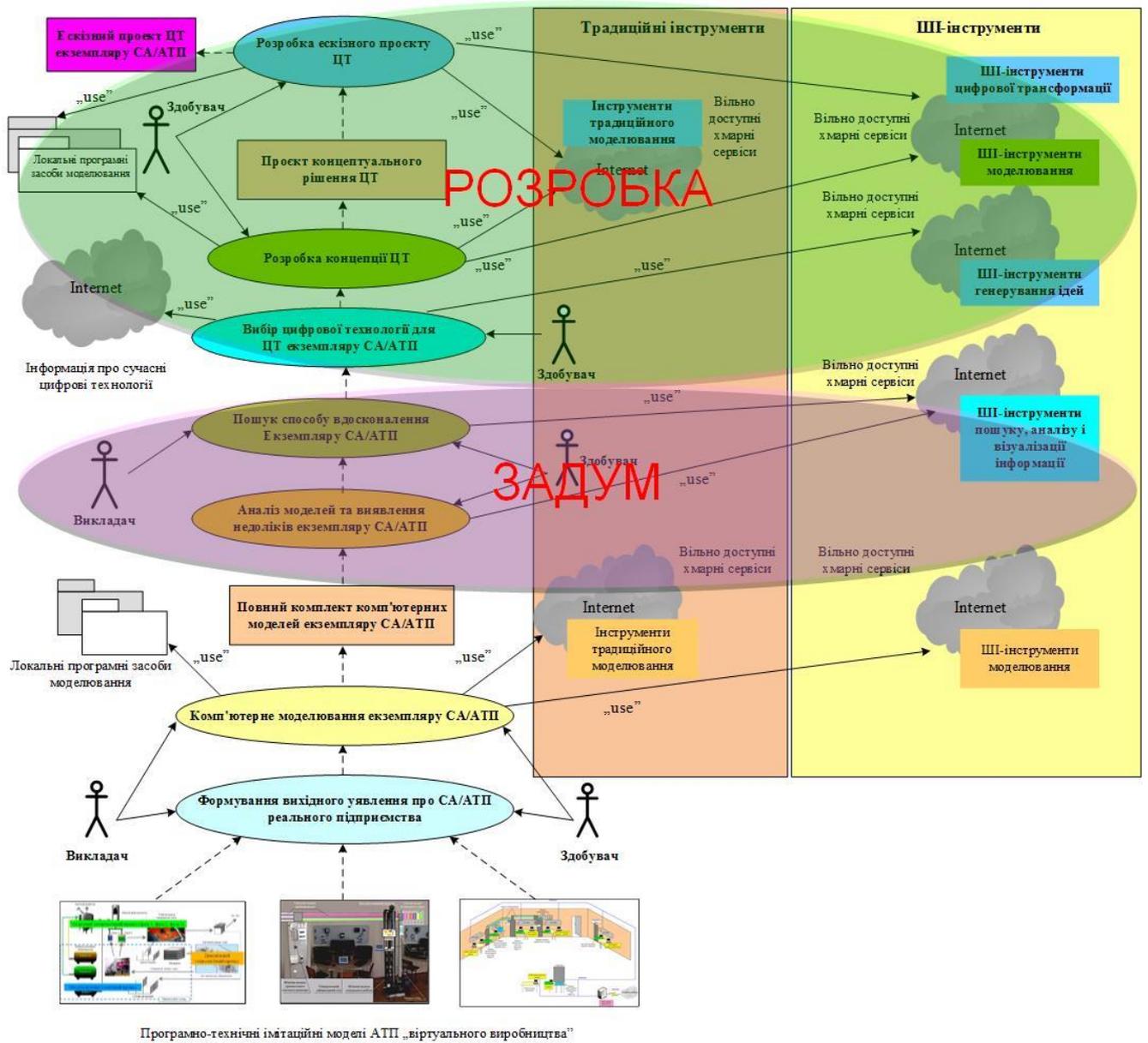


Рисунок Б.1 - Архітектура комп'ютеризованого навчального засобу

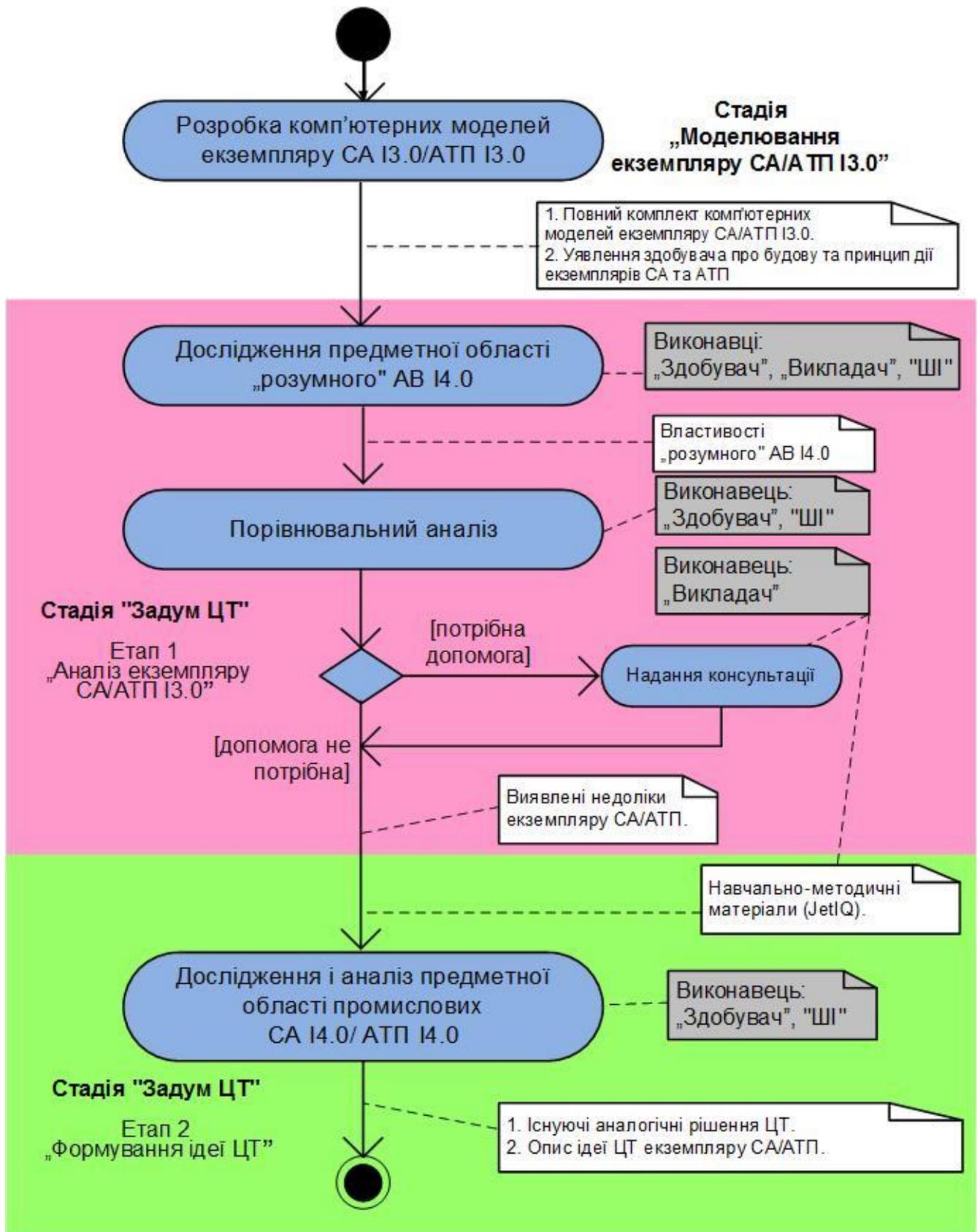


Рисунок Б.2 - Загальне бачення процесу виконання стадії «Задум цифрової трансформації екземпляру СА 13.0»

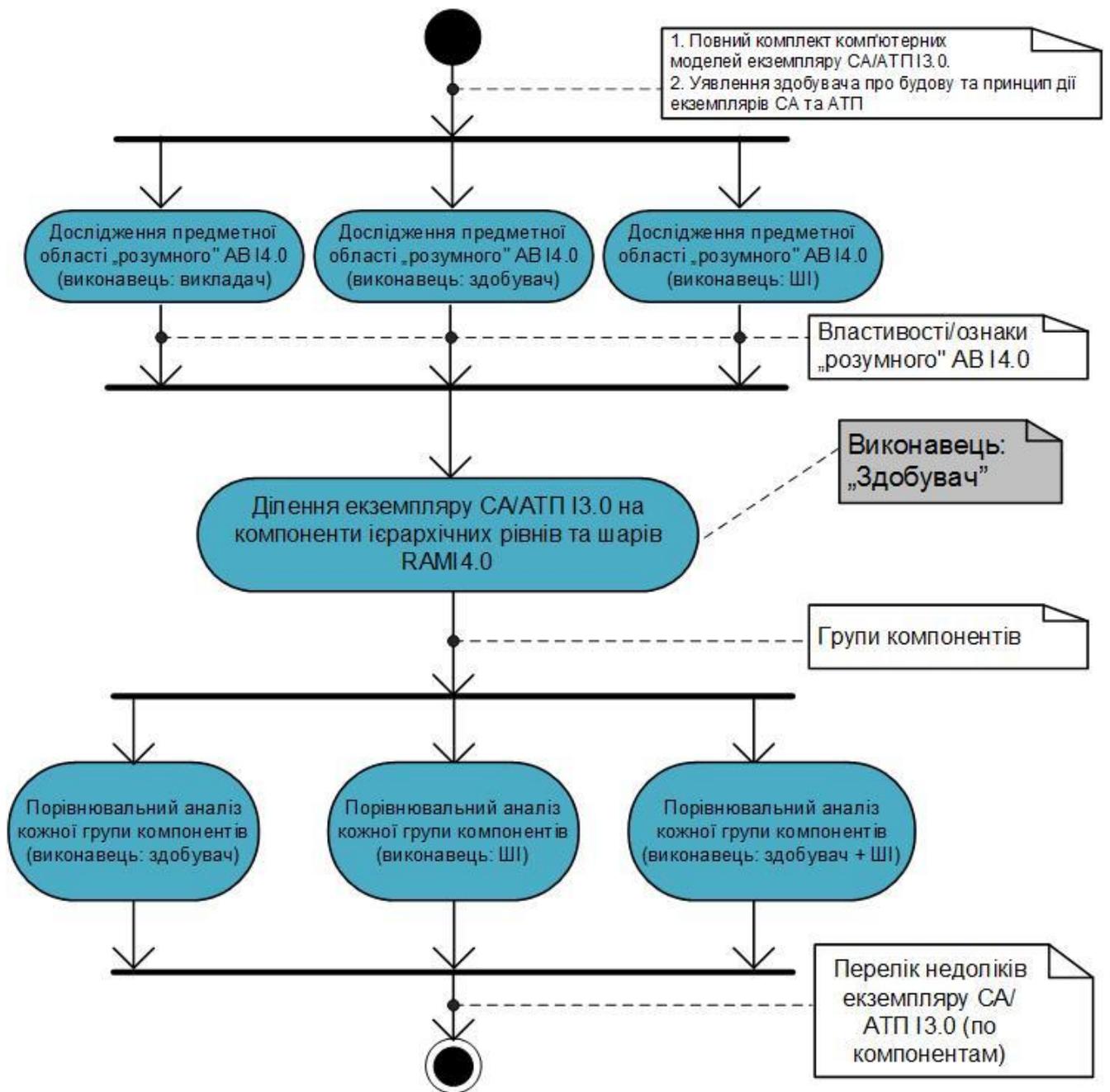


Рисунок Б.3 - Алгоритм виконання етапу «Аналіз екземпляру СА/АТП І3.0»

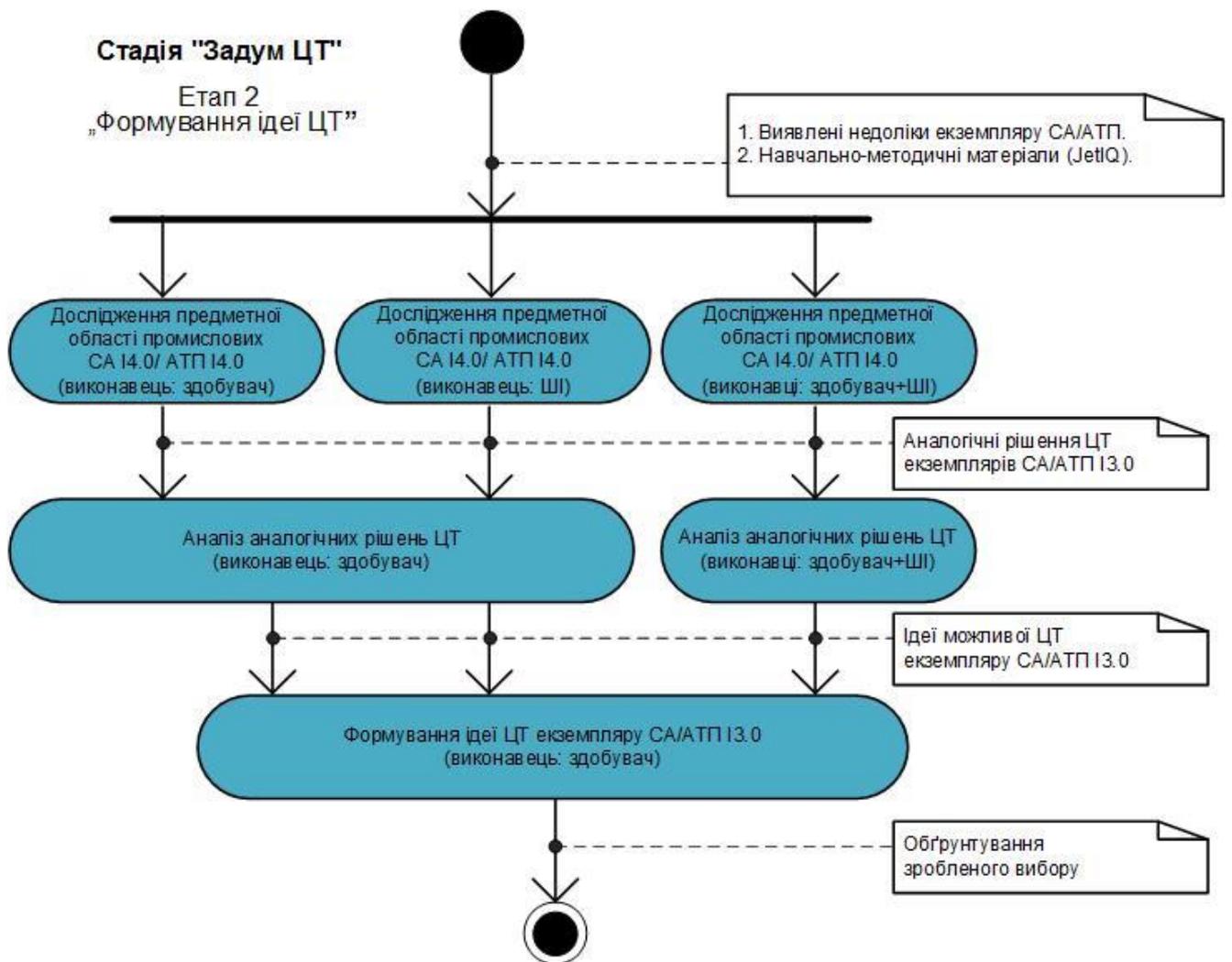


Рисунок Б.4 - Алгоритм виконання здобувачем етапу «Формування ідеї ЦТ»

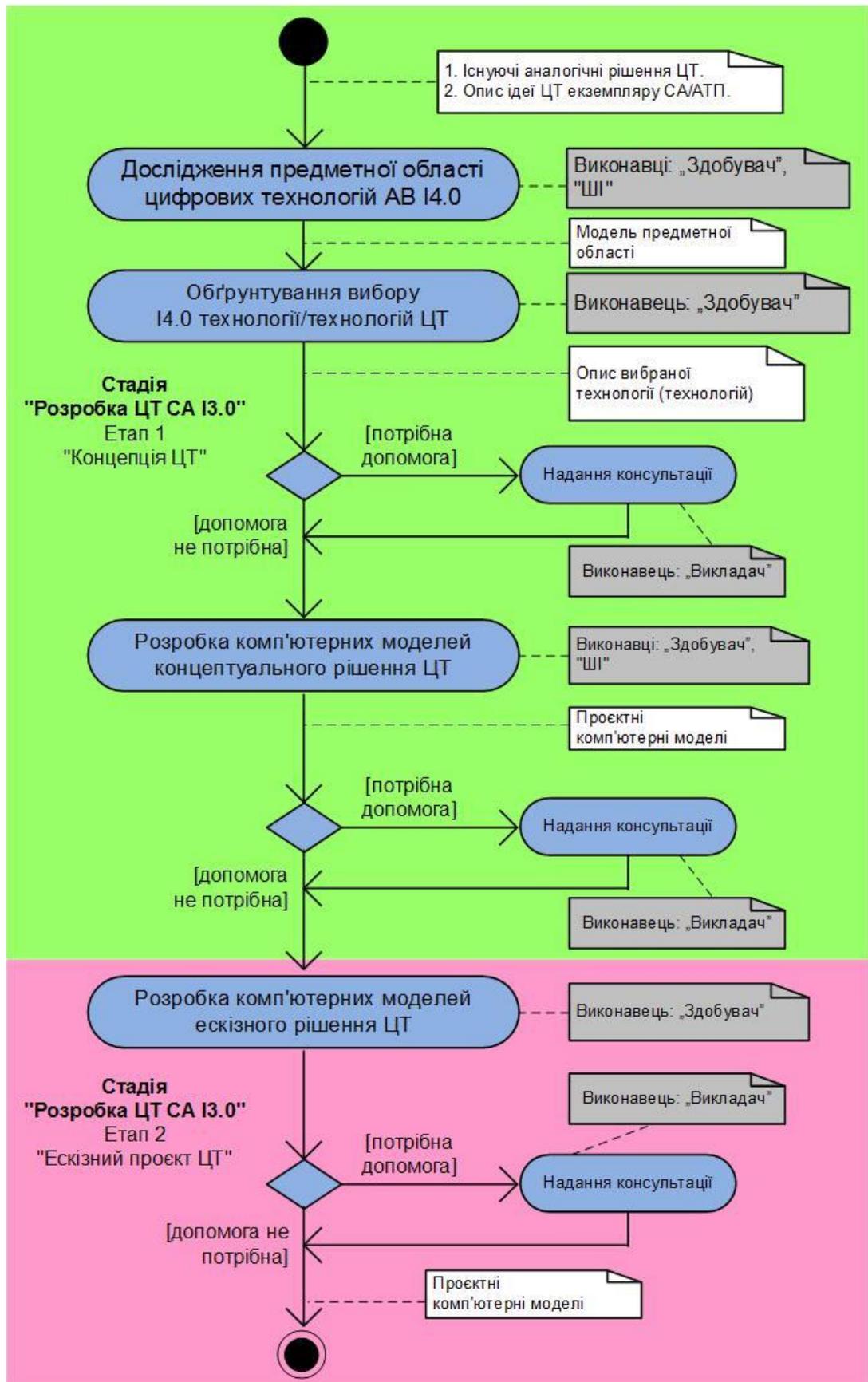


Рисунок Б.5 - Загальне бачення процесу виконання стадії «Розробка цифрової трансформації екземпляру СА І3.0»

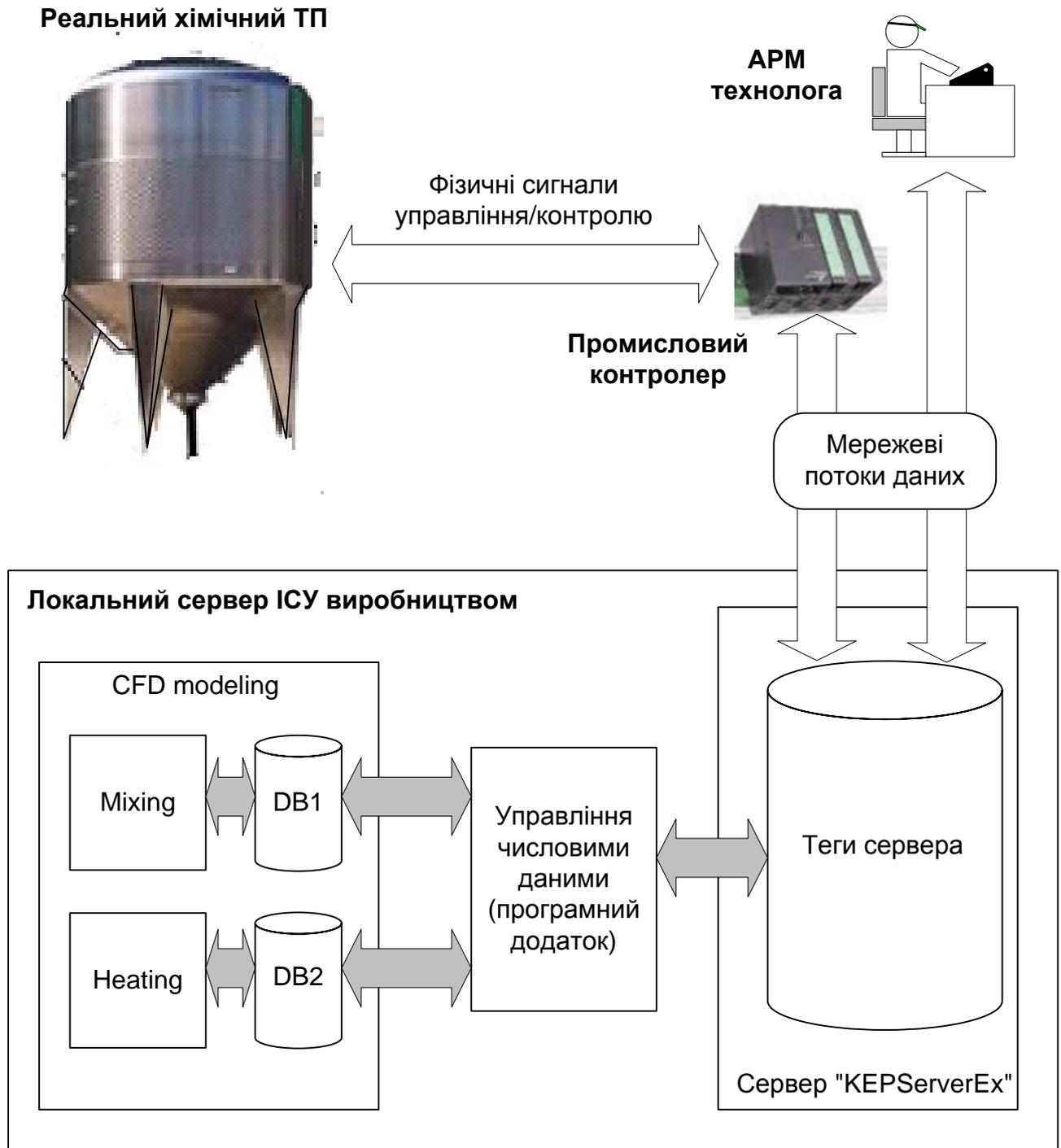


Рисунок Б.6 - Концептуальний проект цифрової трансформації екземпляру СА

Додаток В
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: «Комп'ютеризований навчальний засіб з елементами штучного інтелекту для практичного вивчення цифрової трансформації екземпляру промислової системи автоматизації»

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

Підрозділ кафедра АІТ
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism (КПІ) 7,99 %

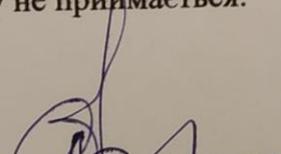
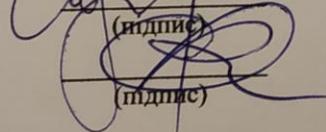
Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

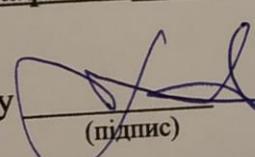
- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту.
- У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють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

Експертна комісія:

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

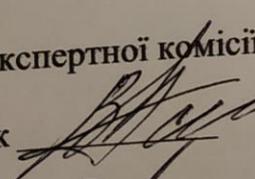
Овчинников К.В., доц. каф. АІТ
(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)

(підпис)

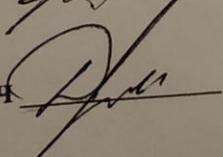
Особа, відповідальна за перевірку 
(підпис)

Маслій Р.В.
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник 

Папінов В.М., проф. каф. АІТ

Здобувач 

Денисюк О.В.