

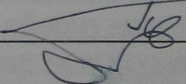
Вінницький національний технічний університет  
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації  
Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій

## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

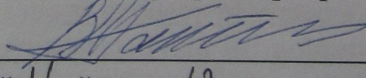
на тему:

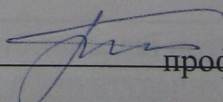
Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення  
цифрової трансформації процесу пакування готової продукції»

Виконав: студент 2 курсу, групи 1АКІТ-21м,  
спеціальності 151 – «Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології»

 Проценко М.І.

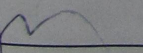
Керівник: к.т.н., проф., кафедри АІТ

 Папінов В.М.  
«16» 12 2022 р.

Опонент:  проф. каф. КСУ Биков М.М.

«16» 12 2022 р.

Дано до захисту  
зав. кафедрою АІТ

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

Вінниця ВНТУ - 2022 рік

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АІТ

д.т.н., професор

О.В. Бісікало

"17" 09 2022 р.

## ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

Проценко Михайла Ігоровича

Тема роботи Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення

цифрової трансформації процесу пакування готової продукції

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

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

Затверджені наказом ВНТУ № 203 від 14.09.2022 р.

Термін подання студентом роботи 12 грудня 2022 р.

Необхідні дані до роботи Комп'ютеризований навчальний засіб (КНЗ) призначений  
для забезпечення практикумів професійних дисциплін "Кіберфізичні системи авто-  
матизації виробництва" (4 курс бакалаврської підготовки) та "Промисловий Інтерне-  
т" (1 курс магістерської підготовки); КНЗ повинен створювати умови для індивіду-  
альної когнітивної діяльності студента при рішенні реальних проєктних задач, сприят-  
ливо до глибокому вивченню студентом теоретичного матеріалу вказаних навчальних ди-  
сциплін, а також давати можливість сформувати у студента відповідні професійно-  
орієнтовані практичні уміння та навички проєктування цифрової трансформації реаль-  
них технологічних процесів; КНЗ повинен будуватися на основі трьох існуючих лабор-  
аторних моделей: фізичній моделі технологічного процесу пакування, організаційній мо-  
делі «віртуального виробництва» та програмно-технічній імітаційній моделі інтегров-  
аної автоматизованої системи управління (ІАСУ) «віртуальним виробництвом» в ціло-  
му, зокрема його технологічними процесами.

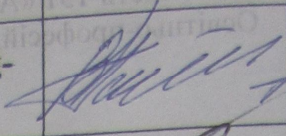

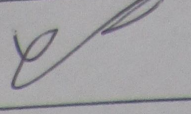
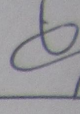
Міст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно дослідити)

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

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

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

## 6. Консультанти розділів роботи

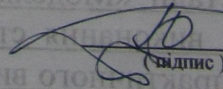
| Розділ             | Прізвище, ініціали та посада консультанта       | Підпис, дата  |   |
|--------------------|---|---|---|
|                    |   | завдання видав  | за пр   |
| Спеціальна частина | Папінов В.М., професор кафедри АІТ              |  |  |
| Економічний розділ | Козловський В.О., к.е.н., професор кафедри ЕПВМ |  |  |

7. Дата видачі завдання 17.09.220

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

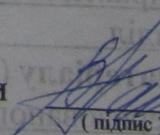
| Назва етапів дослідження   | Строк виконання етапів       |
|--|------------------------------|
| 1. Науково-технічне та техніко-економічне обґрунтування роботи.                            | 26.09.22 р.                  |
| 2. Розробка технічного завдання на науково-дослідну роботу                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

Студент

  
(підпис)

Проценко М.І.  
(прізвище та ініціал)

Керівник роботи

  
(підпис)

Папінов В.М.  
(прізвище та ініціал)

## АНОТАЦІЯ

УДК 378.162+681.51

Проценко М.І.. Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення цифрової трансформації процесу пакування готової продукції. Вінниця: ВНТУ, 2022. \_\_\_\_ с.

На укр. мові. Бібліогр.: 60 назв; рис.: \_\_\_\_; табл. \_\_\_\_.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблено комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення цифрової трансформації процесу пакування готової продукції. Комп'ютеризований навчальний засіб призначений для забезпечення практикумів професійних дисциплін "Кіберфізичні системи автоматизації виробництва" (4 курс бакалаврської підготовки) та "Промисловий Інтернет речей" (1 курс магістерської підготовки). На відміну від існуючих комп'ютеризованих навчальних засобів, новий засіб будуватиметься на основі інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне виробництво», що дозволило за рахунок використання додаткових локальних або «хмарних» інструментальних засобів моделювання підвищити ефективність практичної підготовки студентів шляхом виконання ескізного проєкту цифрової трансформації існуючого автоматизованого процесу пакування.

Графічна частина складається з 6 плакатів із результатами проєктування.

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

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

## ABSTRACT

Protsanko M.I. Computerized educational means for practical studying a digital transformation of finished goods packing process. Vinnitsa: BHTY, 2022. \_\_\_ p

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

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

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

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

## ВІДГУК

керівника магістерської кваліфікаційної роботи

студента (-ки) Проценко Михайла Ігоровича.

на тему Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення цифрової трансформації процесу пакування готової продукції.

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

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

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

Результати роботи апробовані шляхом публікації основних її результатів в матеріалах щорічної НТК викладачів та студентів ВНТУ (Вінниця, ВНТУ, 2022 р.).

Сам магістрант Проценко М.І. на протязі навчання та роботи над магістерською кваліфікаційною роботою зарекомендував себе як сумлінний студент, кваліфікований спеціаліст та інтелігентна людина, яка користується повагою серед студентів та викладачів.

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

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

Папінов В.М.

## ВІДГУК ОПОНЕНТА на магістерську кваліфікаційну роботу

студента (-ки) Проценко Михайла Ігоровича  
на тему Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення цифрової трансформації процесу пакування готової продукції.

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

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

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

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

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

Основні положення магістерської кваліфікаційної роботи опубліковані в матеріалах щорічної НТК викладачів та студентів ВНТУ (Вінниця, ВНТУ, 2022р.).

До недоліків магістерської кваліфікаційної роботи слід віднести:

- в роботі занадто багато місця відведено для огляду реалізації лабораторного «віртуального виробництва»;
- великий обсяг магістерської роботи присвячений опису особливостей «розумного виробництва» четвертої промислової революції;



– в якості концепції поглибленої цифрової трансформації допоміжного виробництва пропонується застосування 3D-принтерів, але, по-суті, не наведені описи проектних рішень.

Проте, відзначені недоліки не перешкоджають загальній позитивній оцінці роботи.

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

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

Биков М.М.

# ЗМІСТ

|  |  |
|--|--|
| <b>ВСТУП</b> .....   |  |
| <b>1 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ТА НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ<br/>ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ</b> .....                       |  |
| 1.1 Цифрова трансформація виробничого підприємства .....   |  |
| 1.2 Аналіз існуючого ТП «віртуального виробництва» .....   |  |
| 1.3 Цифрова трансформація аналогічних технологічних процесів .....                                   |  |
| 1.4 Розробка архітектури нового КНЗ .....  |  |
| 1.5 Висновки до розділу .....  |  |
| <b>2 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ<br/>«МОДЕЛЮВАННЯ ІСНУЮЧОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ТП»</b> ..... |  |
| 2.1 Розробка алгоритму виконання стадії .....  |  |
| 2.2 Розробка моделей існуючого АТП актором «Викладач» .....  |  |
| 2.3 Розробка моделей існуючого АТП актором «Студент» .....   |  |
| 2.4 Висновки до розділу .....  |  |
| <b>3 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ<br/>«АНАЛІЗ РЕАЛЬНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ТП»</b> .....      |  |
| 3.1 Загальне бачення .....   |  |
| 3.2 Розробка алгоритму виконання аналізу .....   |  |
| 3.3 Приклад виконання аналізу .....  |  |
| 3.4 Висновки до розділу .....  |  |
| <b>4 ЗАКЛЮЧНА СТАДІЯ ПРАКТИЧНОГО ВИВЧЕННЯ<br/>ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ РЕАЛЬНОГО АТП</b> .....         |  |
| 4.1 Означення основних діяльностей .....   |  |
| 4.2 Дослідження предметної області І4.0 промислової автоматизації ..                                 |  |
| 4.3 Ескізний проєкт початкової стадії цифрової трансформації АТП ..                                  |  |
| 4.4 Концепція поглибленої цифрової трансформації АТП .....   |  |
| 4.5 Висновки до розділу .....  |  |
| <b>5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ</b> .....  |  |
| 5.1 Технологічний аудит розробленого комп'ютеризованого  |  |

|  |  |
|--|--|
| навчального засобу.....  |  |
| <b>5.2 Розрахунок витрат на розробку комп'ютеризованого</b>            |  |
| <b>навчального засобу.....</b>   |  |
| <b>5.3 Розрахунок економічного ефекту від можливої комерціалізації</b> |  |
| <b>нашої розробки .....</b>  |  |
| <b>ВИСНОВКИ .....</b>  |  |
| <b>СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....</b>                                   |  |
| <b>ДОДАТКИ .....</b>   |  |
| <b>ДОДАТОК А (обов'язковий) Технічне завдання на</b>                   |  |
| <b>науково-дослідну роботу .....</b>                                   |  |
| <b>ДОДАТОК Б (обов'язковий) Графічна частина магістерської</b>         |  |
| <b>кваліфікаційної роботи .....</b>                                    |  |
| <b>ДОДАТОК В (довідковий) Протокол перевірки навчальної</b>            |  |
| <b>(кваліфікаційної) роботи .....</b>                                  |  |

## ВСТУП

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

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

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

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

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

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

Задачі досліджень магістерської кваліфікаційної роботи:

1. Детальне вивчення існуючої реалізації інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне підприємство».

2. Дослідження методів та засобів цифрової трансформації сучасного підприємства у перспективне «розумне» цифрове підприємство.

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

4. Розробка технічного завдання на науково-дослідну роботу.

5. Проектування програмної частини навчального засобу.

6. Розробка навчально-методичного забезпечення навчального засобу.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження полягатиме в тім, що на відміну від існуючих комп'ютеризованих навчальних засобів, новий засіб будуватиметься на основі інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне підприємство», що дозволить за рахунок використання додаткових локальних або «хмарних» віртуальних інструментальних середовищ підвищити ефективність практичної підготовки студентів шляхом виконання ескізного проекту цифрової трансформації існуючого технологічного процесу пакування готової продукції (роботизація і цифрове моделювання [8, 9], комп'ютерний зір, штучний інтелект для аналітичного прогнозування стану окремих вузлів технологічного обладнання [10]).

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

Апробація результатів дослідження: основні результати виконання магістерської кваліфікаційної роботи опубліковані в матеріалах щорічної НТК викладачів та студентів ВНТУ (Вінниця, ВНТУ, 2022 р.) [11].

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

# 1 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ТА НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ

## 1.1 Цифрова трансформація виробничого підприємства

З моменту своєї появи декількома роками раніше Інтернет речей (IoT - Internet of Things) зробив воістину приголомшливий вплив на промисловий і виробничий світ [6-10, 12]. Візьмемо італійську дійсність: там 92% всіх підприємств - середні або малі, що представляють різноманітні сценарії розвитку, серед яких можна знайти безліч прикладів передового досвіду й цифрових інновацій. Звичайно сучасні шляхи розвитку приводять до ринкового успіху, як на національному, так і на міжнародному рівні. Інтернет речей став не тільки важливим інструментом для вивчення й моніторингу прогресу виробничих процесів з метою оптимізації продуктивності й витрат, але також і фундаментальним фактором, здатним допомогти компаніям поліпшити якість своїх процесів і кінцевих продуктів (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Роботизована виробнича лінія

Все це стало можливим завдяки обробці додаткової інформації, одержуваної від спеціальних інтегрованих датчиків, що проливають світло на

неочевидні аспекти діяльності й виступаючих як важливі джерела інформація, що має вирішальне значення для оптимізації виробництва. Одержувані від цього вигоди благотворно відбиваються не тільки на самих виробничих компаніях, але й на їхніх кінцевих споживачах (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Харчове виробництво

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



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

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

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

- 1). Тепловізійні камери дозволяють контролювати й вимірювати температуру продуктів на різних етапах обробки, формуючи термографічні зображення високого вирішення й з високою частотою відновлення або ідентифікуючи гарячі й холодні точки навіть у об'єктів, що рухаються. Їх можна

використовувати, наприклад, у скляній промисловості, де вони можуть бути корисні для виявлення можливих аномалій у виробництві пляшок, банок, пробірок, стекел. Точно так само вони можуть застосовуватися у виробництві металів (наприклад, в автомобілебудуванні), у гумовій промисловості (вулканізація), при виробництві пластмасових виробів шляхом термічного формування (при виготовленні панелей або інших предметів навіть зі складною геометрією) і так далі;

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

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

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



Рисунок 1.3 – Наладка промислового обладнання

Інформація, зібрана цими спеціалізованими датчиками, додається до інформації від машини на виробничій лінії і являє собою базу даних надзвичайної цінності для компаній. Ця інформація дозволяє не тільки досконально зрозуміти й поліпшити якість виробничих процесів, але й знизити кількість дефектів, краще використовувати сировину й необхідні ресурси, скоротити кількість браку й відходів, а також сприяє тому, щоб діяльність компанії стала більш екологічно безпечною.

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

Перший рівень складності пов'язаний з тим, що багато виробничих машин постачені датчиками з єдиною метою локальної автоматизації виробничого процесу й не призначені для розширення за рахунок додаткових датчиків, наприклад, з метою підвищення якості роботи всього конвеєра. Це спричиняє

необхідність виявлення залежно від ситуації кращого рішення не тільки стосовно конкретної цілі (локальна оптимізація якості), але також у зв'язку з обмеженнями фізичних і технологічних характеристик інших задіяних на виробничій лінії машин.

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

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

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

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

Фактично за допомогою цих датчиків можна проводити морфологічні дослідження продуктів: вибірково перевірку окремих кінцевих продуктів (наприклад, випічки), перевірку начинки або підрахунок кількості продуктів у відповідних упаковках (наприклад, на етапі пакування печива або випічки в

контейнерах з кілька окремими відсіками), контроль порціонування їжі, перевірку вакуумного пакування, контроль остаточного пакування (наприклад, у декількох коробках, рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Виробництво продуктів харчування вимагає особливо ретельного контролю

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

тепловізора з лінійним скануванням у переході між двома цими фазами дозволяє одержати тепловізійне зображення листа, яке можна використовувати для точного настроювання виробничих параметрів (нагрівання й формування), що впливають на поліпшення якості кінцевого продукту. Дані, зібрані за допомогою додаткових датчиків, можуть бути використані для створення цифрових моделей обладнання в реальному часі. Імітаційна модель, у свою чергу, дозволяє випробувати варіанти процесів до того, як вони будуть розгорнуті у виробничих системах.

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

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

Який же шлях цифровізацію виробництва?

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

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

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

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

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

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

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

- забезпечення можливості поступової еволюції рішень, а також їхньої сумісності з новими вимогами або більш пізніми технологічними розробками, такими як 5G. Позитивні результати повинні бути досягнуті у шляху цифрової трансформації, що стає усе більше схожим на еволюційну модель (рисунок 1.5) [13].

## **1.2 Аналіз існуючого ТП «віртуального виробництва»**

На факультеті ПТА (ФПТА) Вінницького національного технічного



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

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

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

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

Крім того, на окремій спеціалізованій стійці №1 встановлені ПЛК "VIPA 313-6CF13" (з опцією "Profibus DP master") та центральна панель оператора "VIPA TP 607LC", а на столі біля стійки встановлена електромеханічна імітаційна модель



роботизованої пакувальної лінії. На іншій спеціалізованій стійці №2 змонтований локальний ПЛК "VIPА 314-2BG03" (з опцією "Profibus DP slave") та локальна панель оператора "VIPА TP 607LC", а на столі біля стійки встановлені дві електромеханічні моделі автоматизованих виробничих ліній – лінії з трьома робочими станціями та конвеєром, а також лінії з двома робочими станціями та транспортним роботом.

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

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

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

На рисунку 1.6 показана загальна схема даного виробничого процесу, який складається з основного і допоміжного технологічних процесів, а також обслуговуючого технічного процесу промислового складу:

– основний технологічний процес, що має три фази (фаза 1 – модель хімічного реактора, фаза 2 – модель накопичувача/дозатора, фаза 3 – модель роботизованої пакувальної лінії);

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

– обслуговуючий технічний процес (модель промислового складу для

умовного збереження усіх уявних матеріальних ресурсів, напівфабрикатів та продукції «віртуального виробництва»).

На цьому «віртуальному виробництві» імітується виготовлення різних видів рідкої хімічної продукції обмеженими за обсягом партіями у запланований період часу. Таким чином, дане «віртуальне виробництво» організовано у вигляді періодичного виробничого процесу, тобто batching-процесу. Основними ознаками такого виробничого процесу є такі [14-16]:

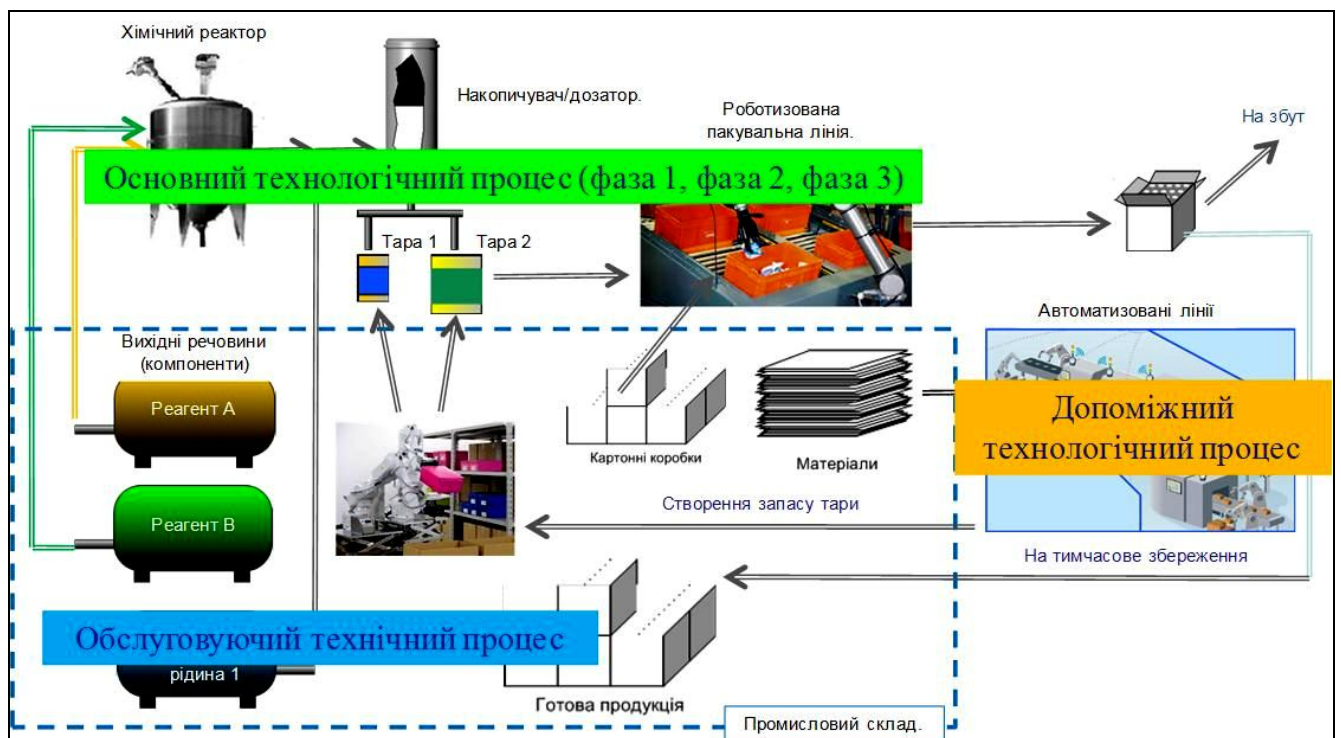


Рисунок 1.6 – Складові процеси «віртуального виробництва» хімічної продукції

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

– кожна партія/порція виробляється за окремим регламентом, що визначається рецептом (ресіре);

– на різних стадіях приготування партії/порції процес потребує багато різних діяльностей, а саме, синхронізації, підрахунку, послідовнісного управління, блокування, обробки матеріалу, регулювання;

– маршрут матеріальних потоків може змінюватися від однієї партії/порції

до іншої, а інколи і в межах тієї ж самої партії/порції;

- вхідні сировина й матеріали не зберігають свою індивідуальність, їх можна відстежити тільки по партії/порції;

- одне і те ж універсальне обладнання використовується для різних видів продукції, тому необхідне постійне планування його завантаження.

- для виготовлення однієї й тієї ж партії/порції може використовуватися різне технологічне устаткування/обладнання, що потребує обов'язкового планування використання цього типу ресурсу;

- є найбільш гнучким з усіх існуючих типів виробничого процесу, тому потребує більш складних алгоритмів управління ним.

За темою даної магістерської кваліфікаційної роботи нас найбільше цікавить електромеханічна імітаційна модель роботизованої пакувальної лінії, яка на «віртуальному виробництві» виконує виробниче завдання щодо виготовлення заданої партії готової продукції, а саме, пакування готової хімічної продукції у вигляді хімічної рідини різного виду, що розфасована у тару різного типу. Зовнішній вигляд моделі (вид зверху) показаний на рисунку 1.7.

Лабораторна модель складається з чотирьох основних частин:

- модель головного конвеєра;
- модель конвеєра для готової продукції типу 1;
- модель конвеєра для готової продукції типу 2;
- модель підйомно-транспортного робота.

Модель головного конвеєра зібрана на металевому каркасі 1 і містить такі конструктивні елементи: ролики конвеєра 8 і 10, конвеєрну стрічку 9 та приводний електродвигун 7 з редуктором. Конвеєрна стрічка рухається зліва направо за рахунок обертання правого ролика 10, що насаджений на вихідний вал редуктора електродвигуна 7. Моделі готової продукції 3 кладуться на конвеєрну стрічку 9 вручну (на ліву частину стрічки моделі конвеєра).

На моделі головного конвеєра встановлені два оптоелектричних датчика 2 і 4, які сигналізують про переміщення повз них моделей готової продукції, що рухаються конвеєром. Оптоелектричний датчик 2 встановлений в позиції А і дає

змогу виконувати попереднє сканування моделі готової продукції для визначення її розмірів. Це потрібно для подальшого сортування готової продукції за допомогою підйомно-транспортного робота, а також для організації зупинки моделі готової продукції в позиції В під робочим органом робота.

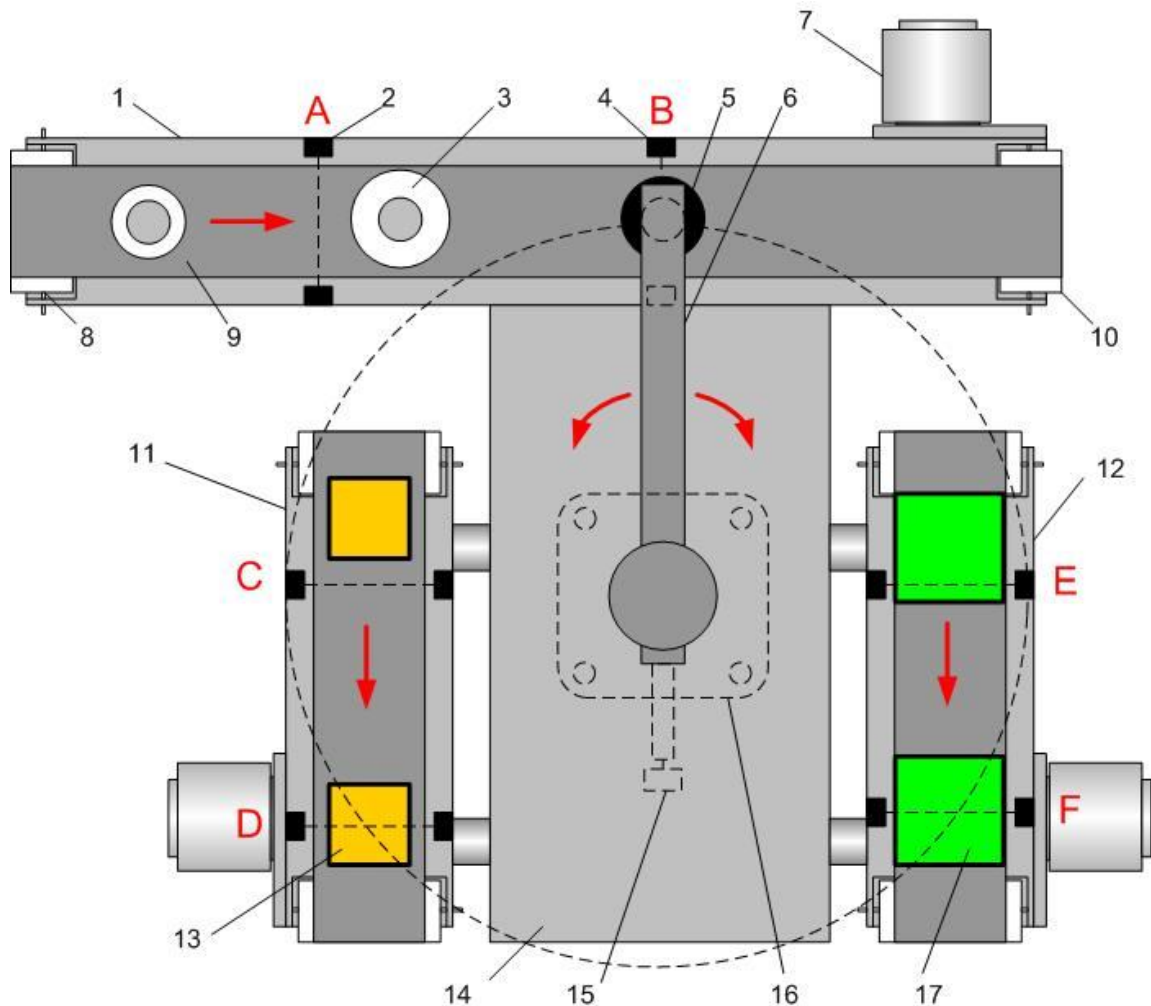


Рисунок 1.7 – Загальний вигляд лабораторної моделі пакувальної лінії

За аналогічним принципом побудовані моделі конвеєрів для готової продукції типів 1 та 2. Так, конвеєр для готової продукції типу 1 зібраний на металевому каркасі 11 і містить ті ж самі конструктивні елементи, що і модель головного конвеєра. Проте, на відміну від головного конвеєра, на стрічці цього конвеєра закріплені моделі картонних коробок 13 для готової продукції типу 1. Положення цих моделей контролюється також двома оптоелектричними датчиками, які встановлені, відповідно, в позиціях С та D. В першій позиції

визначається наявність чергової порожньої моделі картонної коробки, що рухається конвеєром, та обчислюється швидкість руху конвеєра. В другій позиції організується точна зупинка цієї моделі картонної коробки для подальшого пакування до неї моделі готової продукції типу 1, що виконується моделлю підйомно-транспортного робота.

Аналогічно побудована і модель конвеєра для готової продукції типу 2. На її металевому каркасі 12 змонтовані ті ж самі конструктивні елементи, а на стрічці закріплені моделі картонних коробок 17 для готової продукції типу 2. Два оптоелектричних датчика встановлені, відповідно, в позиціях E і F.

В процесі роботи цих двох конвеєрів, коли моделі готової продукції типів 1 та 2 будуть завантажені у відповідні моделі картонних коробок, конвеєрні стрічки перемістять ці моделі картонних коробок у крайні нижні положення, а потім перевернуть їх догори ногами, що призведе до самостійного вивантаження моделей готової продукції з моделей картонних коробок. Звільнені моделі картонних коробок конвеєрною стрічкою знову подаються на завантаження підйомно-транспортним роботом.

Модель підйомно-транспортного робота зібрана на металевому каркасі 14 і містить горизонтальну штангу 6 з робочим органом 5, яка повертається вліво чи вправо кроковим електродвигуном 16, що закріплений з нижнього боку каркасу 14. В якості робочого органу робота використовується електромагніт, який при вмиканні притягує моделі готової продукції за рахунок металевих кружечків, закріплених на їх верхніх кришках. Для контролю вихідного стану робочого органу робота в моделі застосований датчик положення 15. Від цього вихідного стану штанга робота може повертатися вліво чи вправо, виконуючи задану кількість кроків, для завантаження моделі готової продукції у відповідну модель картонної коробки.

На рисунку 1.8 показані фізичні моделі готової продукції та відповідні їм моделі картонних коробок. Пропонується використовувати моделі двох типів готової продукції – 1 та 2, які мають форму циліндрів і відрізняються діаметром. Висота обох моделей однакова. Бокові поверхні циліндрів напівпрозорі, через них видно тенісний шарик того чи іншого кольору (імітує банку тари, в яку дозується

рідина на попередній фазі основного технологічного процесу), а на верхній кришці циліндрів знаходиться металевий кружечок (імітує кришку тари, в яку дозується рідина на попередній фазі основного технологічного процесу).

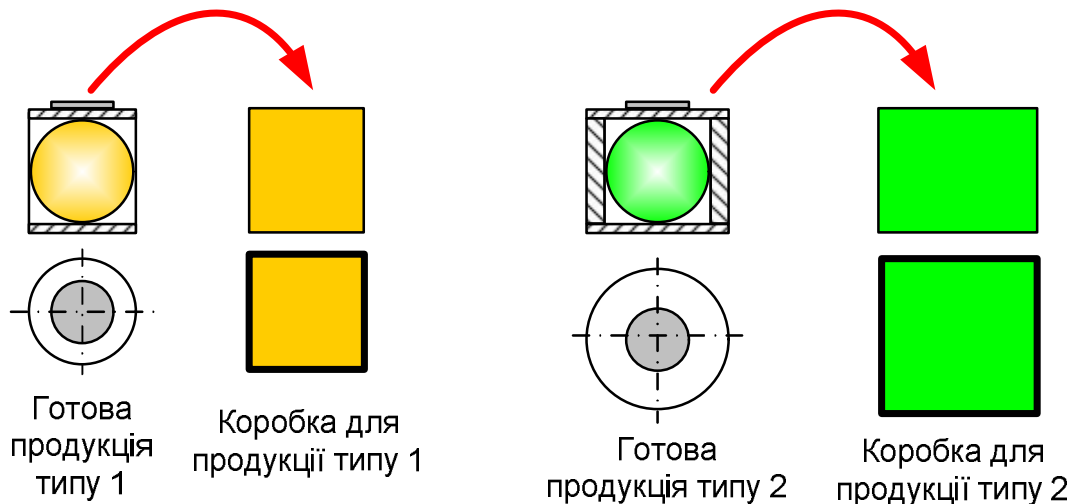


Рисунок 1.8 - Фізичні моделі готової продукції і картонних коробок для неї

Моделі картонних коробок для моделей готової продукції являють собою звичайні прямокутні коробочки з непрозорими стінками і відсутньою верхньою кришкою. Розмір моделі картонної коробки підібраний до розміру відповідної моделі готової продукції.

На рисунку 1.9 показана схема електричних з'єднань технічних засобів автоматизації спеціалізованої стійки №1 лабораторії при реалізації АСУ ТП роботизованої пакувальної лінії.

На цій стійці над лабораторним столом монтується процесорний модуль ПЛК "VIPА 313-6CF13" з опцією Profibus-DP Master. На лабораторному столі встановлений ПК стійки №1 та лабораторна модель роботизованої пакувальної лінії, яка використовує привод крокового двигуна типу "M542" виробництва "Leadshine" (Китай) та виконавчий кроковий двигун типу "23HS8430" виробництва "Motion King" (Китай), який приводить до дії модель підйомно-транспортного робота.

Управління лабораторною моделлю здійснюється програмою ПЛК "VIPА

313-6CF13", для якого організовано програмно-апаратне введення дискретних сигналів з лабораторної моделі через з'єднувач XS1, а також виведення дискретних сигналів управління на привод крокового двигуна M542 та на інші елементи лабораторної моделі через з'єднувач XS2.

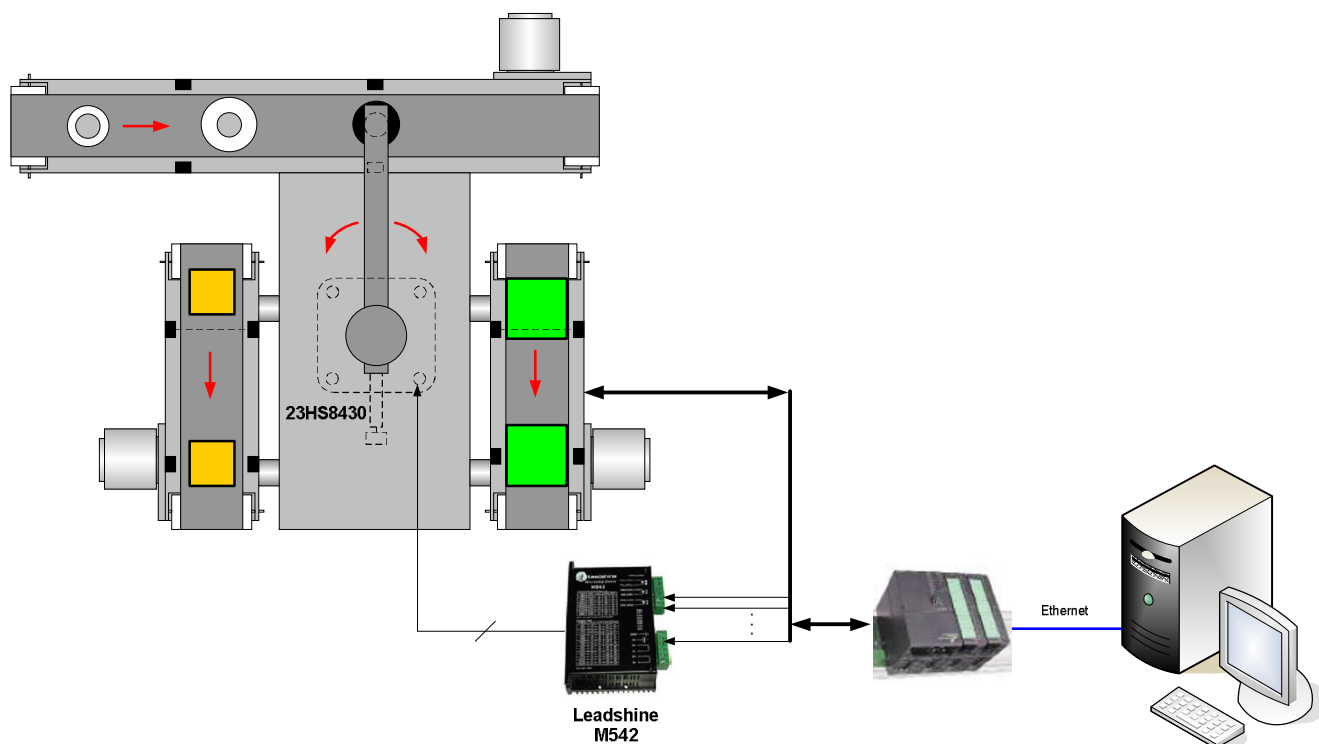


Рисунок 1.9 – Схема АСУ ТП роботизованої пакувальної лінії

З'єднання входів/ виходів ПЛК "VIPА 313-6CF13" зі схемою лабораторної моделі здійснюється двома кабелями типу DB-25 через дві пари електричних з'єднувачів. Через одну пару з'єднувачів, один з яких встановлений на стійці №1 (XS1), а другий – в корпусі лабораторної моделі, можна вводити 16 дискретних сигналів (16 x DI). Через іншу пару з'єднувачів, один із яких встановлений на стійці №1 (XS2), а другий – в корпусі лабораторної моделі, можна виводити 16 дискретних сигналів (16 x DO) для управління роботою лабораторної моделі роботизованої пакувальної лінії.

ПК за рахунок встановленої SCADA "Trace Mode 6" використовується як АРМ чергового оператора, що контролює роботу роботизованої пакувальної лінії.

У 2021 році конструктивне рішення всього «віртуального виробництва»,

було змінено шляхом додавання різноманітних імітаційних моделей матеріальних потоків у вигляді трубопроводів та конвеєрів, які «зв'язують» фізичні та імітаційні моделі технологічного обладнання.

На рисунку 1.10 наведена схема матеріальних потоків «віртуального виробництва», які здійснюються конвеєрами (світлові імітаційні моделі).

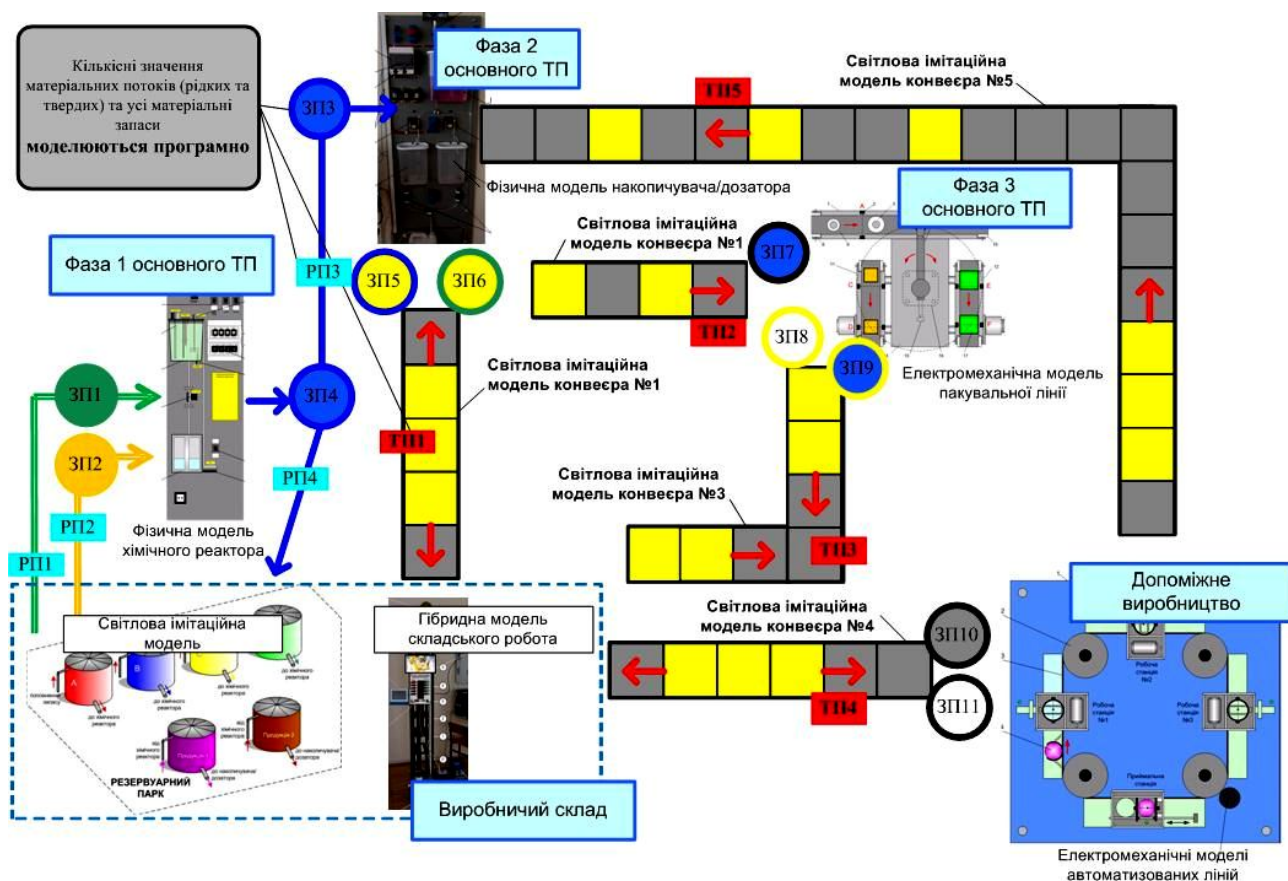


Рисунок 1.10 – Моделювання конвеєрів на «віртуальному виробництві»

Як видно з рисунку, п'ять конвеєрів реального працюючого підприємства замінені в його лабораторній імітації світловими імітаційними моделями, які утворюються ланцюгами світлових елементів. Вмикання такого світлового елемента у моделі конвеєра буде імітувати розміщення якогось твердого матеріального ресурсу на стрічці конвеєра. Якщо ці світлові елементи будуть загорятися та гаснути один за одним, то це утворить наочну імітацію переміщення даного матеріального ресурсу по конвеєру. При цьому можна буде імітувати різні види матеріального ресурсу, що переміщуються конвеєром. Наприклад, якщо



буде вмикатися та поступово "переміщатися" тільки один світловий елемент, то це буде імітувати поштучне переміщення таких матеріальних ресурсів як пусті та наповнені банки. Якщо ж одночасно вмикати та "переміщати" два світлових елементи, то це може імітувати переміщення конвеєром таких матеріальних ресурсів як пусті та заповнені коробки. Якщо ж одночасно вмикати та "переміщати" три світлових елементи, то це може імітувати переміщення конвеєром палет різних матеріальних ресурсів – пустої тари, наповнених банок, пустих та заповнених коробок, матеріалів та заготовок..

На схемі також відмічено, що усі значення матеріальних потоків за локальних матеріальних запасів «віртуального виробництва» моделюються програмним шляхом.

На рисунку 1.11 показаний план приміщення лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка», на якому також означений спосіб з'єднання окремих конструкцій конвеєрів в єдине ціле.

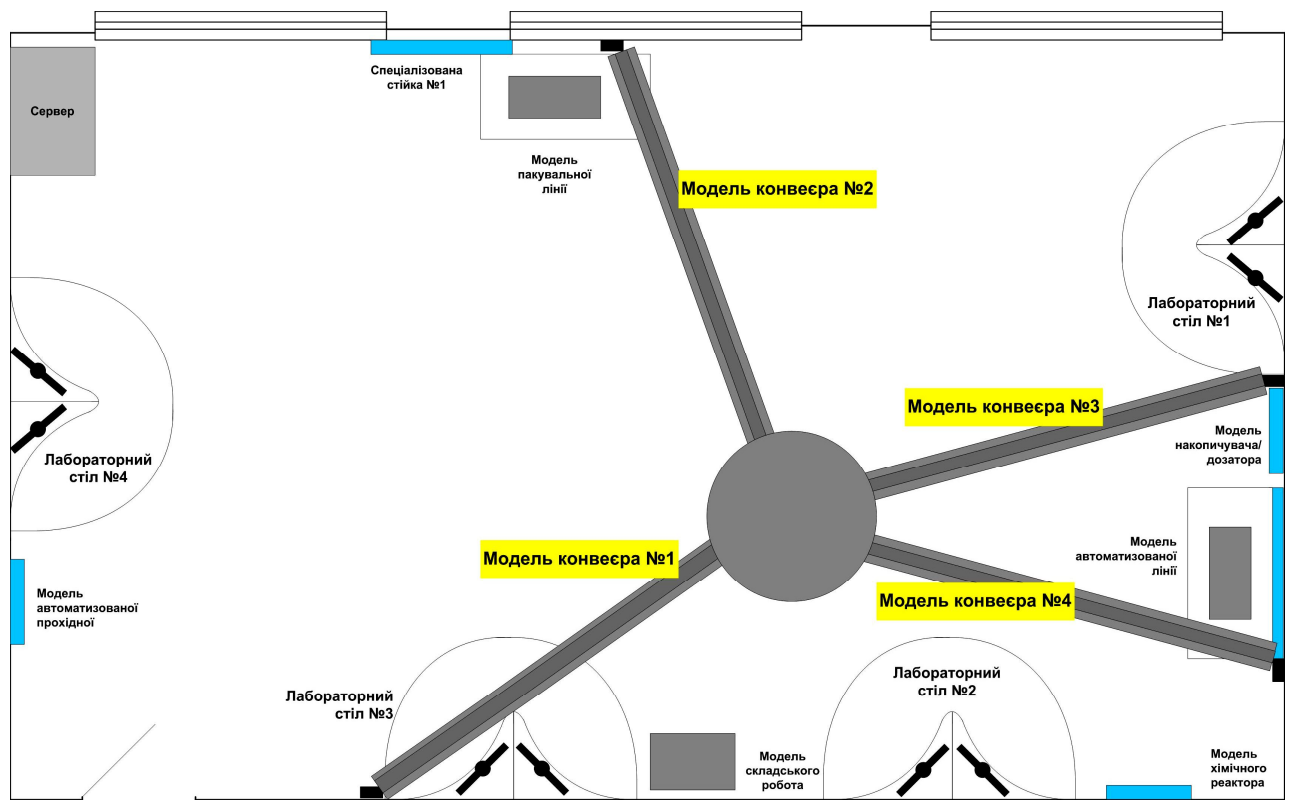


Рисунок 1.11 – Проект розміщення моделей конвеєрів в приміщенні лабораторії

### 1.3 Цифрова трансформація аналогічних технологічних процесів

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

Так, одним з головних факторів, що впливає на якість продукту є точність виконання окремих технологічних операцій в ході пакування. Як було описано вище, готова продукція у вигляді металевих банок того чи іншого типу, в які розфасована та чи інша хімічна рідина, поступають на вхід роботизованої пакувальної лінії за допомогою промислового конвеєра. Система управління повинна ідентифікувати кожну одиницю продукції та надати команду конвеєру зупинитися в потрібний момент часу, а також пакувальному роботу зняти одиницю продукції з вхідного конвеєра і покласти у картонну коробку заданого типу. Коробки двох типів подаються до зони пакування двома окремими конвеєрами. Положення цих коробок на конвеєрах повинно бути чітко орієнтованим, щоб пакувальний робот не помилився при пакуванні. Також вимагається своєчасна зупинка цих конвеєрів для того, щоб пусті коробки могли зайняти потрібну позицію в зоні пакування. Тобто мова йде про конвеєрні виробничі лінії.

У цьому зв'язку, відома світова компанія промислової автоматизації IECI пропонує низку цікавих рішень цифрової трансформації аналогічних технологічних процесів [17]. Ця компанія, що спеціалізується на розробці платформ для штучного інтелекту, машинного зору, Інтернету речей (Io), пропонує безліч рішень у аналогічних областях.

Її концепція розумного виробництва підвищує ефективність і точність керування складом, а з метою підвищення ефективності ліній автоматичного складання вони будуть оснащуватися не тільки роботами, але й рішеннями для машинного зору й керування рухом.

Для заводських автоматизованих терміналів керування ІЕІ пропонує промислові обчислювальні рішення з надійною конструкцією і ступенем захисту IP65, широким діапазоном робочих температур і можливістю розширення додатковими картами. Для підвищення ефективності керування складом ІЕІ пропонує RFID-Рішення UHF (Ultra High Frequency) і 1D/2D з можливістю зчитування штрих-кодів у різних форм-факторах.

Завдяки застосуванню цих засобів гнучкість виробничих процесів збільшується, що дозволять домагатися економічності виробництва навіть невеликих партій товарів. Цю гнучкість забезпечують роботи, розумні машини й розумні продукти, які спілкуються один з одним і забезпечують автономні рішення.

Наступна хвиля виробництва, Індустрія 4.0, вплине на весь ланцюжок створення вартості: від проектування до обслуговування після продажу, автоматизація буде оптимізована за допомогою інтегрованих ІТ-систем, роботів, інтелектуальних машин, контролерів руху й убудованих систем, об'єднаних один з одним у загальну мережу. ІЕІ пропонує не тільки окремі елементи Індустрії 4.0, але й повноцінне комплексне рішення для автоматизованої виробничої системи, у тому числі можливість інтеграції промислових роботів і систем керування рухом.

Так на виробничій лінії вироби транспортуються від одного процесу до іншого на стрічці конвеєра. Відеозображення, отримане інтелектуальною камерою, посилає на контролер керування роботом-маніпулятором iRX6-MTC400 (рисунок 1.12).

Після розрахунку контролер відправить керуючу команду роботіві 7A6 на захвата предмета в його поточному положенні й розміщення його на оптичній машині, що вирівнює. Високопродуктивні роботизовані маніпулятори 7A6 від Motorcon мають високу точність, більше корисне навантаження, інтуїтивно зрозуміле керування, вони безпечні.

Система оптичного вирівнювання складається з убудованого пристрою керування рухом MDH-1000, промислової камери ІЕІ і що вирівнює ХХУ-платформи (рисунок 1.13).



Рисунок 1.12 – Машинний зір на автоматизованому конвеєрі



Рисунок 1.13 – Архітектура системи позиціонування виробу

Після розміщення предмета на оптичному столі, що вирівнює, програмне забезпечення інтелектуального керування MDH-1000 активує промислову камеру, щоб захопити зображення предмета. Потім відбувається пошук символу позиціонування на предметі. Після підтвердження положення й кута MDH-1000 буде управляти платформою руху для завершення вирівнювання й наступного складання. На заключній стадії цього етапу інший промисловий робот 7А6 перенесе виріб на конвеєр наступного процесу.

Контролер руху MDH-1000 являє собою безвентиляторну систему, що вбудовується, об'єднуючий промисловий комп'ютер, плати керування рухом, підключення сервопривода й уведення/виводу з декількома функціями керування рухом і уведення/виводу. У числі переваг MDH-1000 можна назвати невеликі габарити, прості підключення й монтаж (рисунок 1.14).

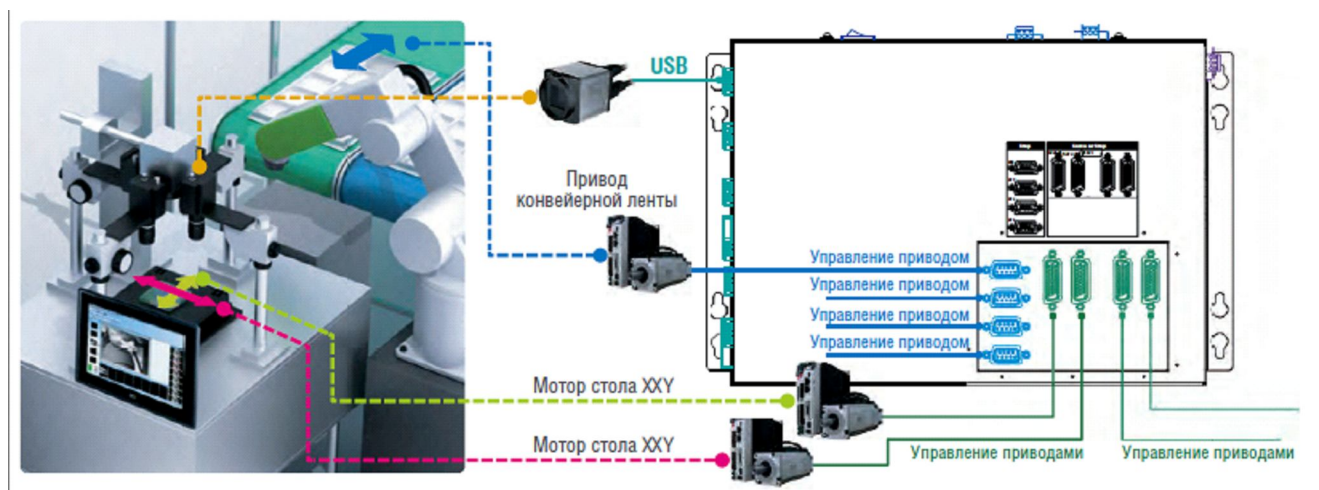


Рисунок 1.14 - Архітектура MDH-1000

Контролер MDH-1000 можна використовувати й для керування автоматизованим виробничим транспортом. На його базі реалізований чотирьох-осьовий сервопривод для керування рухом, сумісний із сервосистемами абсолютного позиціонування різних виробників, у тому числі Panasonic, Delta, Gotrend, Sankyo і т.д. (рисунок 1.15). Контролер має відмінну сумісність із додатками керування рухом.

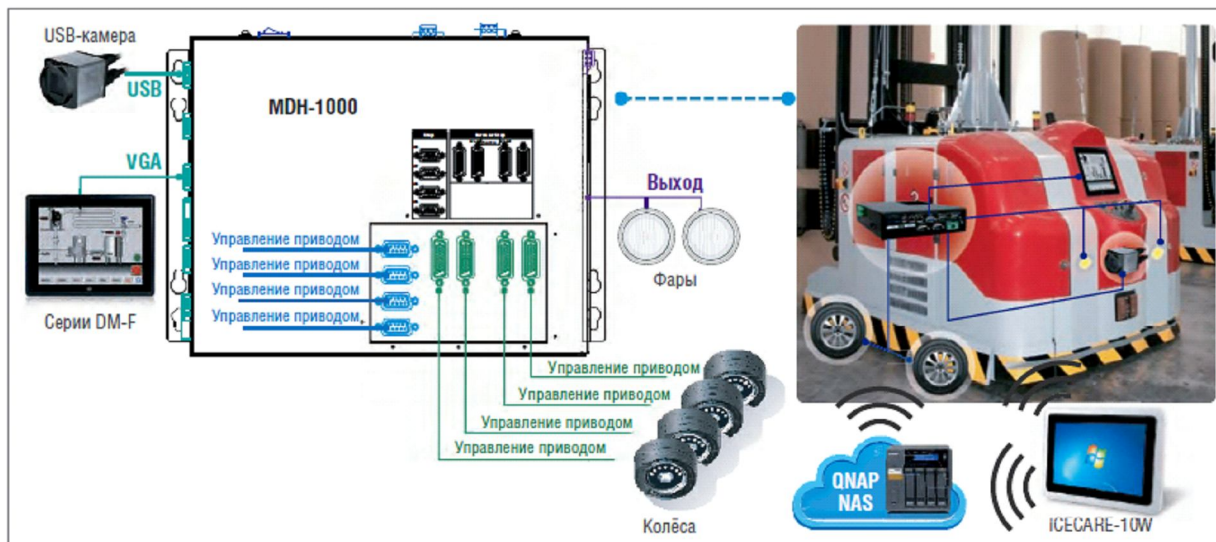


Рисунок 1.15 - Управління автономним транспортом за допомогою MDH-1000

Машинний зір - це результат застосування цілого спектра технологій і методів для забезпечення автоматичного контролю й перевірки на основі зображень, керування роботами й багато чого іншого. Машинний зір є заміною людського візуального контролю в процесі виробництва відеокамерами, програмним забезпеченням і комп'ютерами для виконання завдань розпізнавання зображень і реалізації вимірів, підрахунків, а також зчитування штрих-кодів і оптичних символів - OCR (рисунок 1.16).



Рисунок 1.16 – Промислові системи машинного зору на конвеєрі

ІЕІ проектує й розробляє передові промислові камери, зчитувачі штрих-коду й вбудовуються комп'ютери, що, які можна використовувати для надійної роботи на підвищеній швидкості й з більшою точністю.

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

Так цифрова платформа «KUKA.Sim» дозволяє змоделювати поведінку робота у виробничій зоні й пройти приймальні випробування на безпеку (рисунки 1.17, 1.18). Таким чином, можна значно скоротити час уведення в експлуатацію, оскільки в симуляції можна виконати всі необхідні конфігурації SAFE Operation [18].

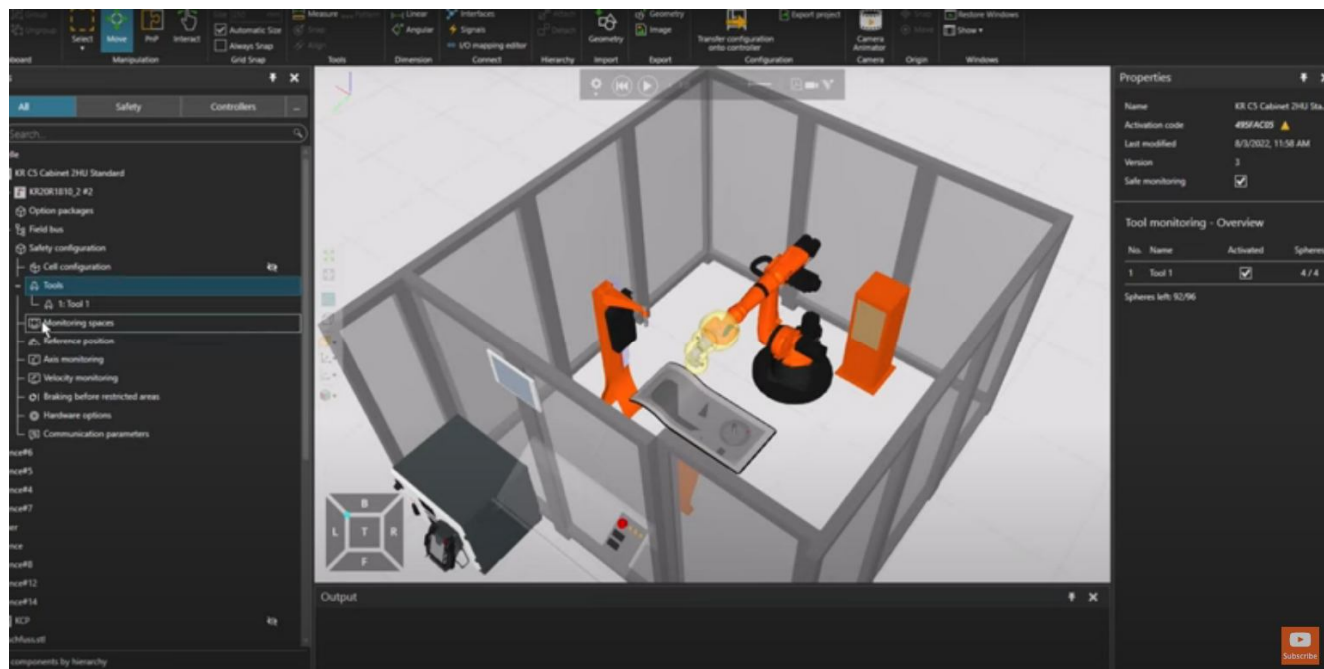


Рисунок 1.17 – Цифрове моделювання роботи промислового робота

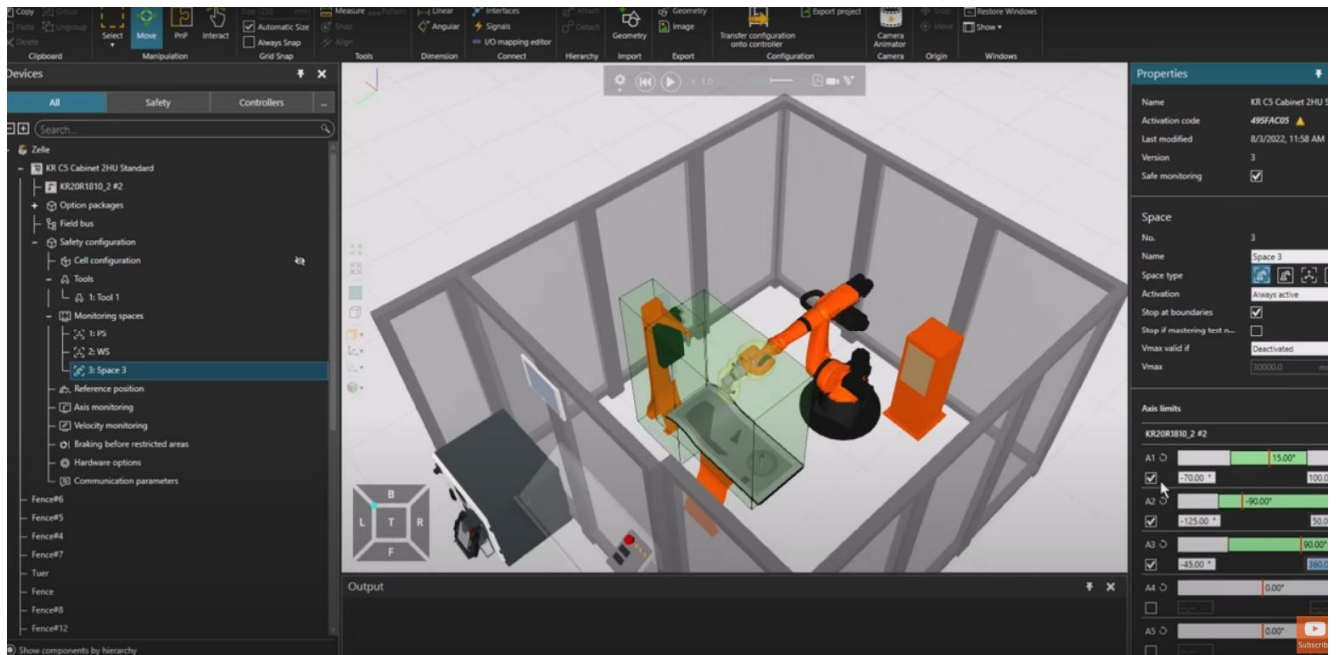


Рисунок 1.18 – Наладка через цифрову модель зони безпеки

В [19] описаний інший потужний інструмент цифрового моделювання виробничого середовища «Plant Simulation» від компанії «Siemens». На наступних рисунках 1.19 – 1.21 показані приклади цифрового моделювання як статички, так і динаміки промислового конвеєра. При цьому допускається додавання до моделі обслуговуючий персонал і моделювати його дії.

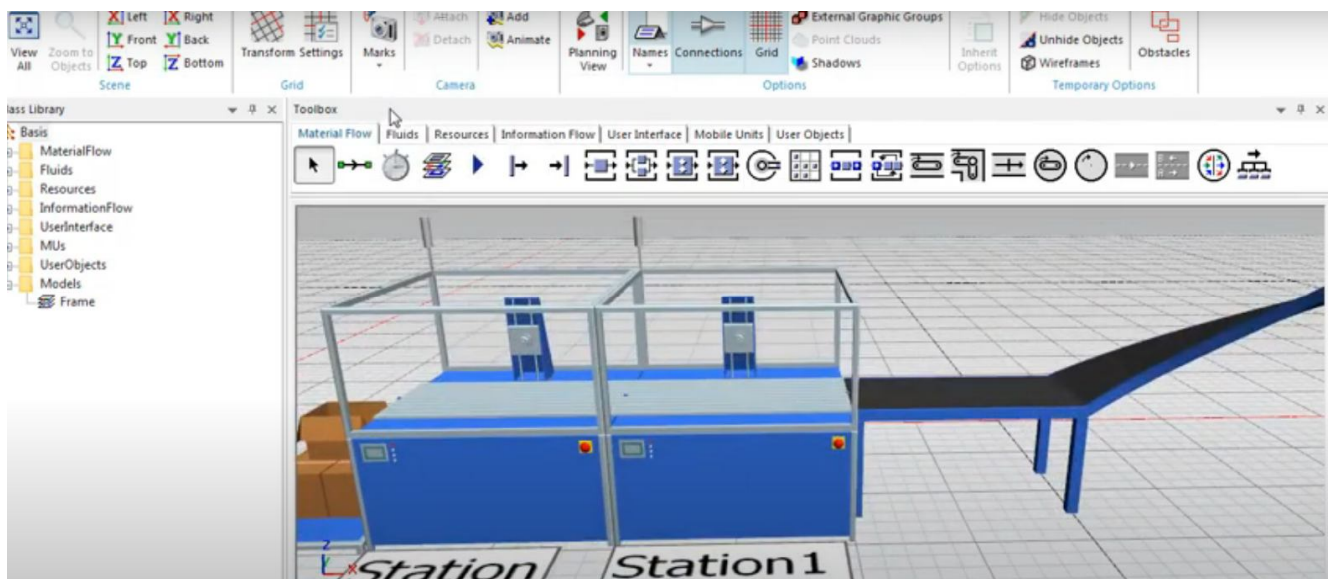


Рисунок 1.19 – Тривимірна модель виробничого конвеєра та робочих станцій



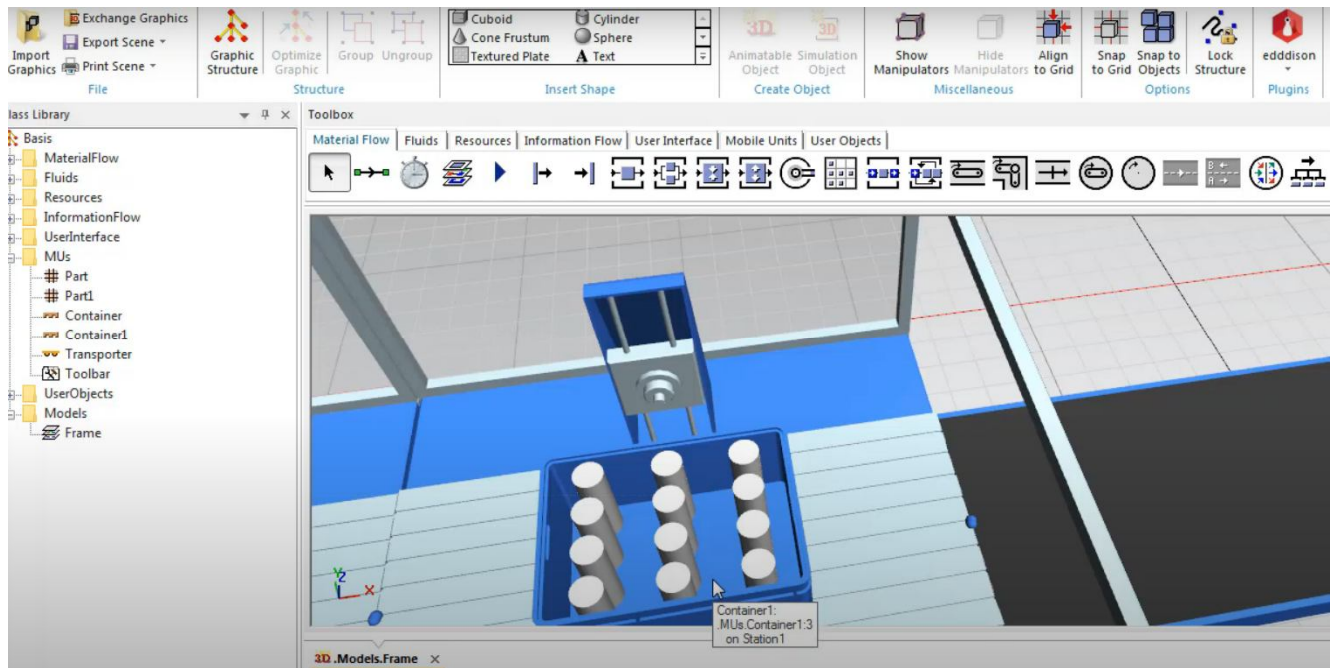


Рисунок 1.20 – Тривимірний модель продукції, що переміщується конвеєром

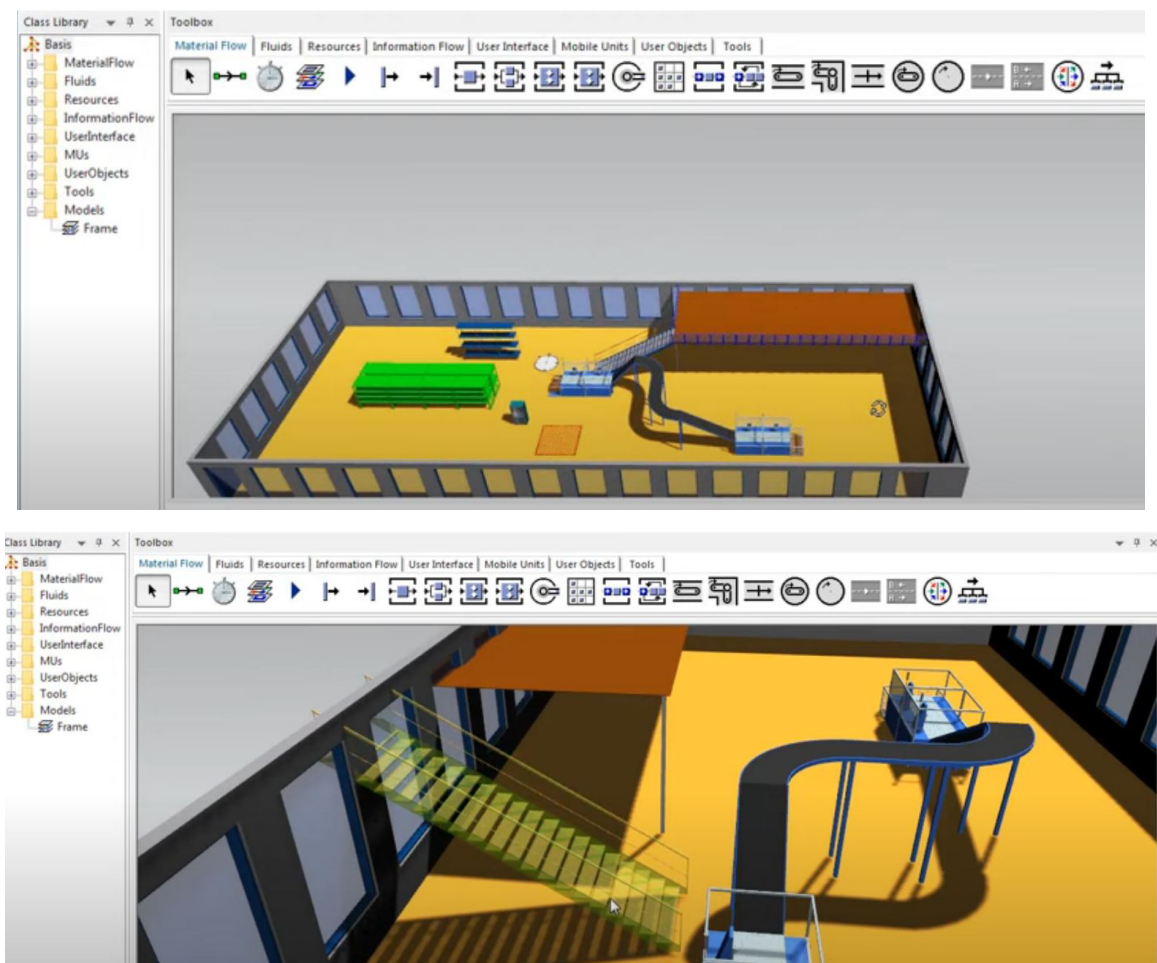


Рисунок 1.21 – Надання моделі більш реалістичного вигляду

## 1.4 Розробка архітектури нового КНЗ

У світовій практиці процес цифрової трансформації у промисловій області давно і активно обговорюється фахівцями та експертами [19-23]. Вже сформоване загальне бачення тих цілей, які ставлять виробники на шляху вдосконалення своїх підприємств (рисунок 1.22) [24].



Рисунок 1.22 – Основні цілі вдосконалення промислових підприємств

Їх три:

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

Тому цифрові рішення, закладені в концепцію трансформації виробництва у «розумне» виробництво Індустрії 4.0, породжують для досягнення означених цілей відповідні очікування (рисунок 1.23):

- оптимізувати внутрішні процеси;
- поліпшити цифровий досвід споживачів;
- створити нові цифрові бізнес-моделі;
- створити нові кадрові та інноваційні організації та культури;

- створити нові бар'єрні мережі та цифрові екосистеми.



Рисунок 1.23 – Основні очікування виробників від цифрової трансформації

Проте, на шляху впровадження нових цифрових рішень у виробництво зараз існує декілька основних завад (рисунок 1.24):



Рисунок 1.24 – Основні причини гальмування цифрової трансформації

- людський фактор (не бачать необхідності в ЦТ, для них це занадто складно, ще не готові до нових змін; стосується і керівників, і звичайних робітників);

- відсутність інноваційної культури в компанії;

- складність розробки бізнес планів щодо нововведень;

- відсутність належної організації у використанні наявних даних виробництва для покращення його функціонування;

- несумісність традиційних показників ефективності виробництва (KPI) з новою ідеологією цифрового виробництва.

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

На рисунку 1.25 показані ті сучасні цифрові технології, які можуть зробити виробництво набагато ефективнішим. На цьому рисунку показаний відсоток передових компаній, які вважають ту чи іншу технологію дуже важливою для своєї цифрової трансформації.

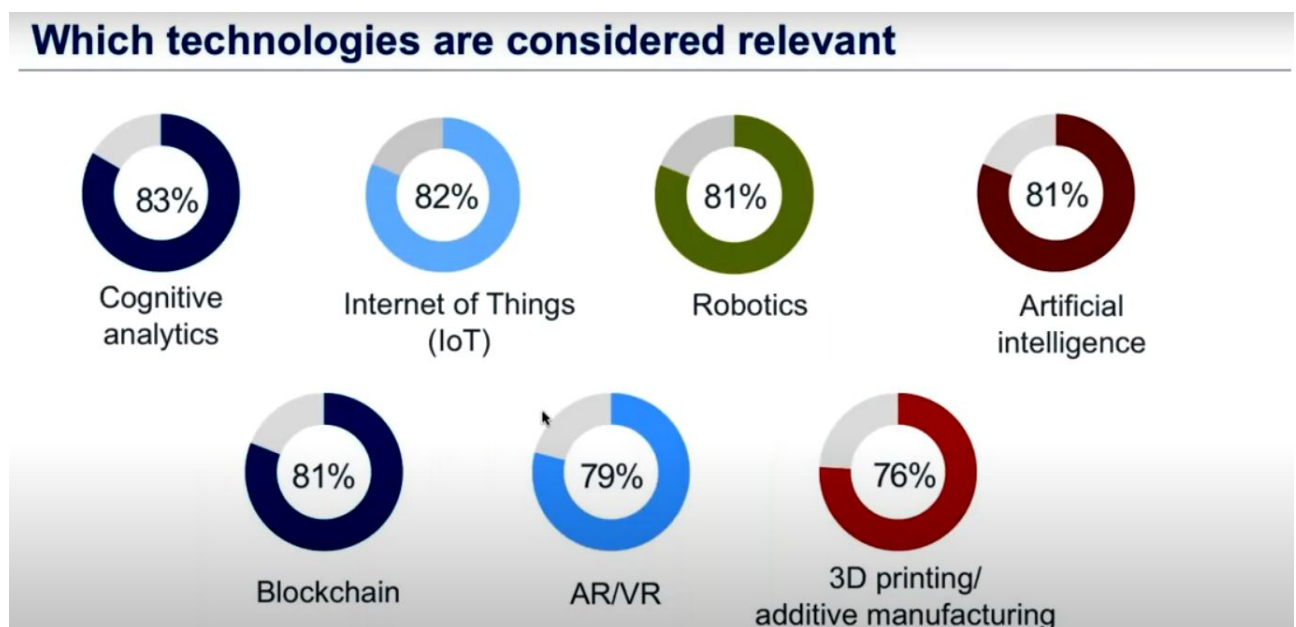


Рисунок 1.25 – Основні цифрові технології для вдосконалення виробництва

Яка ж повинна бути загальна стратегія зазначено цифрової трансформації

виробництва? На рисунку 1.26 показаний рекомендований шлях цифрової трансформації, який означає основні її стадії:

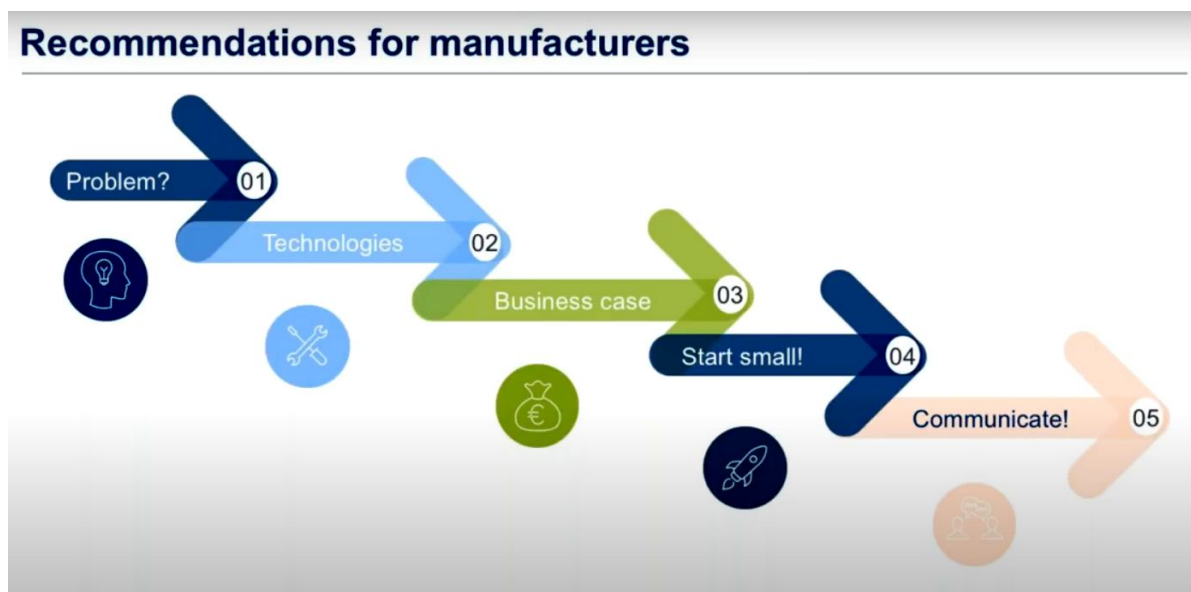
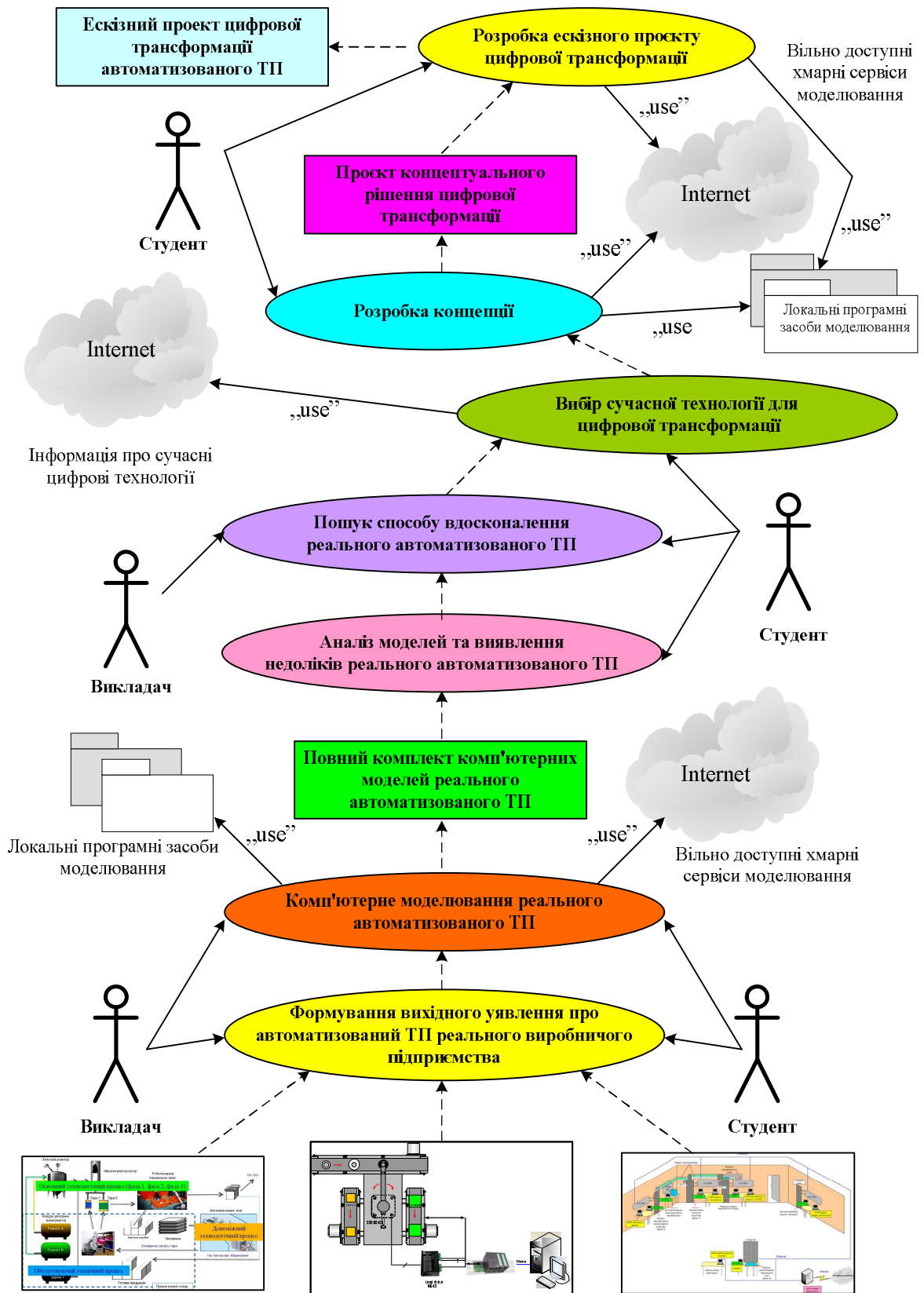


Рисунок 1.26 – Оптимальна стратегія цифрової трансформації виробництва

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

Саме ця стратегія була покладена в основу розробки архітектури нового комп'ютеризованого навчального засобу (КНЗ) для практичного вивчення цифрової трансформації технологічного процесу (ТП) пакування готової продукції (рисунок 1.27) .

Основою архітектурного рішення нового КНЗ є фізична модель ТП



Фізична та програмна реалізація ІАСУ технологічним процесом „віртуального виробництва”

Рисунок 1.27 – Архітектура нового комп'ютеризованого навчального засобу

пакування готової продукції, яка вбудована у імітаційну модель «віртуального виробництва» лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка» ФІІТА, а також програмно-технічна імітаційна модель інтегрованої автоматизованої системи управління (ІАСУ) «віртуальним виробництвом» в цілому та окремими його технологічними процесами.

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

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

Після цього студент переходить до наступної стадії цифрової трансформації, під час якої він аналізує комплект комп'ютерних моделей можливої реалізації АТП на реальному виробничому підприємстві з метою визначення тих чи інших недоліків такої реалізації, які в подальшому можна буде усунути шляхом її цифрової трансформації. З усіх знайдених недоліків студент (або викладач) обґрунтовано вибирає найбільш важливий і переходить до пошуку

способу вдосконалення реального АТП, що призведе до усунення цього недоліку. Такий пошук студент може виконувати за участі викладача, який надаватиме додаткові консультації та роз'яснення.

Після того, як буде намічені шляхи вдосконалення реального АТП, студент переходить до виконання наступної стадії цифрової трансформації – вибір та обґрунтування тієї сучасної технології або технологій в рамках концепції «Індустрія 4.0» для реалізації наміченого вдосконалення реального АТП. При цьому студент обов'язково здійснює пошук на відповідних ресурсах Інтернет найновішої інформації у даній предметній області та її ретельний аналіз.

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

На основі готового проєкту концептуального рішення цифрової трансформації студент може продовжити проєктування на новому КНЗ і перейти до наступної стадії – розробка ескізного проєкту цифрової трансформації реального АТП. Цей етап характеризується більшою деталізацією проєктних рішень і також передбачає активне використання студентом як доступних хмарних сервісів цифрового моделювання (наприклад з технічною анімацією динаміки трансформованого АТП), так і наявних програмних засобів моделювання. Результатом робіт цієї стадії є ескізний проєкт цифрової трансформації реального АТП, який представлений, наприклад, у вигляді відповідної цифрової моделі його можливої реалізації на реальному «розумному» підприємстві. Бажано, щоб функціонування цієї моделі можна було переглядати



або на комп'ютері лабораторії, або через доступні хмарні додатки цифрового моделювання, або через локальні програмні засоби моделювання.

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

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

#### **4.5 Висновки до розділу**

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

## **2 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «МОДЕЛЮВАННЯ ІСНУЮЧОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ТП»**

### **2.1 Розробка алгоритму виконання стадії**

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

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

- додаткове комп'ютерне моделювання статичної та динамічної даного реального АТП.

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

Проте, крім згаданих моделей, в основі архітектури нового КНЗ лежать ще дві інші моделі (див. рисунок 1.27), з дослідження яких і починається весь процес практичного вивчення студентом цифрової трансформації існуючого АТП:

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

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

Таким чином, аналізуючи вищесказане, можна зробити такі висновки:

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

Опишемо тепер загальне бачення процесу виконання на новому КНЗ стадії «Моделювання існуючого АТП» у вигляді її алгоритму, який показує взаємний зв'язок усіх робіт з моделювання, що мають виконувати обидві ролі, та їх сумісне використання отриманих моделей (рисунок 2.1 та додаток Б).

Показані на рисунку роботи (прямокутники) виконуються акторами «Викладач» і «Студент» у двох областях нового КНЗ – у фізичній області лабораторної ІАСУ «віртуальним виробництвом» (навчальна лабораторія «Промислова мікропроцесорна техніка» ФПТА) та у віртуальній області комп'ютерного моделювання (програмне забезпечення або лабораторних комп'ютерів, або домашніх комп'ютерів студентів, або хмарних сервісів моделювання). Результати цих діяльностей показані справа у формі коментарів. У цьому алгоритмі актор «Викладач» є ініціатором початку виконання всієї послідовності робіт даної стадії практичного вивчення цифрової трансформації існуючого АТП.

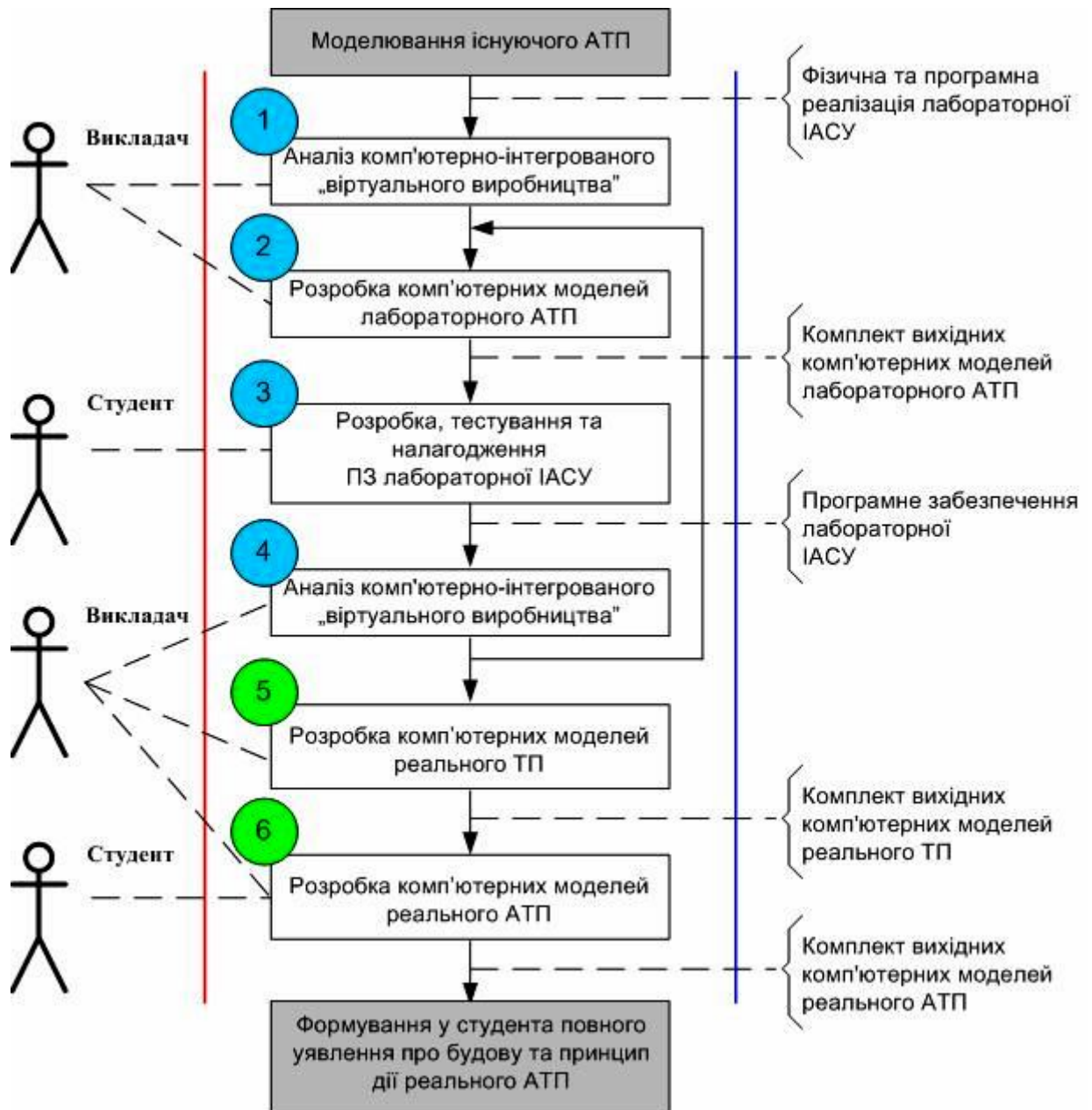


Рисунок 2.1 – Алгоритм виконання стадії «Моделювання існуючого АТП»

На самому початку актор «Викладач» аналізує комп'ютерно-інтегроване «віртуальне виробництво», яке існує в лабораторії у вигляді програмно-технічної імітаційної моделі ІАСУ всім цим виробництвом в цілому та окремою фізичною моделлю технологічного процесу пакування готової продукції, тобто лабораторний АТП. Така модель комп'ютерно-інтегрованого виробництва складається з фізичної та програмної частин. Фізична частина містить фізичну модель ТП та реальні промислові засоби його автоматизації. Програмна частина містить як програмні моделі деяких процесів (наприклад транспортування) та

пристроїв (наприклад окремих насосів для кожного вхідного реагенту), так і прикладні програми управління даним ТП та виробничим процесом в цілому.

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

Актор «Викладач» може аналізувати результати практичної роботи, виконаної актором «Студент», після чого вносити потрібні корективи у вихідний комплект моделей існуючого АТП. Наприклад, за цим сценарієм була вдосконалена електромеханічна модель роботизованого ТП шляхом введення додаткової імітаційної моделі промислового конвеєрного транспорту, що на «віртуальному виробництві» здійснює переміщення пустих коробок зі складу до ТП пакування та переміщення коробок, заповнених готовою продукцією, у зворотному напрямі. Крім того, були розроблені додаткові комп'ютерні моделі цього конвеєрного транспорту, які потім додані у навчально-методичні матеріали.

Загалом, усі описані вище роботи стосуються тільки практичного вивчення студентом існуючої лабораторної ІАСУ, що побудована за концепцією «Індустрія 3.0», тобто поточний стан комп'ютерно-інтегрованого виробництва (на рисунку 2.1 ці роботи позначені номерами 1-4). Однак новий КНЗ призначений для практичного вивчення процесу цифрової трансформації, тобто переходу від ІАСУ, побудованої за концепцією «Індустрія 3.0», до ІАСУ, побудованої за концепцією «Індустрія 4.0». Чому ж на новому КНЗ треба ще вивчати поточний стан ІАСУ? А тому, що ця ІАСУ реалізує той же самий стандартний підхід до управління періодичним «віртуальним виробництвом» [25, 26], що і ІАСУ, що побудована за концепцією «Індустрія 4.0» [27]. Іншими словами, вивчаючи

поточний стан ІАСУ, актор «Студент» освоює і принцип дії ІАСУ «розумного» періодичного виробництва, у яку він буде далі трансформувати існуючий АТП за допомогою нового КНЗ. Крім того, актор «Студент» в ході розробки та тестування прикладного ПЗ з'ясовує для себе його переваги та недоліки, наприклад обмежений функціонал, що далі буде корисним при обґрунтуванні шляхів цифрової трансформації існуючого АТП.

Для того, щоб актор «Студент» зміг почати виконувати роботи, пов'язані вже з цифровою трансформацією існуючого АТП, треба спочатку надати йому вихідні графічні моделі реального ТП, постачені детальними текстовими поясненнями, щоб дати змогу актору «Студент» чітко уявити собі можливу практичну реалізацію лабораторного ТП пакування готової продукції на реальному хімічному виробництві.

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



Рисунок 2.2 – Суть уявної трансформації лабораторного ТП

Такі моделі актор «Викладач» розроблює за допомогою доступних комп'ютерних графічних та текстових редакторів (локальних чи хмарних), використовуючи і їх додаткові функції, наприклад, вбудовані мови програмування

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

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

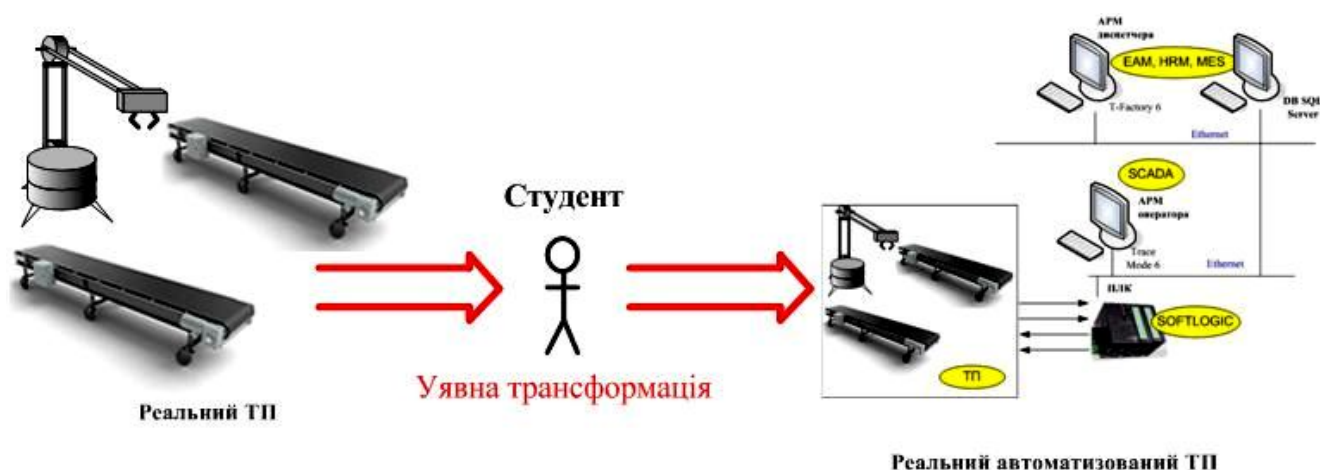


Рисунок 2.3 – Суть уявної трансформації реального ТП в реальний АТП

В якості додаткових моделей статичної та динамічної реального АТП «Студент» може використовувати ті комп'ютерні моделі, які він використовував в ході розробки та тестування ПЗ існуючого лабораторного АТП, наприклад, схему програми промислового контролера (алгоритм її дії однаковий і для лабораторного, і для реального АТП), або схему даних комп'ютера оператора (обробка даних в ПЗ комп'ютера оператора лабораторного АТП така сама, як і в комп'ютері оператора реального АТП). Крім того, для технічної анімації своєї моделі реального АТП «Студент» може використовувати штатні функції промислових програмних систем автоматизації, з якими він мав справу при

розробці лабораторного АТП.

Актор «Викладач» на цьому етапі моделювання реального АТП також може створювати його додаткові моделі, які допомагають «Студенту» краще зрозуміти особливості будови та принципу дії цього АТП. Наприклад, викладач може розробити додаткову 3D-модель реального пакувального робота, щоб студент зміг краще зрозуміти його електромеханічну конструкцію (рухи механізмів, робота електроприводів, спрацювання позиційних датчиків) та ґрунтовніше вибрати технічні засоби автоматизації, що мають монтуватися на ньому.

Після виконання усіх описаних вище діяльностей у актора «Студент» формується повне уявлення про будову та принцип дії існуючого реального АТП пакування готової продукції, що дає йому змогу перейти до наступної стадії практичного вивчення на новому КНЗ процесу трансформації даного АТП.

## **2.2 Розробка моделей існуючого АТП актором «Викладач»**

Моделювання будь-якого реального об'єкту стає зараз дуже ефективним інструментом як донесення навчального матеріалу від викладача до студента, так і самостійного вивчення студентом цього об'єкту [28]. Тому і в новому КНЗ широко застосовується цей інструмент, особливо на стадії «Моделювання існуючого АТП».

Як було зазначено вище, актор «Викладач» при виконанні даної стадії практичного вивчення актором «Студент» цифрової трансформації АТП пакування готової продукції повинен розробляти різні комп'ютерні моделі, які можна згрупувати у такі групи – «Моделі існуючого лабораторного АТП» та «Моделі існуючого реального АТП». У першу групу входять моделі, які надають достатніх вихідних знань для актора «Студент» щоб він зміг здійснювати діяльність «Розробка, тестування та налагодження ПЗ лабораторної ІАСУ» в рамках практичного курсу однієї чи кількох професійних дисциплін. Усі такі моделі включаються у відповідні навчально-методичні матеріали, які доступні для



актора «Студент» через навігатори навчальних дисциплін системи JetIQ [29, 30]. По-перше, ці моделі повинні пояснювати ідею лабораторного «віртуального виробництва», по-друге, будову та принцип дії лабораторної ІАСУ цим виробництвом, по-третє, конструкцію фізичної моделі та принцип дії лабораторного АТП.

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

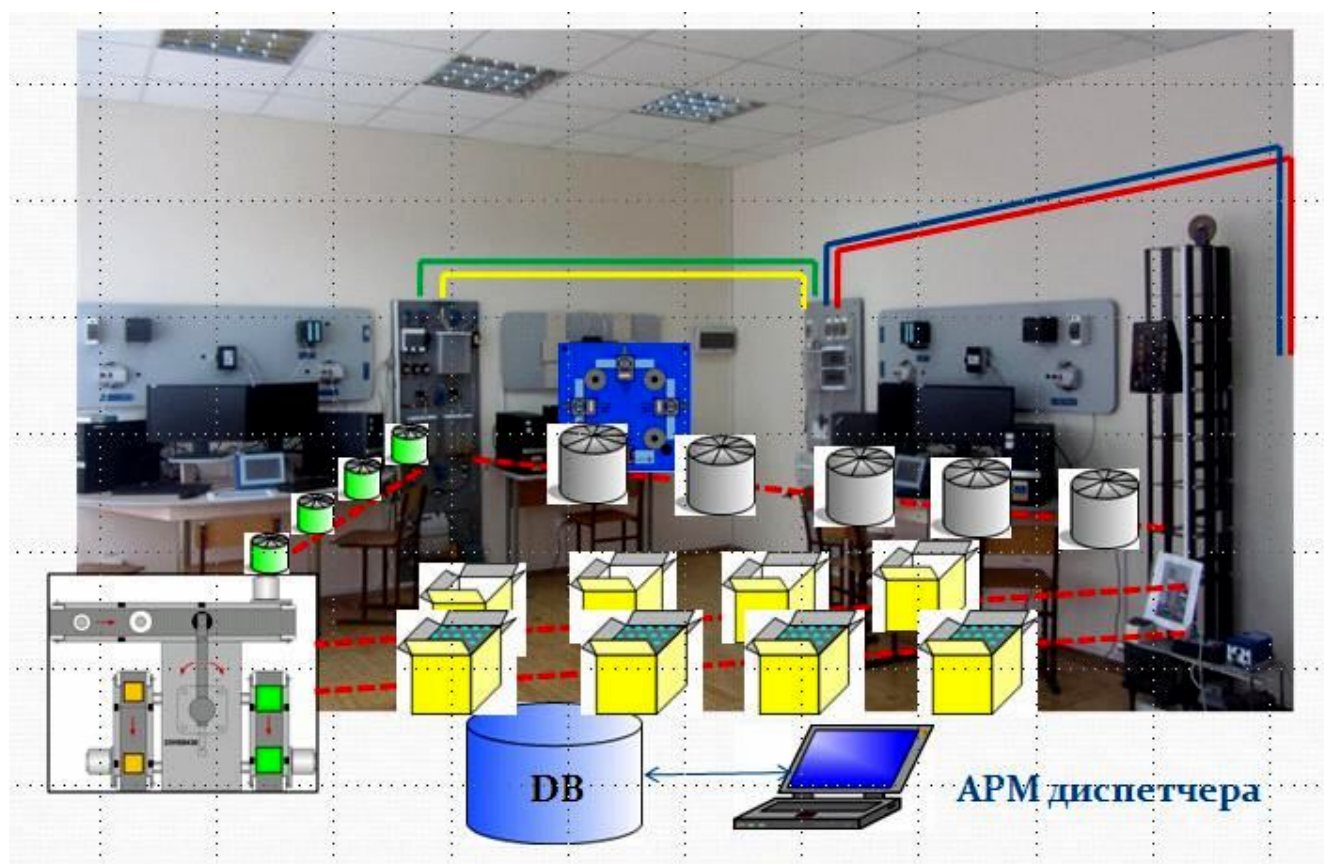


Рисунок 2.4 – Комп'ютерна модель основного ТП «віртуального виробництва»

В цій моделі використовуються як статичні об'єкти, що відображають промислове обладнання цього «віртуального технологічного процесу» (лабораторні ТП), так і динамічні об'єкти, які демонструють роботу цього обладнання (наприклад конвеєрів та трубопроводів). До цієї графічної моделі

додається детальний текстовий опис, що разом дає можливість актору «Студент» краще зрозуміти принцип його дії та взаємні виробничі зв'язки уявного промислового обладнання. В подальшому ці знання актор «Студент» може використати при розробці ПЗ лабораторної ІАСУ даним виробництвом.

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

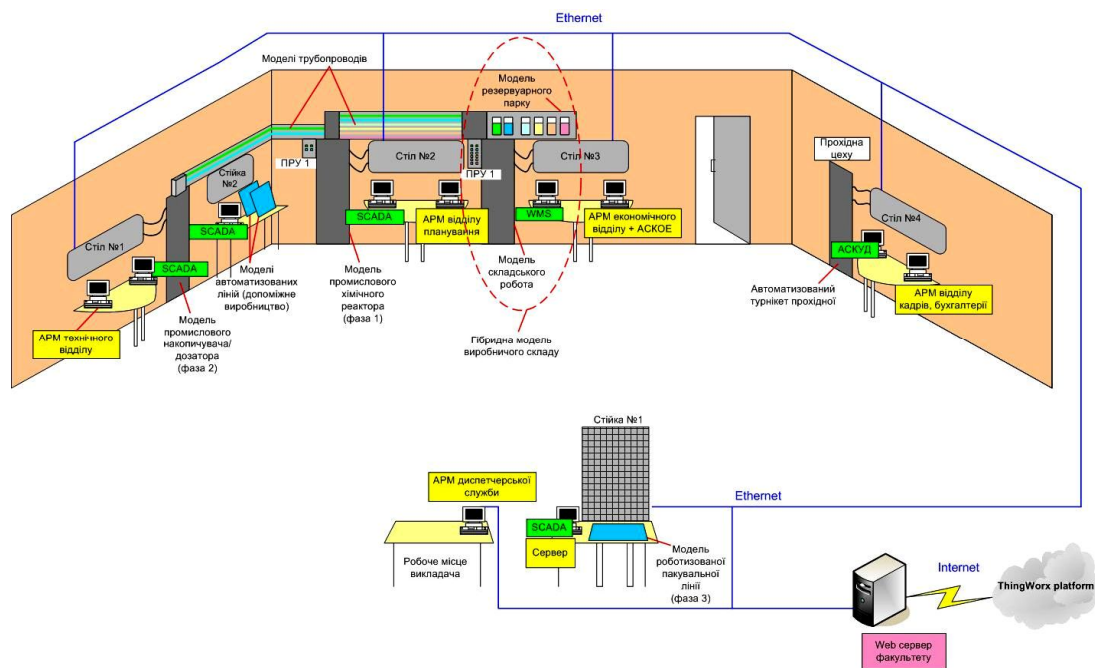


Рисунок 2.5 – Комп’ютерна модель організації ІАСУ у приміщенні лабораторії

На рисунку 2.6 показана стандартна графічна модель функціональної структури системи управління періодичним виробництвом, яка лежить в основі роботи лабораторної ІАСУ. Ця модель використовується як шаблон для означення відповідної моделі для управління основним виробництвом (Production), технічним обслуговуванням (Maintenance), контролем якості (Quality) та виробничими запасами (Inventory). Однак цей самий шаблон може бути використаний і для інших можливих категорій виробничих операцій або для інших областей діяльності уявного лабораторного підприємства з виготовлення хімічної продукції.

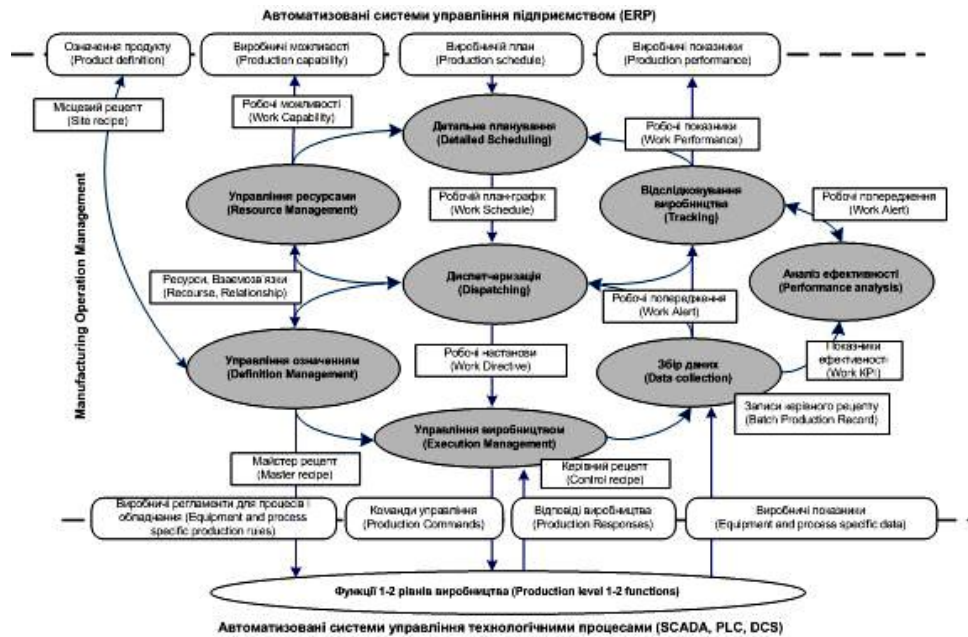


Рисунок 2.6 – Графічна модель функціональної структури лабораторної ІАСУ

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

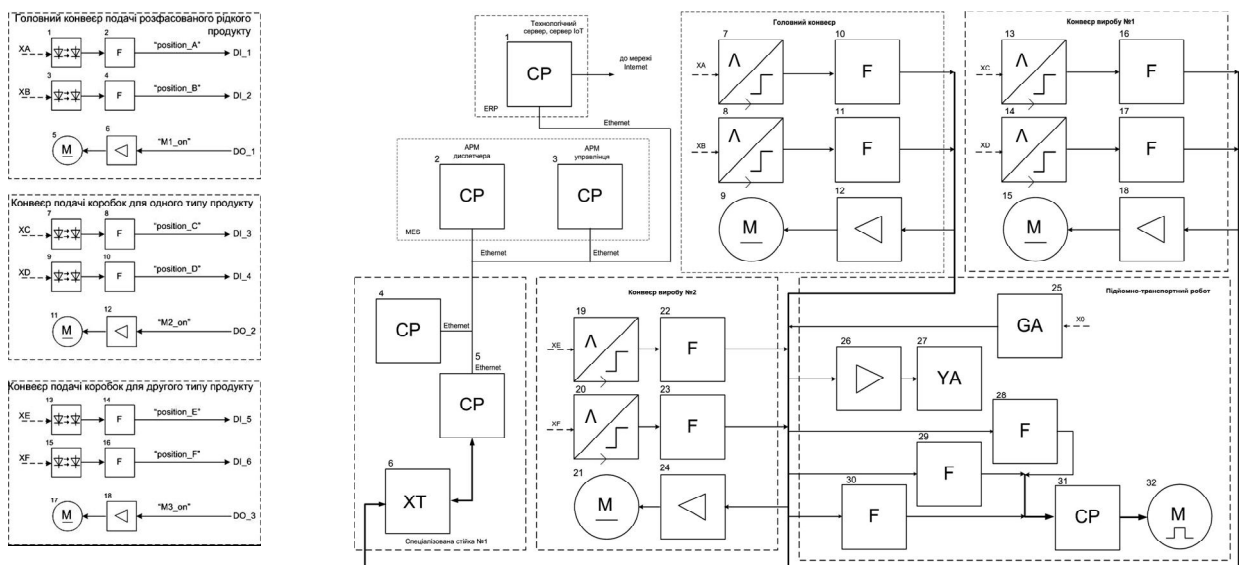


Рисунок 2.7 – Комп'ютерні графічні моделі лабораторного АТП

Тепер розглянемо моделювання, що здійснює актор «Викладач» при розумовій трансформації існуючого лабораторного ТП пакування готової продукції у реальний ТП (див. рисунок 2.2). Ця модель реального ТП повинна бути достатньо інформативною, щоб актор «Студент» зміг на її основі здійснити розумову трансформацію реального ТП у реальний АТП (див. рисунок 2.3). Тому кращим варіантом є використання 3D-моделювання реального ТП з можливістю застосування в цій моделі засобів технічної анімації. На рисунку 2.8 показаний варіант такої 3D-моделі реального ТП пакування готової продукції, розробленої засобами графічного редактора «Visio», доступного на хмарному сервісі [31].

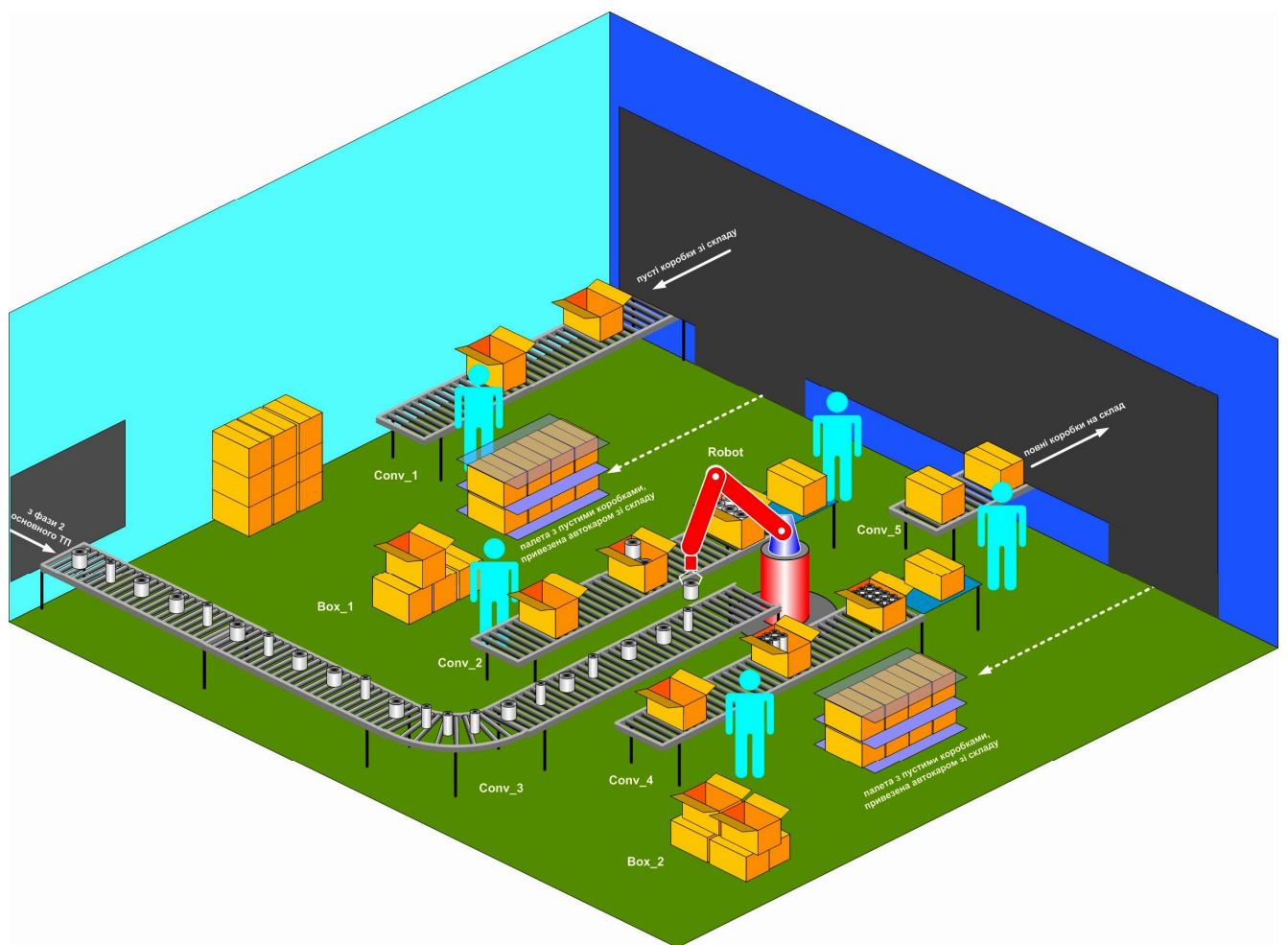


Рисунок 2.8 – Тривимірна графічна модель реального ТП

На цій моделі відображено реальне приміщення деякого промислового підприємства, де змонтовані конвеєри та пакувальний робот, а також усе інше

обладнання, що забезпечує роботу цього ТП. Така модель описується актором «Викладач» у супутньому текстовому документі, де означається не тільки конструкція цього реального ТП та його принцип дії, але і надається повний перелік як встановленого промислового обладнання й основні його конструктивні/технічні/експлуатаційні характеристики, так і локальні запаси матеріальних ресурсів, що забезпечують нормальне протікання цього ТП. У таблиці 2.1 показаний зразок такого переліку.

Таблиця 2.1 – Промислове обладнання реального ТП

| Позначення | Призначення   | Характеристики   |
|------------|---|--|
| Robot      | Пакувальний робот   | Тип, конструктивні та технічні характеристики, вбудовані засоби автоматизації та електропривод |
| Conv_1     | Промисловий конвеєр подачі пустих коробок типів 1 та 2 зі складу  | - « -  |
| Conv_2     | Промисловий конвеєр подачі пустих коробок типу 1 до пакувального робота   | - « -  |
| Conv_3     | Промисловий конвеєр подачі з фази 2 основного ТП банок типів 1 та 2, заповнених готовою продукцією та закритих кришками, до пакувального робота | - « -  |
| Conv_4     | Промисловий конвеєр подачі пустих коробок типу 2 до пакувального робота   | - « -  |
| Conv_5     | Промисловий конвеєр подачі повних коробок типів 1 та 2 на склад   | - « -  |
| Вох_1      | Локальний запас пустих коробок типу 1   | Величина допустимого мінімального запасу   |
| Вох_2      | Локальний запас пустих коробок типу 2   | Величина допустимого мінімального запасу   |

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

Trace Mode 6», яку актор «Студент» використовує для автоматизації лабораторного ТП. На рисунку 2.9 показаний варіант «оживлення» тривимірної моделі реального ТП засобами цієї програмної системи.

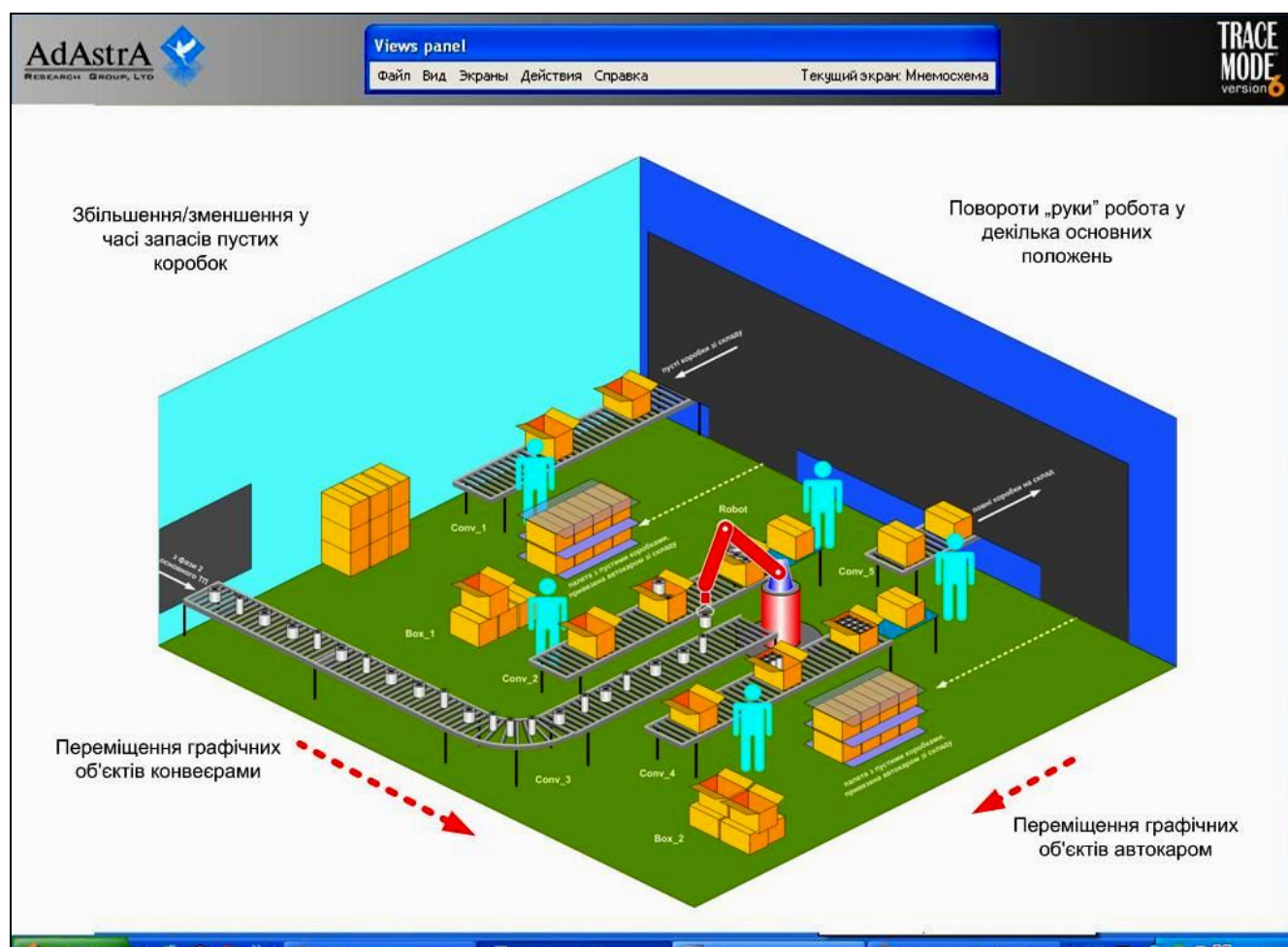


Рисунок 2.9 – Додавання засобів технічної анімації у 3D-модель реального ТП

З рисунку видно, що в графічній тривимірній моделі реального ТП використовуються додаткові засоби технічної анімації роботи всіх конвеєрів: поява та зникнення відповідних об'єктів на конвеєрах (пусті та повні коробки, банки двох типів), а також їх переміщення цими конвеєрами. Крім того, засобами технічної анімації можна показати переміщення зі складу підприємства палет з пустими коробками обох типів. Пакувальний робот засобами технічної анімації може бути також «оживлений», наприклад повертатися у різні боки та змінювати положення своєї механічної «руки» та її вантаж.

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

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

### **2.3 Розробка моделей існуючого АТП актором «Студент»**

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

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

– потім, отримавши від актора «Викладач» комплект вихідних комп'ютерних моделей реального ТП в рамках іншої професійної дисципліни (наприклад «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва»), поступово формує у себе вихідне уявлення про реальний АТП (реальний ТП та реальна ІАСУ), який функціонує на основі тих же принципів, як і лабораторний АТП.

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

інших програмно-технічних засобів автоматизації, які краще відповідають характеристикам реального ТП).

Розглянемо спочатку кілька прикладів комп'ютерних моделей, які актор «Студент» розробляє на першому етапі даної стадії практичного вивчення цифрової трансформації. На рисунку 2.10 показана модель обчислювальних ресурсів лабораторної АТП пакування готової продукції.

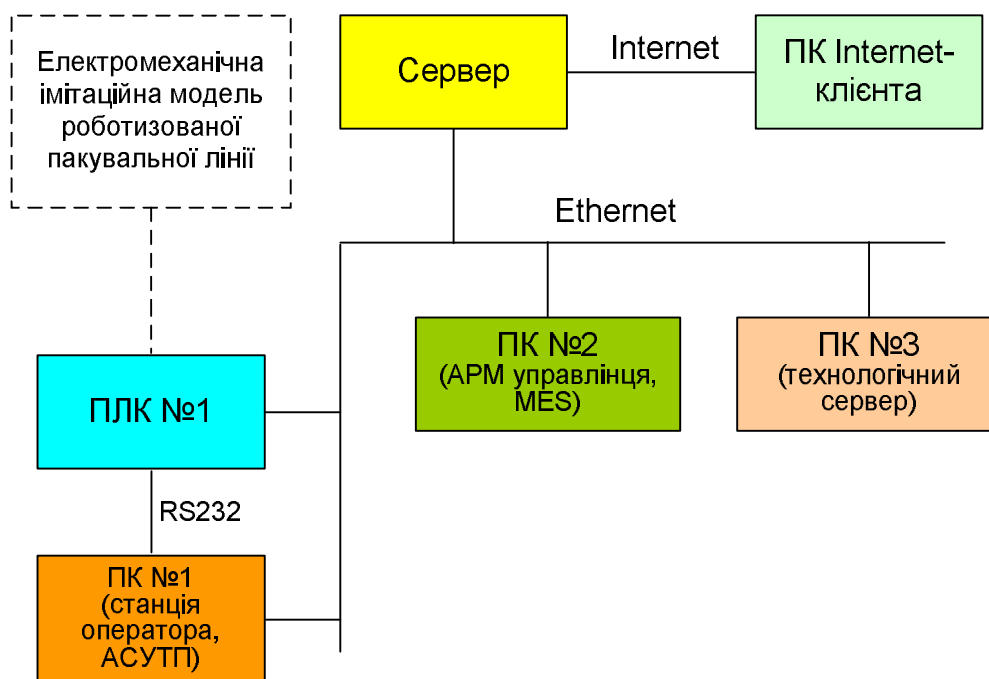


Рисунок 2.10 – Графічна модель обчислювальних ресурсів лабораторної АТП

Ця модель показує ту конфігурацію лабораторної АТП, яка реалізується на обладнанні спеціалізованої стійки №1 – програмованому контролері VIPA (ПЛК №1) та персональному комп'ютері (ПК №1). В даному випадку ПЛК обмінюється фізичними сигналами з електромеханічною імітаційною моделлю роботизованої пакувальної лінії. На основі ПК №1 створюється робоча станція оператора АСУТП даного технологічного процесу. На додатковому ПК №2 реалізується АРМ управління MES-системи, а на ПК №3 – технологічний сервер системи. Крім того використовується сервер ФПТА (сервер) та персональний комп'ютер віддаленого клієнту мережі Internet (ПК Internet-клієнта). Все це відтворює лабораторну ІАСУ ТП пакування готової продукції.



На рисунку 2.11 показана графічна модель, яку розробляє актор «Студент», проєктуючи прикладне ПЗ промислового контролера лабораторного АТП.

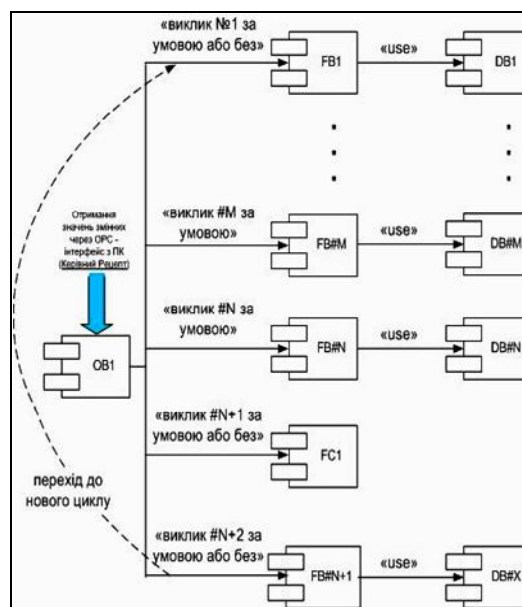


Рисунок 2.11 – Блочна структура прикладної програми ПЛК лабораторного АТП

Ця модель показує, як доцільно побудувати цю програму, щоб можна здійснювати управління лабораторним ТП пакування готової продукції відповідно до отриманого Керівного рецепту, сформованого в лабораторній ІАСУ. Цю та інші ескізні моделі ПЗ промислового контролера актор «Студент» розробляє в рамках практичного курсу відповідної професійної дисципліни, наприклад «Технічні засоби автоматизації».

На рисунку 2.12 показана графічна модель архітектури ПЗ лабораторної ІАСУ, яка реалізує стандартні принципи управління періодичним технологічним процесом [32]. Ця модель розробляється актором «Студент» у практичному курсі іншої професійної дисципліни, наприклад «Інтегровані системи управління». Модель показує усі інструментальні програмні засоби, що мають бути встановленими на обчислювальних ресурсах лабораторної АТП, а також усі прикладні програми, які мають виконуватися на кожному з цих обчислювальних ресурсів для управління лабораторним АТП.

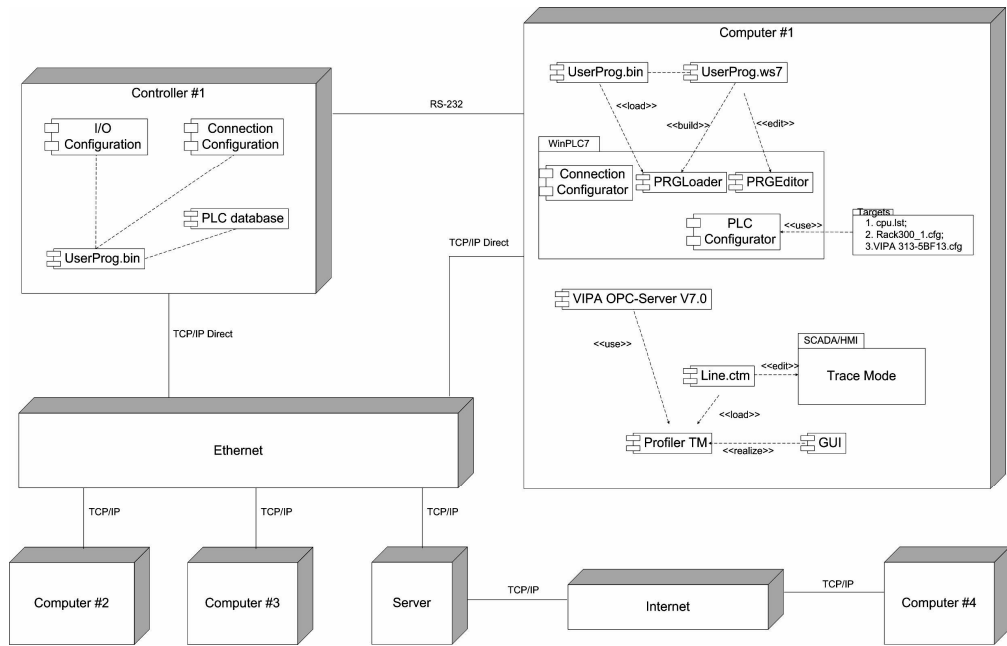


Рисунок 2.12 – Архітектура ПЗ лабораторної ІАСУ ТП пакування готової продукції

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

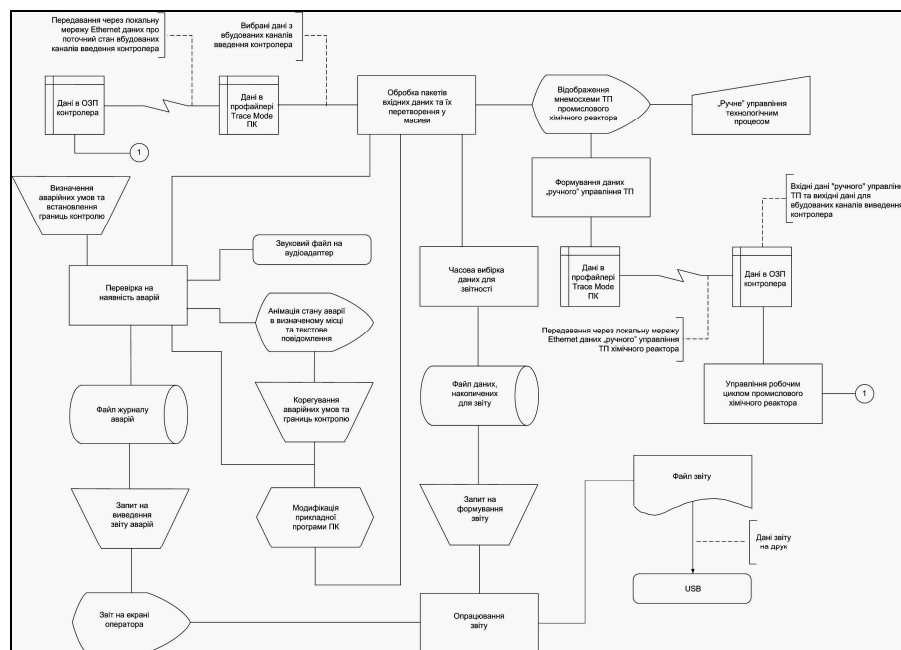


Рисунок 2.13 – Схема даних прикладного ПЗ лабораторної ІАСУ

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

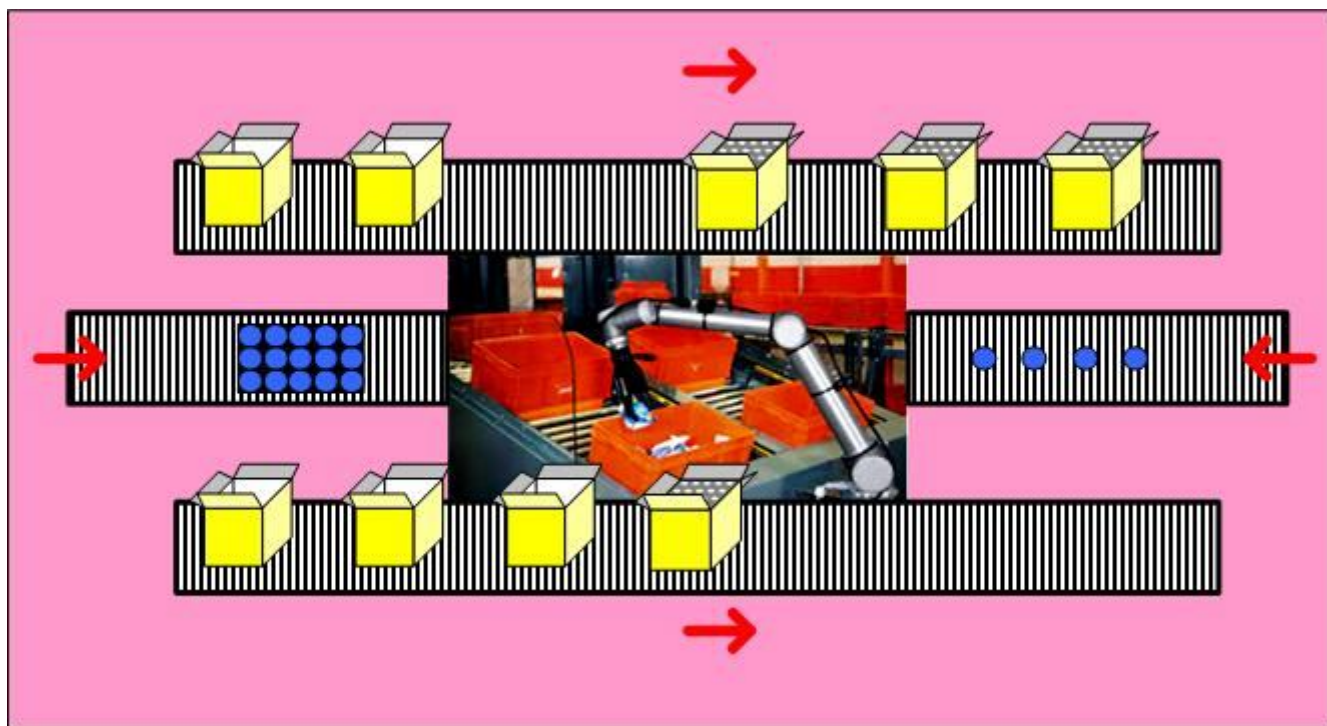


Рисунок 2.14 – Графічна модель шаблону головного екрану НМІ оператора

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

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

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

На даному етапі актор «Студент» повинен розробити модель реальної ІАСУ, яка відображає, по суті, варіант реалізації лабораторної ІАСУ в умовах реального промислового підприємства. Ці умови, без сумніву, відрізняються від тих умов, які є в лабораторії. На підприємстві встановлено реальне промислове обладнання, що має конкретні конструктивні/технічні/експлуатаційні характеристики, а матеріальні ресурси мають свої фізичні властивості.

Тому спочатку актор «Студент» повинен обґрунтовано вибрати для реальної ІАСУ відповідні зразки промислових технічних засобів автоматизації (ТЗА) – контролери, датчики та вимірювачі різних фізичних величин, а потім розмістити їх на тривимірній моделі реального ТП (рисунок 2.15) у тому місці моделі, де вони повинні бути встановленими при монтажі на реальному промисловому підприємстві.

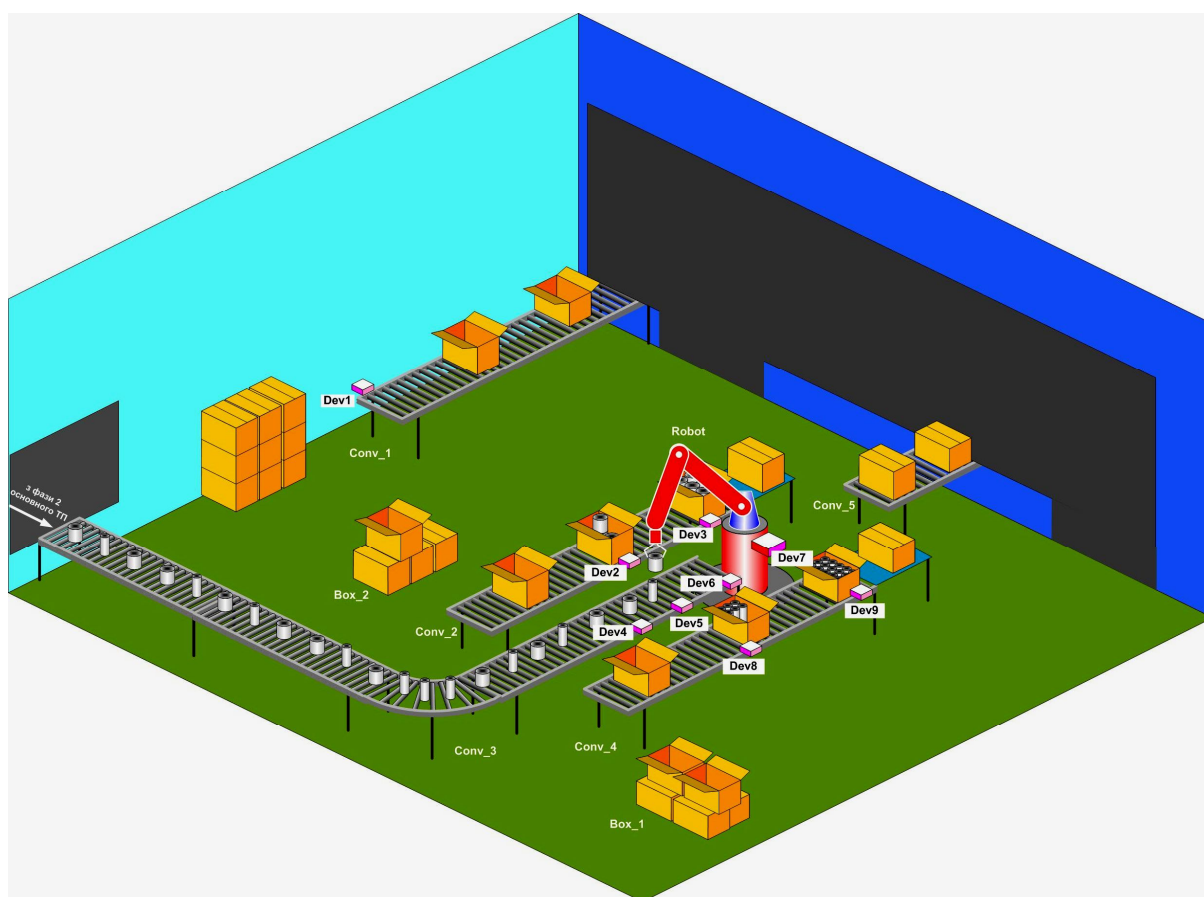


Рисунок 2.15 – Розміщення ТЗА на тривимірній моделі реального ТП

На рисунку кожному ТЗА) привласнене позиційне позначення «Dev#», де # - позиційний номер. Ці ТЗА обґрунтовано вибираються актором «Студент» з відповідних каталогів промислової автоматизації, враховуючи конструктивні/технологічні/експлуатаційні характеристики промислового обладнання реального ТП та фізичні властивості матеріальних ресурсів, які наведені в таблиці 2.1.

Ця тривимірна модель реального ТП постачається текстовим переліком усіх вибраних ТЗА з означенням їх призначення, типу та основних конструктивних/технічних/метрологічних характеристик. В таблиці 2.2 наведений приблизний зразок такого переліку, але в процесі практичному навчання оформлення цього переліку може бути відкориговане.

Таблиця 2.2 – Технічні засоби автоматизації реального ТП

| Поз. позначення | Призначення  | Тип | Характеристики |
|-----------------|--|-----|----------------|
| 1               | 2  | 3   | 4              |
| Dev1            | Позиційний датчик крайнього положення пустої коробки на конвеєрі «Conv_1»  | ... | ...            |
| Dev2            | Позиційний датчик конвеєра «Conv_2» для фіксації робочого положення пустої коробки типу 1 біля пакувального робота | ... | ...            |
| Dev3            | Позиційний датчик крайнього положення повної коробки типу 1 на конвеєрі «Conv_2»                                   | ... | ...            |
| Dev4            | Датчик конвеєра «Conv_3» для ідентифікації типу повної банки, що подається до пакувального робота                  | ... | ...            |
| Dev5            | Позиційний датчик конвеєра «Conv_3» для фіксації робочого положення повної банки біля пакувального робота          | ... | ...            |

Продовження таблиці 2.2

| 1    | 2  | 3   | 4   |
|------|--|-----|-----|
| Dev6 | Позиційний датчик крайнього положення повної банки на конвеєрі «Conv_3»  | ... | ... |
| Dev7 | Промисловий контролер, вбудований в пакувальний робот  | ... | ... |
| Dev8 | Позиційний датчик конвеєра «Conv_4» для фіксації робочого положення пустої коробки типу 2 біля пакувального робота | ... | ... |
| Dev9 | Позиційний датчик крайнього положення повної коробки типу 2 на конвеєрі «Conv_4»                                   | ... | ... |

Після розміщення усіх ТЗА на тривимірній моделі реального ТП актор «Студент» повинен спроектувати систему сигнальної арматури, яка забезпечить передачу електричних сигналів (вимірювання, управління) між промисловим контролером «Dev7» та рештою ТЗА. Для «прокладання» сигнальних кабелів на реальному підприємстві зазвичай застосовується спеціальна монтажна арматура.

На рисунку 2.16 показаний варіант розміщення цієї арматури у приміщенні реального ТП. Ця арматура являє собою монтажні профілі, що встановлені на вертикальних опорах. Всередині цих профілів при монтажі укладаються сигнальні кабелі, що йдуть від/до промислового контролера. Біля місця розміщення відповідного ТЗА потрібний сигнальний кабель опускається з монтажного профілю і підключається до цього ТЗА.

В результаті прокладки усіх сигнальних кабелів актор «Студент» отримає тривимірну модель електричного монтажу ТЗА на реальному ТП (рисунок 2.17).

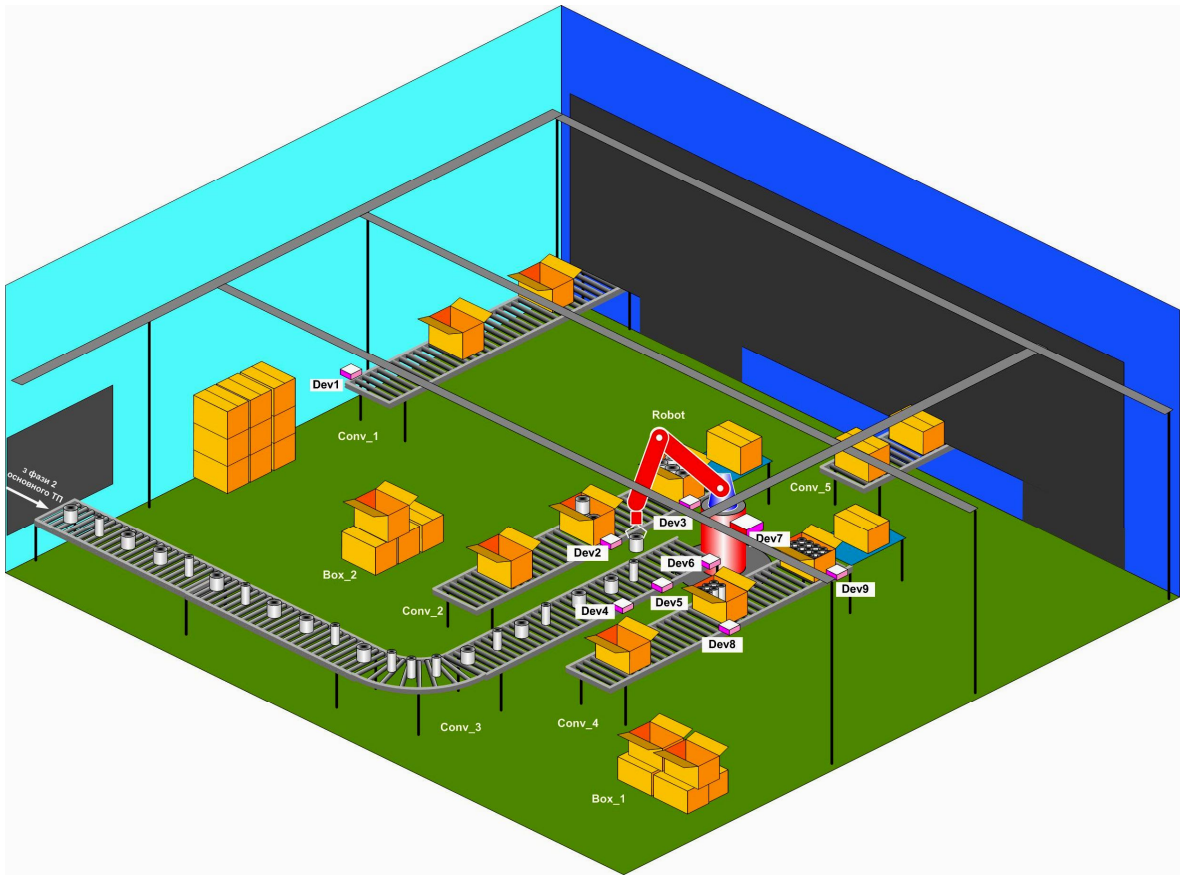


Рисунок 2.16 – Розміщення монтажної арматури на реальному ТП

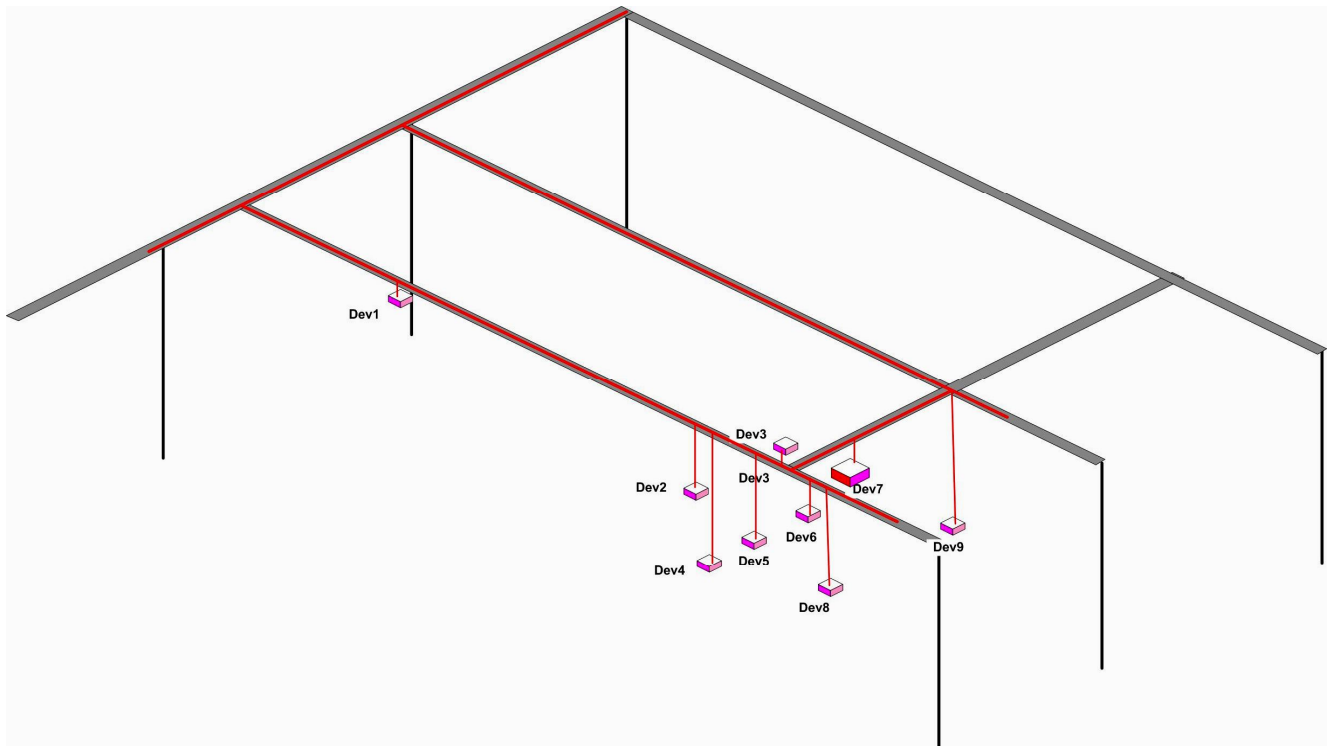


Рисунок 2.17 – Тривимірна модель електричного монтажу ТЗА на реальному ТП

Далі актор «Студент» доповнює тривимірну модель реального АТП програмно-технічними засобами оперативного та диспетчерського управління. Оперативне управління має здійснюватися через автоматизоване робоче місце оператора АТП (АРМ оператора), яке розташовується у окремому приміщенні. Диспетчерське управління періодичним виробництвом реального АТП має здійснюватися через автоматизоване робоче місце диспетчера виробництва (АРМ диспетчера), яке також повинно розміщуватися у окремому приміщенні.

На рисунку 2.18 показані відповідні доповнення тривимірної моделі реального АТП. Останнє, що повинен зробити актор «Студент», щоб повністю зробити тривимірну модель реального АТП, це «прокласти» в приміщенні підприємства корпоративну цифрову мережу, яка з'єднає промисловий контролер реального АТП, що встановлений у пакувальному роботі, ПК автоматизованого робочого місця оператора та ПК автоматизованого робочого місця диспетчера. На рисунку 2.19 показана доповнена модель реального АТП.

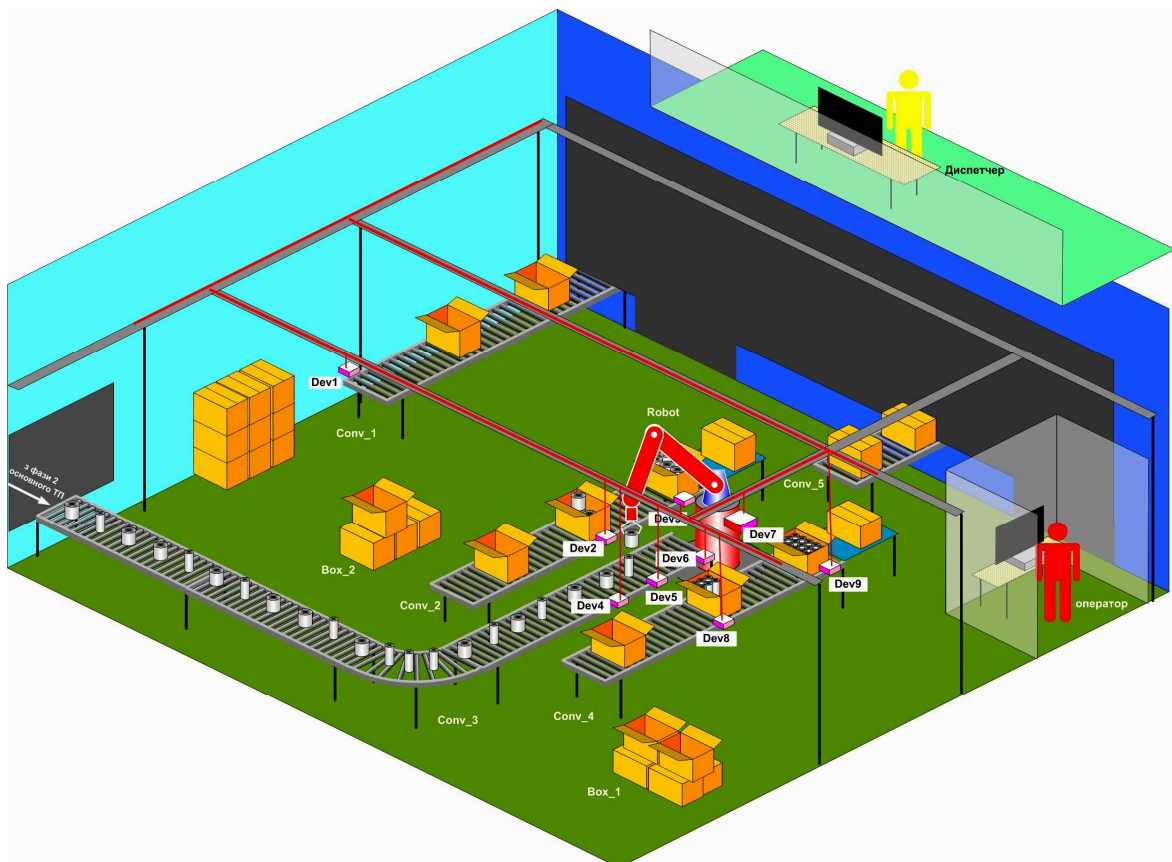


Рисунок 2.18 – Модель реального АТП з АРМ оператора та диспетчера



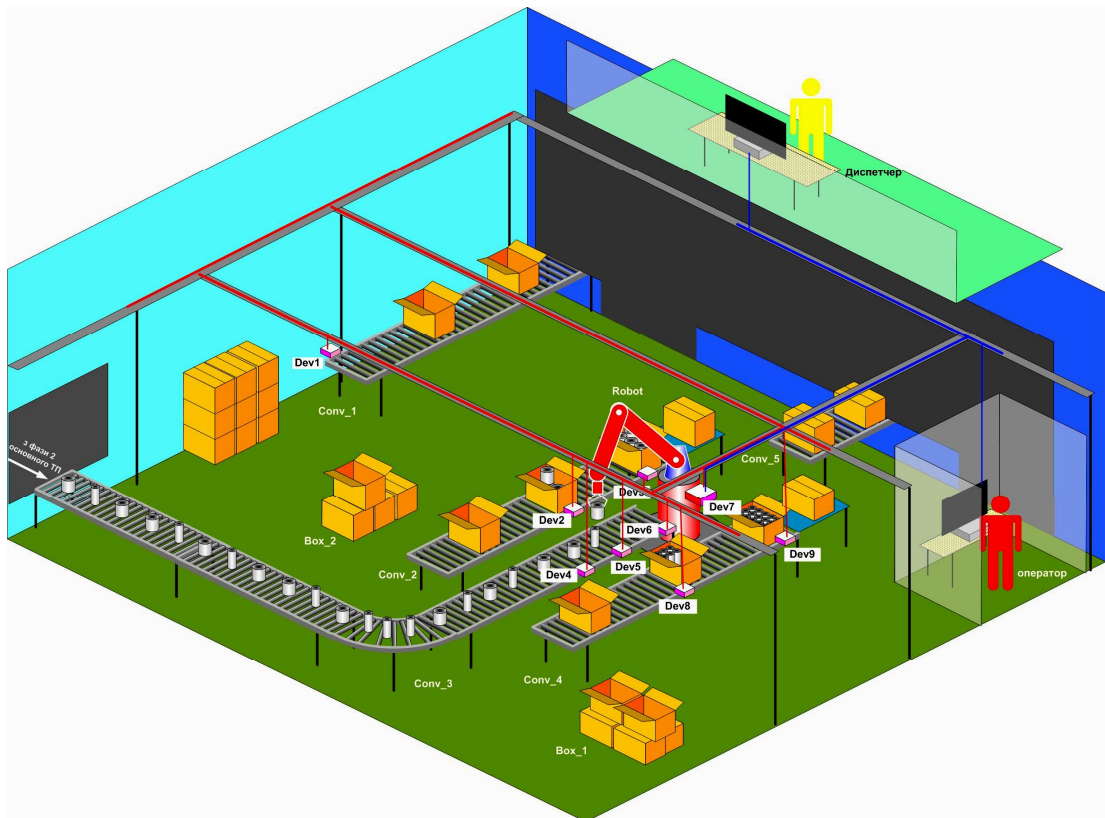


Рисунок 2.19 - Монтаж в приміщенні підприємства корпоративної цифрової мережі

На графічних моделях реального АТП можна також додатково показати працівників, що забезпечують роботу даного АТП, наприклад, інженера з контрольно-вимірювальних пристроїв та автоматики (КВПіА) та наладчика КВПіА, які мають спостерігати за роботою ТЗА та всієї системи управління в цілому, а також виконувати їх ремонт та налаштування.

## 2.4 Висновки до розділу

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

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

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

## **3 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ «АНАЛІЗ РЕАЛЬНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ТП»**

### **3.1 Загальне бачення**

Цифрова трансформація існуючого технологічного процесу пакування, що вивчається на новому КНЗ, як вже зазначено вище, являє собою процес поступового перетворення студентами існуючого реального АТП, побудованого за рекомендаціями концепції комп'ютерно-інтегрованого виробництва «Індустрія 3.0» (І3.0), у досконаліший варіант даного АТП, що відповідає рекомендаціям перспективної концепції цифрового виробництва «Індустрія 4.0» (І4.0).

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

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

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

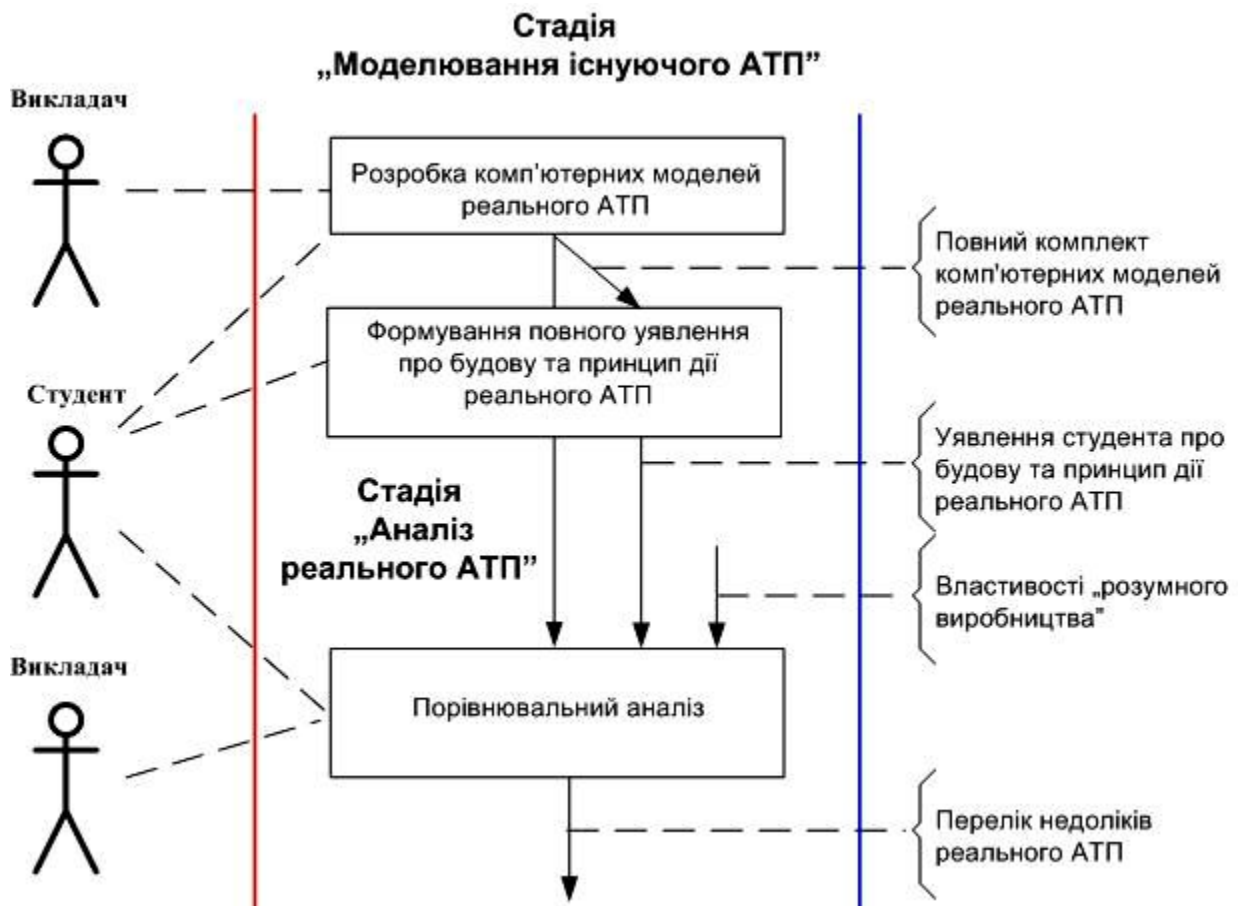


Рисунок 3.1 – Загальне бачення процесу виконання стадії

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

Основу нової промислової революції складають віртуальні середовища, які створюються й управляються на віртуальних платформах, що дозволяє виконувати візуалізацію і контроль у віртуальному середовищі того, що неможливо фізично побачити в реальному світі, - єдину промислову екосистему [33-38]. Цифрові технології - це основний спосіб і засіб перетворень. Вони підвищують продуктивність і конкурентоспроможність за рахунок моделювання й оцінки виробів ще до фактичного виготовлення продукції. Цифрові технології розширюють можливості творчості, дозволяючи створювати нові середовища й одночасну їх візуалізацію їх, моделювання й управління ними.

З'явилися нові бізнес-моделі, засновані на тім, що цінність визначається не тільки самим виробом, але й знаннями й ноу-хау, які пов'язані із цим виробом. В епоху промислового ренесансу лідерами стануть ті компанії, які будуть оперативно впроваджувати знання й ноу-хау серед співробітників і в ланцюжках створення цінності. Зміняться цілі сектори економіки - з'являться нові категорії компаній, що пропонують нові категорії рішень для нових категорій клієнтів.

Виробниче середовище майбутнього - це максимальне використання всієї екосистеми цифрових технологій для впровадження нових захоплюючих можливостей взаємодії з активними клієнтами. Можливість візуалізації й контролю всієї промислової екосистеми значно підвищує його продуктивність і конкурентоспроможність, забезпечує розгортання цілої мережі створення цінності, у якій об'єднані можливості реального й віртуального світів для розробки, впровадження й спільного використання стійких інновацій, а також для безперервного вдосконалювання цих можливостей за допомогою аналітики користувальницького досвіду.

Виробниче середовище майбутнього засноване на концепції розумної фабрики (рисунок 3.2). Проте це не просто цифрове виробництво. Це цифрова виробнича система, у якій зібрані дані про розробку, навчання, виготовлення й торгівлю і яка охоплює всі галузі економіки й суспільства.

Цифровізація виробничих процесів становить невід'ємну частину більш масштабної трансформації - перетворення всієї промислової екосистеми в єдину віртуальну цифрову структуру. Нові бізнес-моделі створять нові потреби у

виробництві. Для здійснення трансформації виробники повинні грамотно інвестувати свої кошти.



Розумна фабрика, що поєднує обладнання, системи, площадки, клієнтів і партнерів

Рисунок 3.2 - Цифрова виробнича система

У міру прискорення темпів розвитку компаній зростає й попит споживачів на більш швидке надання більш якісних послуг і товарів. Для швидкого виводу продукції на ринок виробникам потрібно здійснити цифрову трансформацію в масштабах як підприємства, так і розширеної екосистеми.

Концепція універсальності починає застарівати. На зміну масовому виробництву приходить масова персоналізація. Ланцюжки поставок усе більше ускладнюються й переплітаються, а OEM - виробникам потрібні можливості візуалізації, реалізовані за допомогою впровадження цифрових технологій. У той же час скорочується прибутковість і стає усе складніше знайти висококваліфікованих фахівців.

Прийняття важливих рішень про інвестиції в майбутні технології й ІТ - системи може стати заставою успішного розвитку компаній. Потрібен централізований підхід до управління розрізненими площадками, а керівники

повинні володіти повною картиною й контролювати розширені ланцюжки поставок і обслуговування локальних клієнтів.

Третя промислова революція визначила виробництво як один із самих стабільних секторів. Але сьогодні процеси, які раніше використовувалися протягом тривалого часу, починають швидко застарівати. Споживчий попит може раптово змінитися, нові технології миттєво стають революційними, і один раз затверджені процеси тепер повинні бути більш гнучкими й такими, що налаштовуються у відповідності зі змінами. На сучасному етапі оперативність - локальна або глобальна - стає вкрай важлива.

Конкуренція й споживчий попит впливають на показники продуктивності. Найбільші світові виробники впровадили ряд "простих" рішень, наприклад ощадливе виробництво. Однак для безперервного вдосконалювання потрібна постійна оптимізація. Недостатньо прагнення до безперервного вдосконалювання. Виробникам необхідні ресурси й технології для досягнення цієї мети.

Виробництво - це не просте спосіб виготовлення товарів і послуг. Це критично значимий елемент процесу створення цінності. В епоху економіки вражень цінність ґрунтується на знаннях і ноу-хау, використаних при створенні продукції, а також на можливостях, які виріб надає споживачеві, а не на самому виробі. Сучасні компанії впроваджують цифрові мережі створення цінності, використовуючи віртуальні платформи з декількома підключеними ресурсами, які поєднують віртуальне середовище й реальний світ і дозволяють створювати нові бізнес-моделі.

Можливості віртуальних платформ:

1). Мережі створення цінності (перетворення ланцюжків поставок у цифрові мережі створення цінності за рахунок усунення бар'єрів між потенційними бізнес-партнерами й створення нових бізнес-моделей для надання інноваційної продукції споживачам).

2). Стійкі інновації й ефективність (зниження ризиків, удосконалювання процесів і прогнозування показників продуктивності за допомогою об'єднання потужних можливостей віртуального середовища й реального світу, де люди використовують машини для трансформації виробництва).

3). Співробітники майбутнього (розвиток потенціалу співробітників майбутнього шляхом збору, передачі й повторного використання знань і ноу-хау для створення нових категорій екологічних рішень).

Компаніям необхідні можливості управління вимогами й очікуваннями клієнтів для створення персоналізованих виробів і скорочення термінів поставки. Для рішення цих завдань потрібні ще більш гнучкі й ефективні виробничі активи.

Основні завдання щодо оптимізації всієї виробничої діяльності та підвищення загальної ефективності виробництва такі:

- управління вимогами клієнтів, створення персоналізованих продуктів і скорочення строків поставки;
- оптимізація витрат для підвищення прибутковості;
- поліпшення синхронізації всіх дій, пов'язаних з виробництвом;
- підвищення ефективності виробничих активів;
- капіталізація, обмін і розвиток робочих навичок;
- прозорість, контроль, узгодження й автоматизація експлуатаційної діяльності;
- виконання бізнес-процесів і збір всіх можливих даних для прийняття ефективних рішень і безперервного вдосконалювання;
- комплексний моніторинг робіт;
- комплексне управління якістю в реальному часі в масштабі всього підприємства;
- забезпечення якості, відстеження й доступу до попередніх даних про деталі, процеси й ресурси;
- дії по усуненню неполадок і проблем з якістю;
- виконання завдань, орієнтованих на бізнес-процеси, і управління винятками для підвищення оперативності. забезпечення цифрової безперервності проектування й виробництва в режимі реального часу;
- забезпечення прозорості й синхронізації операцій всіх підрозділів для зниження ризиків.

На рисунку 3.3 показані інструменти вирішення цих завдань.



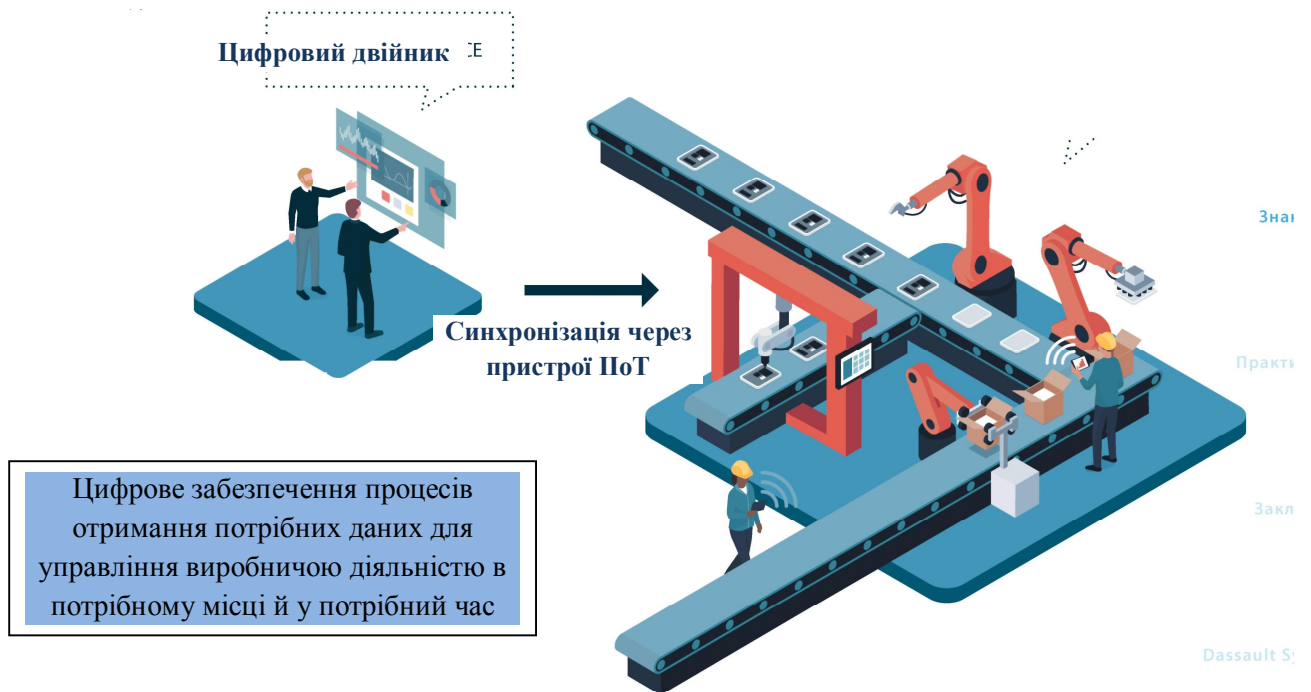


Рисунок 3.3 - Забезпечення прозорості й синхронізації операцій

Ключові типові завдання оперативного управління засновані головним чином на принципах ощадливого виробництва, які припускають залучення всіх співробітників у процес безперервного підвищення загальної продуктивності:

- прискорення й оптимізація реагування на виробничі проблеми;
- поліпшення взаємодії між співробітниками й робочими групами;
- скорочення числа неефективних задач;
- впровадження цифрових технологій ощадливого виробництва й спрощення застосування принципів ощадливого виробництва для безперервного вдосконалювання;
- управління продуктивністю й КПЕ, пов'язаними з ощадливим виробництвом;
- зіставлення й обмін передовими практиками, пов'язаними з робочими процесами;
- взаємодія між фахівцями різних підрозділів і організацій для підвищення рівня поінформованості;
- взаємодія й спільна творча діяльність колег і робочих груп (рисунок 3.4);

– нагромадження ноу-хау компанії для оптимізації колективних навичок.

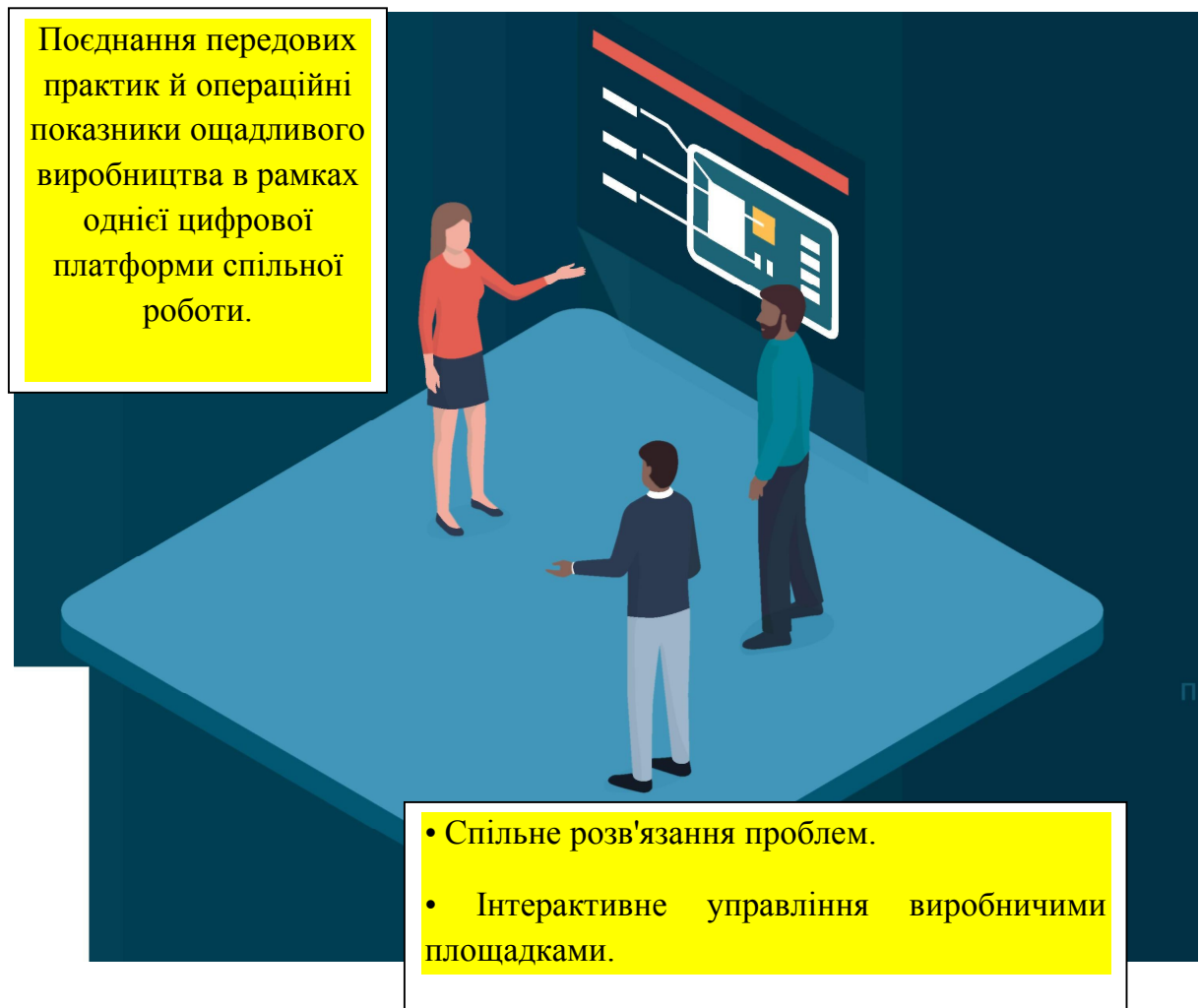


Рисунок 3.4 - Взаємодія й спільна творча діяльність колег і робочих груп

Цифрова копія (цифровий двійник) дозволяє виробникам проводити аналіз альтернативних сценаріїв і створювати віртуальні моделі своїх активів, виробів і процесів для рішення поточних і майбутніх завдань. Об'єднання технологій фізичних й цифрових систем утворює так звані "кіберфізичні системи".

Аналізуючи усі наведені вище приклади застосування цифрових технологій на «розумному виробництві» будь-якого цифрового підприємства, побудованого за концепцією «Індустрія 4.0», можна виділити основні його властивості, що характеризуються відповідними ознаками. Ці ознаки можна віднести до таких трьох груп: «Економічні ознаки», «Технічні/функціональні ознаки» та «Соціальні/суспільні ознаки» (таблиця 3.1).

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

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

Продовження таблиці 3.1

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

Продовження таблиці 3.1

| 1                                    | 2  |
|--------------------------------------|--|
| Функціональна безпека                | У міру усе більш широкого впровадження нових технологій і мереж, все більшої інтеграції розумних підприємств, все більшого значення набуває високий рівень кібернетичної безпеки «розумного» виробництва.  |
| <b>Соціальні/суспільні ознаки</b>    |  |
| Новий характер людської праці        | Щоб використовувати весь потенціал Індустрії 4.0, необхідні зміни на ринку праці відповідно до мінливих вимог і, як результат, у концепціях навчання, тому що саме люди - ключовий фактор успіху. Конвергенції інформаційних (ІТ) і операційних технологій (ОТ) вимагає наявності висококваліфікованих фахівців – системних інтеграторів, які здатні продемонструвати свої уміння та знання в конкретних аспектах «підключеного підприємства». Хоча Industry 4.0 замінює більшість робочих місць автоматизацією, проте, вона також і створює багато робочих місць, але з іншим характером праці. |
| Екологічна безпека                   | Скорочення кількості браку й відходів, що сприяє екологічно безпечнішій діяльності підприємства. Застосування більш екологічно безпечних процесів, що оптимально споживають енергоресурси й зменшують забруднення навколишнього середовища   |
| Ергономічна безпека                  | Повне усунення людської праці з небезпечних та тяжких процесів виробництва; надання працівникам вдосконалених засобів захисту від дії небезпечних виробничих факторів, комплексного моніторингу середовища та попереджувальної сигналізації.   |
| Принципово нові продукти (продукція) | Створення та швидкий вивід на ринок товарів, що використовують або нові технології (літаючі такси, окуляри доповненої реальності), або вдовольняють новим потребам користувачів (електричні автомобілі, цифрові екскурсоводи, цифровий метавесвіт), або вимагають використання при виготовленні нових технологій (3D-принтери металом або цифрове моделювання процесів).   |

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

### 3.2 Розробка алгоритму виконання аналізу

Для виконання порівнювального аналізу спочатку треба вибрати ту структурну будову АТП, яку далі використовувати в якості взірця. У нас є вже структура існуючого реального АТП (у вигляді повного комплексу комп'ютерних моделей), яка ґрунтується на концепції І3.0. Проте у світовій практиці вже існує і структура АТП «розумного виробництва», що ґрунтується на концепції І4.0.

Виходячи з навчально-методичних міркувань, буде більш доцільним взяти за взірець структурної будови саме останній варіант АТП, тобто той, що має бути отриманий в результаті цифрової трансформації існуючого реального АТП. По-перше, властивості «розумного виробництва», виявлені вище, ідеально суміщаються саме з цією структурою, по-друге, відсутність якогось компоненту структури І4.0 у складі структури існуючого реального АТП можна зразу вважати його недоліком, тобто у цьому випадку процес аналізу значно спрощується.

На даний час структурну будову «розумного підприємства» І4.0 та його «розумного виробництва» регламентують декілька стандартних моделей, які називаються референтними [39-42].

Наприклад, архітектурна модель побудови «розумного підприємства» Reference Model for Industrie 4.0 (RAMI 4.0) є уніфікованою архітектурною референтною моделлю, яка забезпечує колективне розуміння стандартів, що створені для реалізації концепції «Industry 4.0» (І4.0) [39].

Дана модель може бути інструментом для означення різних концепцій в рамках І4.0, так і їх практичних використань. В цій моделі окремі компоненти І4.0 описуються на рівні їх структури та функцій. Модель вимагає формулювання вимог щодо конкретного застосування з метою опису та подальшої розробки І4.0 концепцій та продуктів.

Модель RAMI 4.0 базується на Smart Grid Architecture Model (SGAM), яка була розроблена у свій час для комунікацій у мережах джерел відновлюваної енергії, але стала корисною і для І4.0.

Таким чином, модель RAMI 4.0 описує нейтральну щодо подальшої реалізації найкращу (рекомендовану) архітектурну модель для тих додатків, що

використовують Інтернет Речей (IoT), аналітику великих даних та інші технологічні новації у виробничих процесах і які відомі зараз під назвою «розумне виробництво», «інтелектуальне виробництво» та просто «Індустрія 4.0» (I4.0).

Референтна модель надає загальну структуру та мову для пояснення та специфікації системної архітектури, що, відповідно, сприяє поліпшенню загального розуміння та системної взаємодії.

При архітектурному описі цифрових виробничих платформ рівняння на референтну модель є дуже корисним, бо вона надає каркас для стандартизації відповідних технічних систем, від їх розробки, подальшої інтеграції і до їх дії.

Референтна модель RAMI 4.0, що показана на рисунку 3.5, базується на трьохвимірній системі координат – «Життєвий цикл та потік формування цінності» (Life Cycle & Value Stream), «Шари» (Layers) та «Ієрархічні рівні» (Hierarchy Levels).

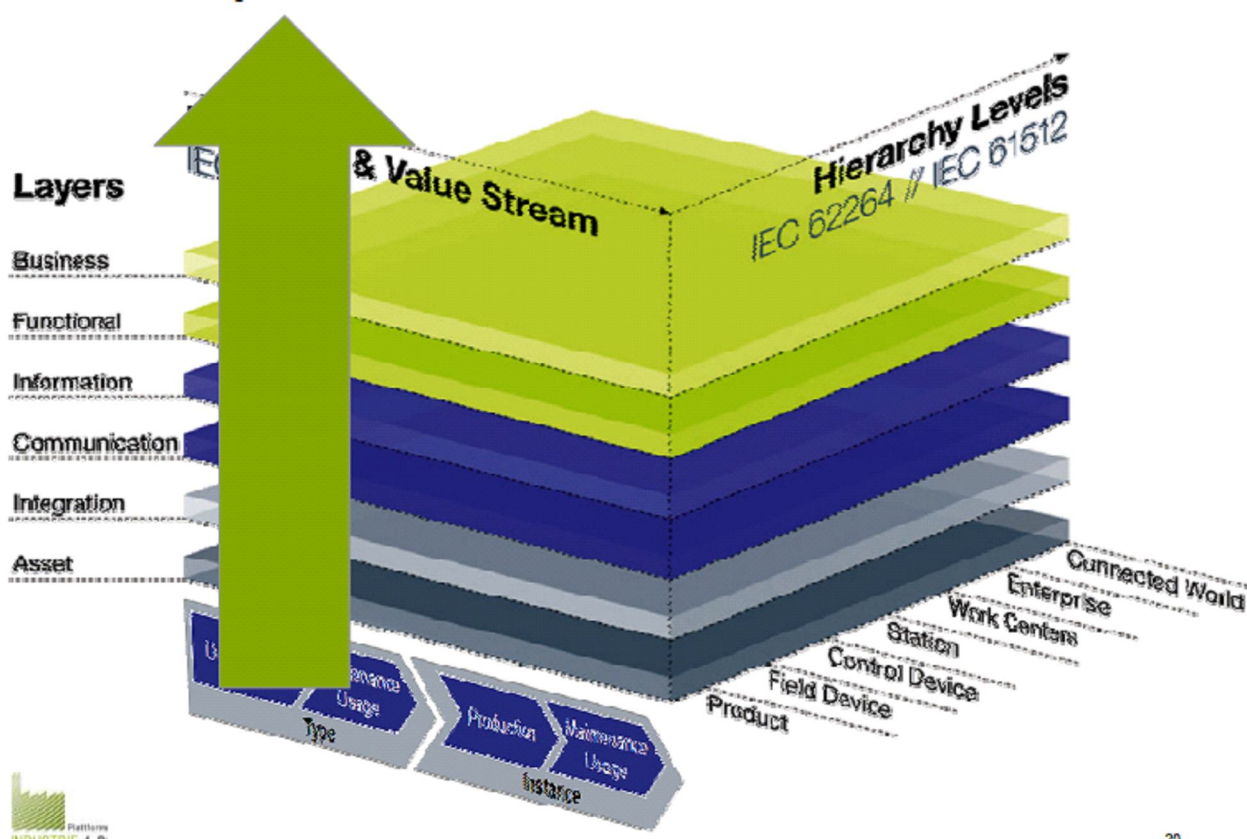


Рисунок 3.5 - Референтна архітектурна модель RAMI 4.0

Ця структура може використовуватися для системної організації та подальшої розробки концепцій та технологій в рамках І4.0.

Вісь «Життєвий цикл та потік формування цінності» (Life Cycle and Value Stream) представляє життєвий цикл продуктів (продукції) та систем, вона взята зі стандарту ІЕС 62890 [43]. Модель життєвого циклу продукту в першу чергу вводить різницю між типом продукту та екземпляром продукту. Тип продукту характеризується унікальним ідентифікатором продукту, а саме всією документацією, пов'язаною з продуктом (проектна документація, опис виробництва та випробування, технічна документація і т.д.) та потрібними сертифікатами. Опис типу продукту припустимий як для будь-яких апаратних засобів та програмного забезпечення, так і для програмної та апаратної частин продуктів. З іншого боку, екземпляр продукту характеризується унікальним ідентифікатором екземпляру, таким як серійний номер або номер замовлення (наряду).

Усі продукти та системи змінюються в процесі свого життєвого циклу. Зазвичай, такі інструменти, як PLM (Product Lifecycle Management) і ERP (Enterprise Resource Planning) підтримують процеси міграції, комплексність і адаптивність і в такий спосіб забезпечують захист бізнес-моделі в рухливих системах. Для І4.0 недостатньо використання цих інструментів, тому що повинні бути відображені цифровий життєвий цикл у рамках проєктування, а також фізичний термін життя зробленого виробу чи системи (рисунок 3.6).

Різні механізми дозволяють відображати й обробляти цифровий життєвий цикл типу виробу (системи) у процесі проєктування, а також фізичний термін служби екземпляру виробу (системи) в процесі виробництва та його використання у виробничих системах (в апаратному чи програмному забезпеченні) чи у процесах, а також ланцюжка створення вартості (цінності) і бізнес-моделі.

При цьому тип виробу (системи) позначає компонент із однозначно визначеними властивостями, що надалі може стати екземпляром, наприклад, розроблений виріб у цифровому вигляді. Тобто екземпляр представляє конкретний компонент визначеного типу, що однозначно ідентифікується,



наприклад, зроблений пристрій. Термін служби охоплює період з моменту завершення виробництва виробу до його повної утилізації. Можливість цифрової оцінки цієї інформації дозволяє управляти системами, які складаються з динамічно мінливих підсистем і взаємодіють із іншими системами.

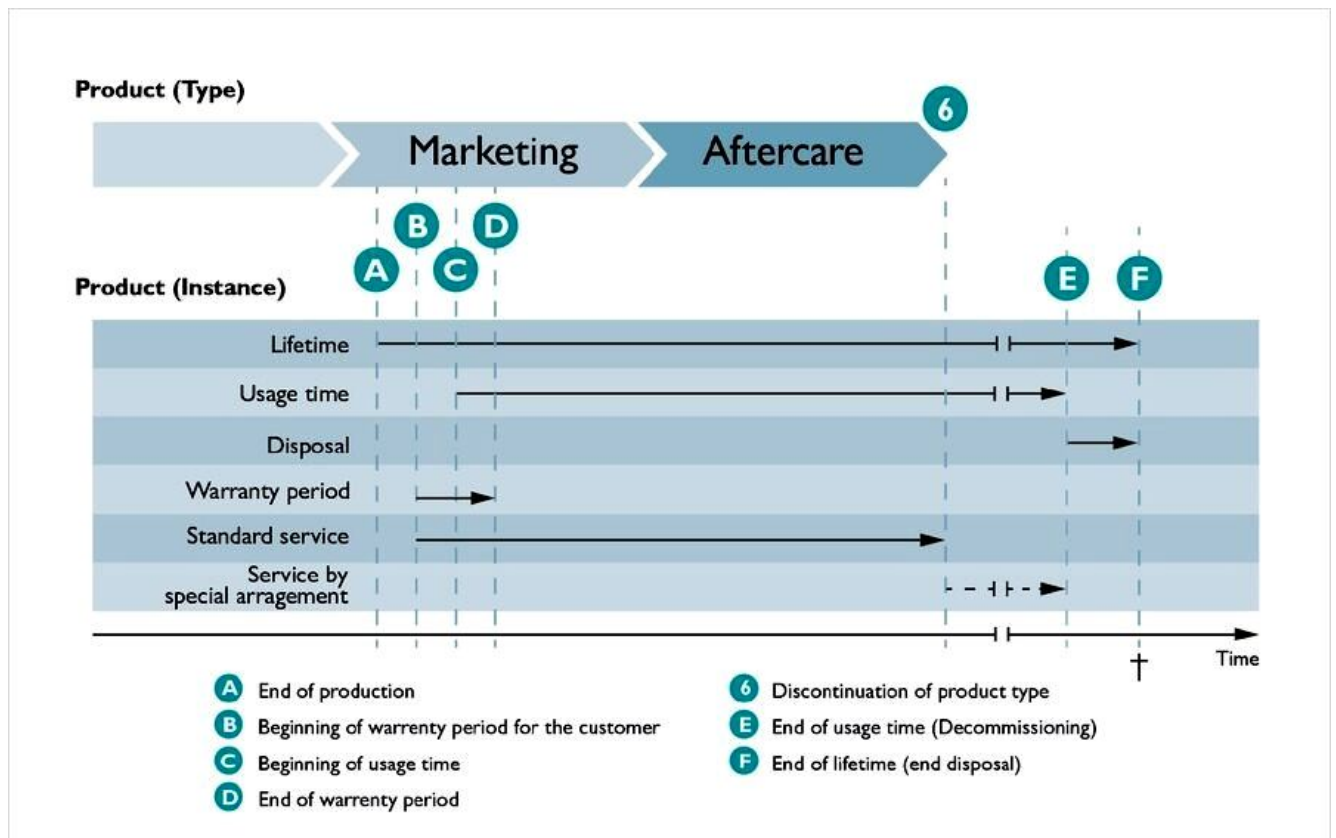


Рисунок 3.6 – Термін служби фізично використовуваного екземпляру виробу чи системи

Наступний приклад повинен пояснити формулювання задачі. Припустимо, що виробник клапана з убудованими датчиками використовує елементи, методи й виробничі кроки інших виробників, комбінуючи їх із власними процесами створення вартості (цінності) в ході проектування й виробництва (рисунок 3.7). Крім того, процес регулюється стандартами й індивідуальними вимогами замовника.

У результаті він одержує описаний цифровим способом тип виробу у версії 1.0, що, крім іншого, включає мікроконтролер у версії 3.1 виготовлювача чипа. Виробник машини встановлює клапан на установку, додавши сервісне програмне

забезпечення стороннього виробника у версії 10.0. У процесі проектування він визначає важливі для нього якості виробу в профілі використання даного типу клапанів. Потім користувач у випадку такої необхідності створює інший профіль, що відрізняється від виробу й профілю, створеного виробником

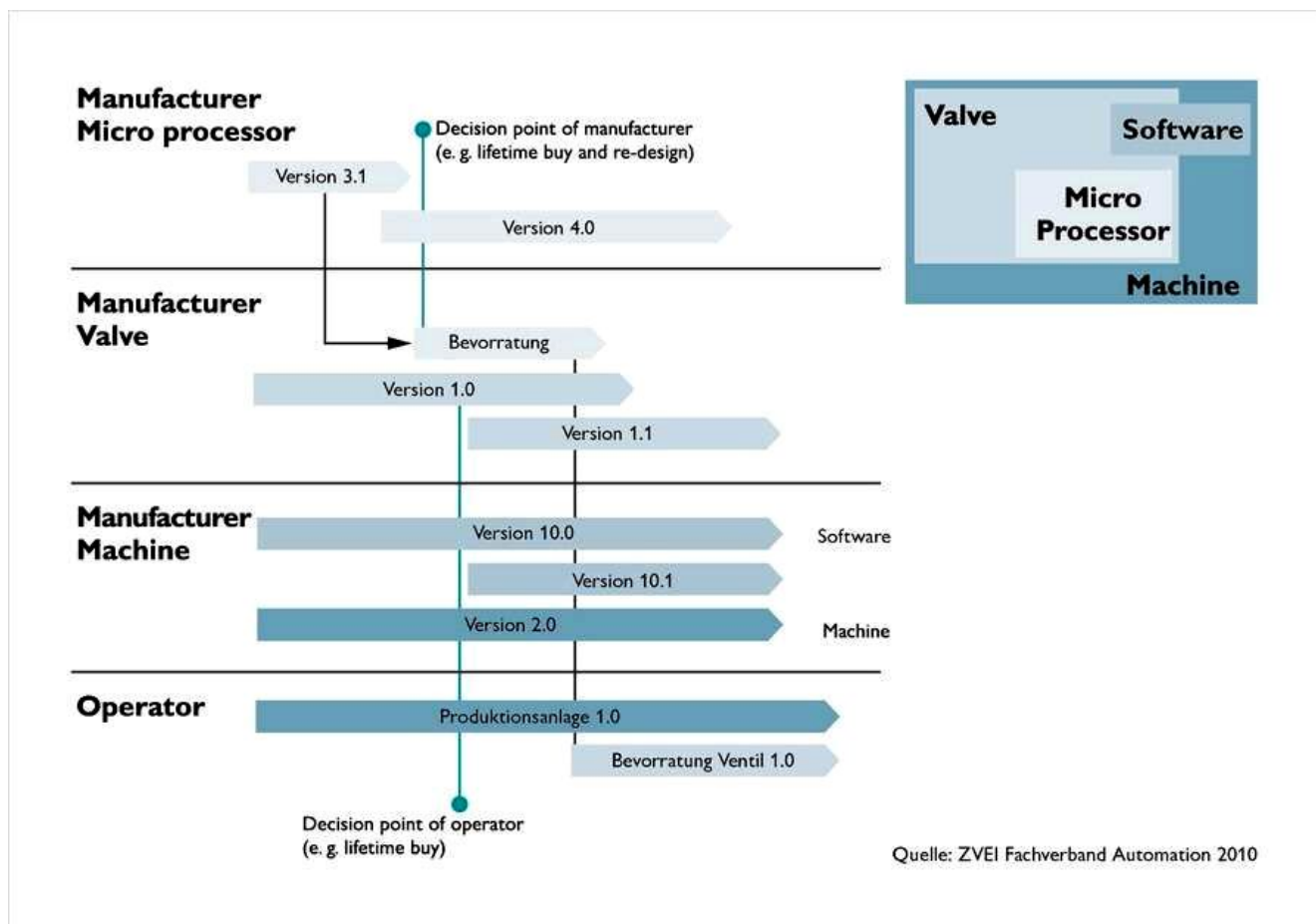


Рисунок 3.7 – Незалежне від виробника використання цифрового виробу

Якщо виготовлювач мікроконтролера замінює версію 3.1 версією 4.0, то виробник клапана повинен заново конструювати свій пристрій. Потім він пропонує його у версії 1.1, що має сумісні властивості по конструкції й набору функцій, а також розширеними можливостями. Коректуючи профіль сумісності, виробник машини сприяє подальшому використанню клапана й використовує додаткові функції, які він надає після відновлення сервісного програмного забезпечення до версії 10.1.

Для заміни несправного клапана виробник машини може використовувати як версію 1.0, так і версію 1.1. Крім того, необхідно виконати порівняння із власним профілем сумісності. Результатом може стати як односпрямоване

використання нової версії клапана, модернізація установки або відновлення програмного забезпечення, так і завантаження нової версії 1.0, щоб перекрити життєвий цикл установки. Для організації подібного процесу в рухливих системах Industrie-4.0 потрібний цифровий опис всіх вимог.

Таким чином, стрімкий перехід до цифрового формату приводить до такого розвитку описаного процесу, що ступінь складності збільшується за експонентою й може бути переборена тільки за рахунок однозначної інтеграції моделей життєвого циклу у використовувані системи.

Там, де вироби постійно змінюються й обновляються в результаті зміни ланцюжків постачальників, появи нових версій програмного забезпечення й додаткових функцій, стандартизація доповнюється активним контролем життєвого циклу. Таким способом можна управляти виробами на стадії їхнього створення й протягом усього терміну їхнього використання. Перераховані елементи життєвого циклу сприяють підвищенню безпеки інвестицій як з боку виробника, так і з боку користувача.

Ієрархічні рівні (Hierarchy Levels) представляють в моделі RAMI4.0 різні функціональні рівні «розумної фабрики», що засновані на стандартах IEC 62264 (ISA 95) та IEC 61512 (ISA 88) [43]. При цьому для уніфікованого опису, що охоплюватиме різні архітектури виробничих систем, ієрархічні рівні моделі RAMI4.0 не максимально точно відповідають рівням вказаних стандартів, проте, за необхідності можна вводити в проєкт конкретної системи і ті стандартні рівні, що відсутні в референтній моделі.

Рівень «Зв'язаний Світ» (Connected World) описує зв'язок між активом (ресурсом) або комбінацією активів (ресурсів) з іншим активом (ресурсом) чи комбінацією активів (ресурсів) іншої віддаленої інсталяції або компанії. Цей рівень представлений тільки у даній референтній моделі.

Рівень «Підприємство» (Enterprise) представляє будь-яку ділову організацію, ініціативу, підприємство або починання з означеною місією. Підприємство об'єднує одну або кілька майданчиків (sites). Воно відповідальне за визначення тих продуктів, які будуть вироблятися, на яких майданчиках та, загалом, яким чином.

Рівень «Робочі центри» (Work Centres) відображає той факт, що в залежності від типу виробничої системи (дискретна, періодична, неперервна), майданчики по різному можуть бути організовані у виробничі елементи вищого рівня (наприклад, виробнича лінія, зона зберігання, виробнича комірka). В RAMI4.0 усі такі елементи вищого рівня уніфіковані щодо концепції робочого центру для гарантування узгодженості рішення уздовж різних організаційних моделей. В результаті, робочі центри представляють вищий рівень елементу, що виконує виробничі функції та на який спрямоване планування та створення розкладів. Робочі центри мають добре визначені виробничі можливості та відповідні ємності (продуктивності). Робочий цент містить один або кілька робочих вузлів.

Рівень «Робочі вузли або станції» (Work Units or Station) представляє елементи нижчого рівня, що виконують виробничі функції та до яких застосовується планування та складання розкладів. Прикладом є робочі комірki для дискретних виробничих процесів або вузли процесу для періодичних виробничих процесів. Робочі вузли мають добре визначені можливості та ємності (продуктивності) і складаються з вузлів обладнання нижнього рівня, до яких не виконується планування та складання розкладів.

Рівень «Керуючий пристрій» (Control Device) представляє логічне управління з боку польових пристроїв.

Рівень «Польовий пристрій» (Field Device) представляє пристрій, інстальований на польовому рівні, який фізично взаємодіє з виробничим процесом та продуктом (продукцією), наприклад датчик або виконавчий механізм.

1). Рівень «Продукт» (Product) представляє продукт, який має бути виготовлений, або технологічне встаткування, яке виготовляє продукт.

Таким чином, в процесі цифрової трансформації АТП пакування в якості структурних компонентів для його порівнювального аналізу доцільно використовувати усі ті архітектурні компоненти, що відображені на референтній моделі RAMI4.0, а саме:

– компоненти, що розміщуються на різних ієрархічних рівнях системи

автоматизації (продукт, польовий пристрій, пристрій управління і т.д.);

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

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

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

На рисунку 3.8 та в додатку Б наведений алгоритм виконання студентом за участі викладача даної стадії цифрової трансформації, який пропонується для використання у новому КНЗ.

Як було вже відмічено вище, студент починає виконувати дану стадію цифрової трансформації, маючи повний комплект комп'ютерних моделей реального АТП та сформоване особисте уявлення про його будову та принцип дії.

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

Далі студент має розглядати кожний компонент у кожній групі послідовно на різних стадіях його життєвого циклу та потоку формування цінності (Life Cycle & Value Stream).

При цьому студентом для кожної стадії життєвого циклу та потоку формування цінності виконується порівняння властивості самого компоненту або властивості, що цей компонент надає існуючому реальному АТП, з, відповідно, властивостями «розумного виробництва» в цілому або з властивостями його аналогічного компоненту.

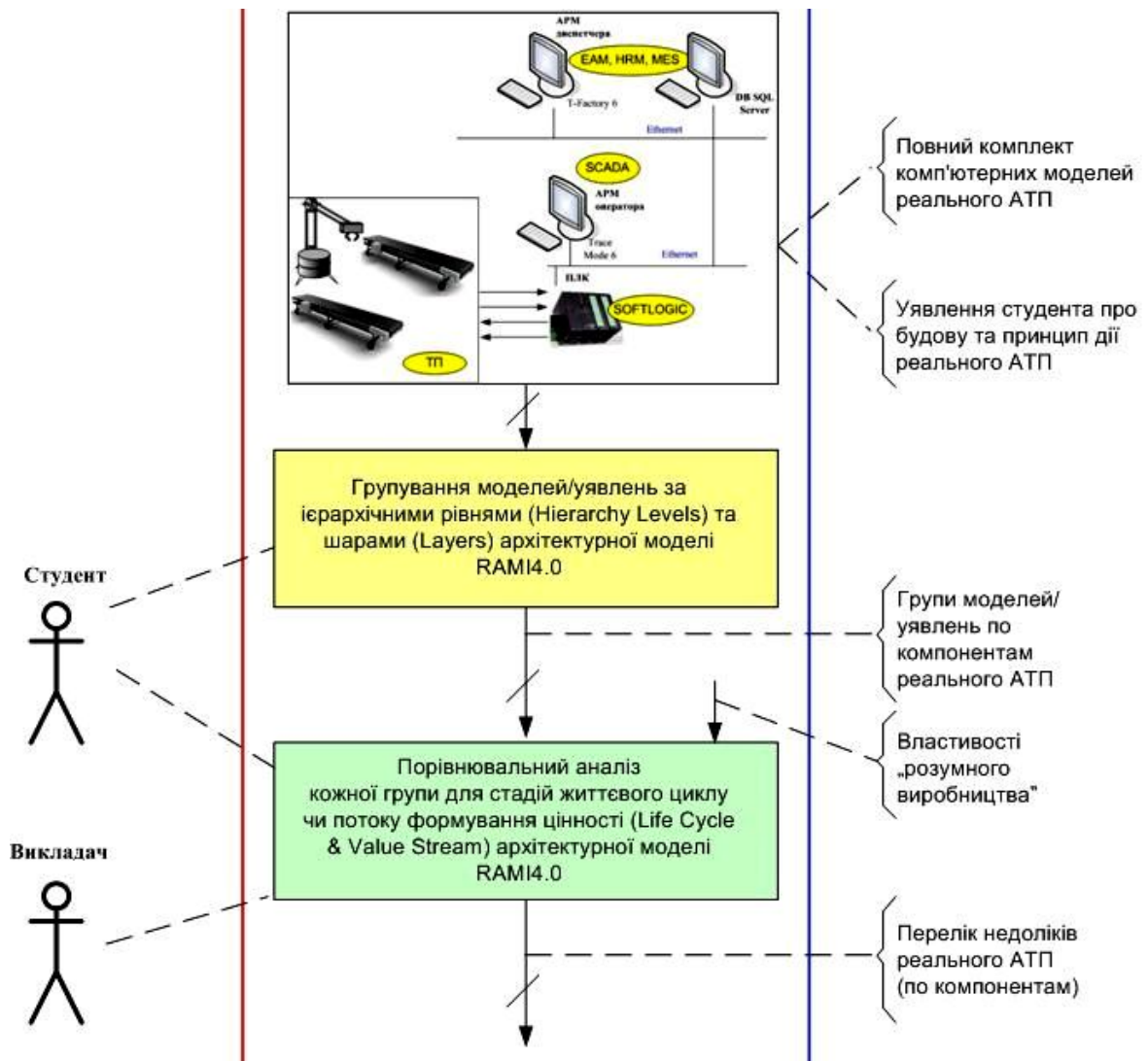


Рисунок 3.8 – Алгоритм виконання стадії «Аналіз реального АТП»

В результаті формується перелік виявлених недоліків існуючого реального АТП в цілому чи його компонентів у порівнянні з усім АТП «розумного виробництва» чи з окремими його компонентами, що відображені на референтній архітектурній моделі RAMI4.0.

### 3.3 Приклад виконання аналізу

Розглянемо приклад використання запропонованого алгоритму. Візьмемо довільний фрагмент існуючого реального АТП пакування, ізометрична модель

якого показана на рисунку 3.9. Вона відображує виконання роботизованої технологічної операції, яка передбачає зняття пакувальним роботом повної та закритої банки типу 1 чи 2 з конвеєра, коли ця банка досягає робочої зони робота. Такі банки до робота конвеєр переміщує з АТП дозування у тому порядку, як вони були поставлені на конвеєр робочими цього АТП.

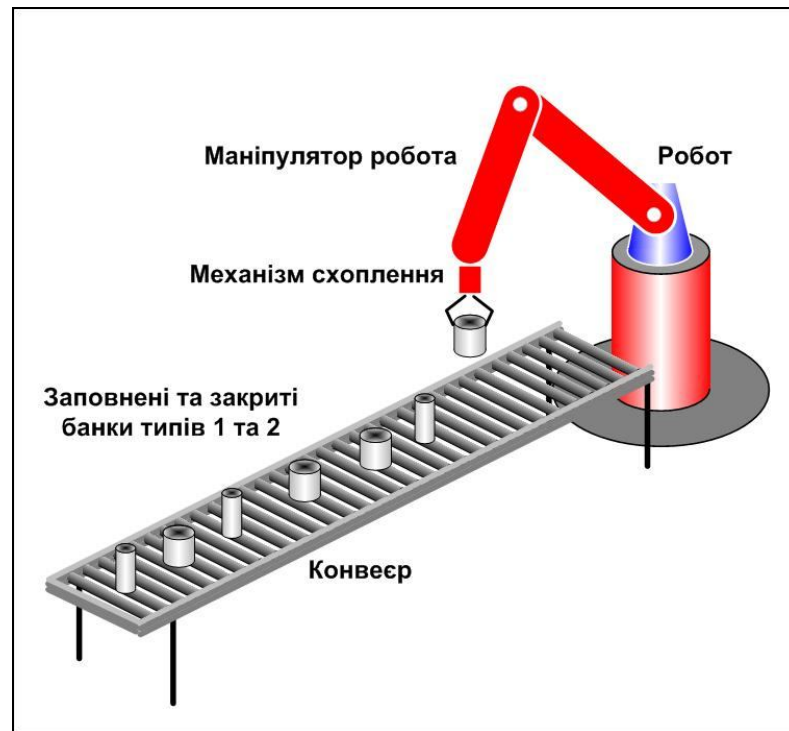


Рисунок 3.9 – Фрагмент реального АТП для виконання порівняльного аналізу

Спочатку, згідно з описаним вище алгоритмом, виділимо усі складові компоненти даного фрагменту існуючого АТП – пакувальний робот, що здійснює дану технологічну операцію (Робот), маніпулятор пакувального робота, який забезпечує потрібний набір рухів (Маніпулятор робота), механізм, який забезпечує спроможність робота схоплювати і утримувати банку (Механізм схоплення), конвеєр автоматичної подачі банок до робочої зони робота (Конвеєр) та два типа готової продукції – повна та закрита банка типу 1 (Продукція\_тип 1) та повна та закрита банка типу 2 (Продукція\_тип 2). Тепер розподілимо ці компоненти по групах у відповідності з ієрархічними рівнями (Hierarchy Levels) моделі RAMI4.0, як це показано на рисунку 3.10 та в додатку Б.

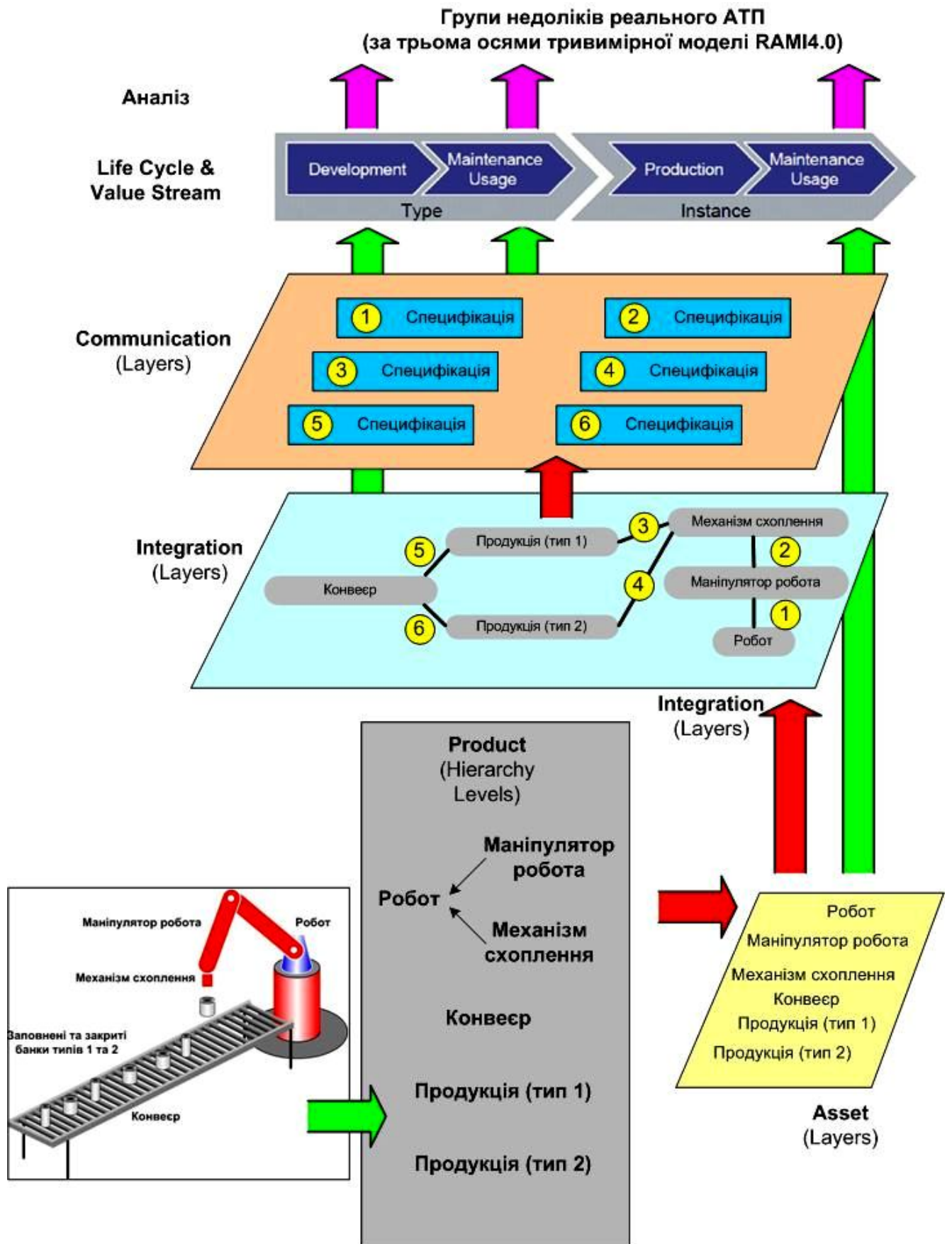


Рисунок 3.10 – Приклад виконання порівнювального аналізу для фрагмента реального АТП



В нашому прикладі усі виділені вище компоненти відносяться до одного рівня – «Product» (продукція, виробниче встаткування та виробничі системи).

Далі переходимо до вісі «Layers» моделі RAMI4.0, означуючи на ній відповідні активи/ресурси реального АТП, які важливі для ІТ - відображення реального АТП. Тут треба відмітити, що для нашого прикладу, беручи до уваги саме навчальну мету цих дій, ми вказуємо у шарі «Asset» вісі «Layers» тільки ці шість компонентів з ієрархічного рівня «Product». Якщо б в нашому прикладі був присутній компонент рівня «Control Device», який, наприклад, керує конвеєром або роботом, то в шарі «Asset» ми повинні були означити ще і ті цифрові дані, які використовує цей пристрій управління. Проте, в нашому прикладі такого керуючого пристрою немає, тому і не потрібно в шарі «Asset» вказувати такий актив/ресурс як цифрові дані.

Переходимо далі по вісі «Layers» у шар «Integration». Тут можна означити ті об'єднання компонентів (інтеграційні зв'язки), які важливі для функціонування даного фрагменту реального АТП. В нашому випадку важливі шість об'єднань вказаних компонентів:

- «Робот» та «Маніпулятор робота», що позначено як «1» (забезпечує потрібний ступінь свободи рухів);

- «Маніпулятор робота» та «Механізм схоплення», що позначено як «2» (забезпечує можливість заміни механізму у випадку кардинальної зміни типу продукції);

- «Механізм схоплення» та «Продукція (тип 1)», що позначено як «3» (забезпечує можливість надійного схоплення даного типу продукції та можливість адаптуватися до кардинальної зміни цього типу продукції);

- «Механізм схоплення» та «Продукція (тип 2)», що позначено як «4» (забезпечує можливість надійного схоплення даного типу продукції та можливість адаптуватися до кардинальної зміни цього типу продукції);

- «Конвеєр» та «Продукція (тип 1)», що позначено як «5» (забезпечує можливість розміщення на конвеєрі даного типу продукції та надійне її переміщення з заданою швидкістю, тобто без падіння та перекидання, до

пакувального робота;

– «Конвеєр» та «Продукція (тип 2)», що позначено як «б» (забезпечує можливість розміщення на конвеєрі даного типу продукції та надійне її переміщення з заданою швидкістю, тобто без падіння та перекидання, до пакувального робота.

Слід відмітити, що на практиці у шарі «Integration» для АТП «розумного виробництва» повинні відображатися зовсім інші об'єднання, а саме, інтеграція даного виробництва з віддаленими у мережі Інтернет іншими «розумними виробництвами» або з НМІ працівників. Тобто за визначенням модель RAMI4.0 не призначена для опису існуючого реального АТП, яке відноситься до І3.0. Але ми, виходячи тільки з навчально-методичних міркувань, свідомо змінюємо призначення даного шару моделі RAMI4.0 для того, щоб створити умови для подальшого виконання порівнювального аналізу існуючого реального АТП.

Тепер перейдемо у шар «Communication», де опишемо тим чи іншим способом властивості вказаних вище шести інтеграційних зв'язків – «1 Специфікація», «2 Специфікація», «3 Специфікація» і т.д.

В результаті всіх цих дій ми сформуємо такі групи компонентів існуючого реального АТП для проведення їх аналізу у порівнянні з властивостями «розумного виробництва»:

– «Робот», «Маніпулятор робота», «Механізм схоплення», «Конвеєр», «Продукція (тип 1)» та «Продукція (тип 2)» (компоненти ієрархічного рівня «Product» інтегрованої системи автоматизації);

– «Робот», «Маніпулятор робота», «Механізм схоплення», «Конвеєр», «Продукція (тип 1)» та «Продукція (тип 2)» (компоненти шару «Asset» вісі «Layers» ІТ – представлення інтегрованої системи автоматизації);

– «1», «2», «3», «4», «5» та «б» (компоненти шару «Integration» вісі «Layers» ІТ – представлення інтегрованої системи автоматизації);

– «1 Специфікація», «2 Специфікація», «3 Специфікація», «4 Специфікація», «5 Специфікація» та «6 Специфікація» (компоненти шару «Communication» вісі «Layers» ІТ – представлення інтегрованої системи

автоматизації).

Проведемо далі порівнювальний аналіз компонентів кожної з цих груп для окремих стадій їх життєвого циклу та потоку формування цінності, складаючи при цьому перелік недоліків існуючого реального АТП. Для прикладу далі наведемо тільки окремі з цих недоліків, які можна виявити в результаті такого порівнювального аналізу.

Спочатку розглянемо компоненти «Робот», «Маніпулятор робота» та «Механізм схоплення» рівня «Product» інтегрованої системи автоматизації. Порівнюючи їх для стадії використання (Usage) життєвого циклу можна виявити, що у порівнянні з властивістю/ознакою «Цифрова виробнича система» для І4.0 вони мають такий недолік – не обладнанні потрібними цифровими датчиками діагностики їх стану у реальному часі, що унеможлиблює своєчасне проведення профілактичних чи ремонтних робіт, а також прогнозування можливих сбоїв у їх роботі.

Якщо ж розглянути ті ж самі компоненти «Робот», «Маніпулятор робота» та «Механізм схоплення», але тепер у шарі «Asset» вісі «Layers» ІТ – представлення інтегрованої системи автоматизації), то для стадії проектування (Development) життєвого циклу можна виявити, що у порівнянні з властивістю/ознакою «Віртуалізація виробничого середовища» для І4.0 вони мають такий недолік – при проектуванні пакувального робота та його частин не використовувались цифрові моделі цих компонентів, що не дало змоги далі моделювати дії робота в режимі реального часу з прив'язкою до віртуального виробничого середовища, оптимізуючи ці дії або пристосовуючи їх до різних типів готової продукції на конвеєрі.

Далі, розглянувши інтеграційний зв'язок цих трьох компонентів, що відображений у шарі «Integration» вісі «Layers» ІТ – представлення інтегрованої системи автоматизації, то для стадії використання (Usage) життєвого циклу та у порівнянні з властивістю/ознакою І4.0 «Абсолютна гнучкість виробничих процесів» вони також характеризуються суттєвим недоліком – не мають модульну конструкцію для легкої та швидкої їх заміни при впровадженні на підприємстві кардинальної зміни або самого процесу пакування, або типу готової продукції,

або виду тари, у яку ця продукція має пакуватися. У певній мірі цей недолік є наслідком попереднього виявленого недоліку для стадії проектування цих компонентів - відсутність їх цифрових моделей та неможливість відповідного імітаційного моделювання дій робота у різних виробничих ситуаціях.

Якщо ж тепер розглянути такі компоненти як «Конвеєр», «Продукція (тип 1)» та «Продукція (тип 2)», то для стадії проектування (Development) життєвого циклу можна виявити, що у порівнянні з властивістю/ознакою «Віртуалізація виробничого середовища» для I4.0 вони також мають такий недолік, що при їх проектуванні не використовувались цифрові моделі цих компонентів, що не дало змоги далі моделювати, наприклад, переміщення готової продукції конвеєром на різних швидкостях, виявляючи при цьому умови, при яких продукція або зміщується на стрічці конвеєра, або перекидається, або взагалі падає з конвеєра. Цей недолік можна було б виявити і при порівнянні існуючого реального АТП з властивістю I4.0 «Абсолютна гнучкість виробничих процесів», тому що відсутність цифрових моделей при проектуванні нових типів продукції не дає можливість перевірки спроможності вже встановленого обладнання (конвеєр, пакувальний робот) взаємодіяти з цією новою продукцією, а значить при переході на нову продукцію можуть виникнути непередбачувані проблеми в ході наладки нового виробничого процесу.

Усі перелічені недоліки конкретного фрагменту існуючого реального АТП насправді складають невелику частку тих недоліків, які можна було б виявити шляхом ретельного порівнювального аналізу усіх компонентів АТП за описаним вище алгоритмом. Тобто навчальний потенціал даної стадії практичного виконання студентом цифрової трансформації дуже значний.

### **3.4 Висновки до розділу 3**

В результаті виконання дослідницьких та проектних робіт у даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи було сформоване загальне бачення процесу виконання стадії «Аналіз реального автоматизованого ТП» при практичному

вивченні цифрової трансформації ТП пакування готової продукції. На основі цього бачення був розроблений детальний алгоритм виконання робіт студентом та викладачем в рамках даної стадії практичного навчання. Для пояснення практичного виконання такого алгоритму наведений приклад процесу виконання аналізу існуючого АТП пакування та виявлення його недоліків у порівнянні з властивостями/ознаками «розумного виробництва» І4.0.

## 4 ЗАКЛЮЧНА СТАДІЯ ПРАКТИЧНОГО ВИВЧЕННЯ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ РЕАЛЬНОГО АТП

### 4.1 Означення основних діяльностей

На цій стадії практичного вивчення процесу цифрової трансформації реального АТП пакування готової продукції студент та викладач мають виконувати дії згідно з певним алгоритмом для досягнення кінцевої мети – набуття студентом потрібного обсягу теоретичних знань та практичного досвіду, достатніх для самостійного виконання цифрової трансформації реального промислового підприємства, де студент потім буде працювати (рисунок 4.1). Виконання даної стадії практичного вивчення починається з етапу «Пошук способу цифрової трансформації існуючого реального АТП». Цей АТП побудований за концепцією І3.0 і тому має суттєві недоліки, що виявлені на попередній стадії. Тому в результаті його цифрової трансформації потрібно отримати більш досконалий АТП пакування, побудований вже за концепцією І4.0. Даний етап студент повинен виконувати самостійно, але викладач має обов'язково надавати йому відповідний навчально-методичний матеріал, консультації та додаткові роз'яснення.

Після того, як студент намітить шляхи вдосконалення реального АТП пакування, вибравши відповідний спосіб чи способи цифрової трансформації, він має обґрунтовано вибрати І4.0 цифрову технологію чи технології, які дозволять реалізувати ці вдосконалення. Щоб кваліфіковано здійснити цей вибір студент обов'язково повинен ретельно дослідити предметну область І4.0 промислової автоматизації, використовуючи при цьому як доступні ресурси Інтернет, так і наявні навчально-методичні матеріали, підготовлені викладачем в рамках відповідної професійної дисципліни або проектного практикуму.

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

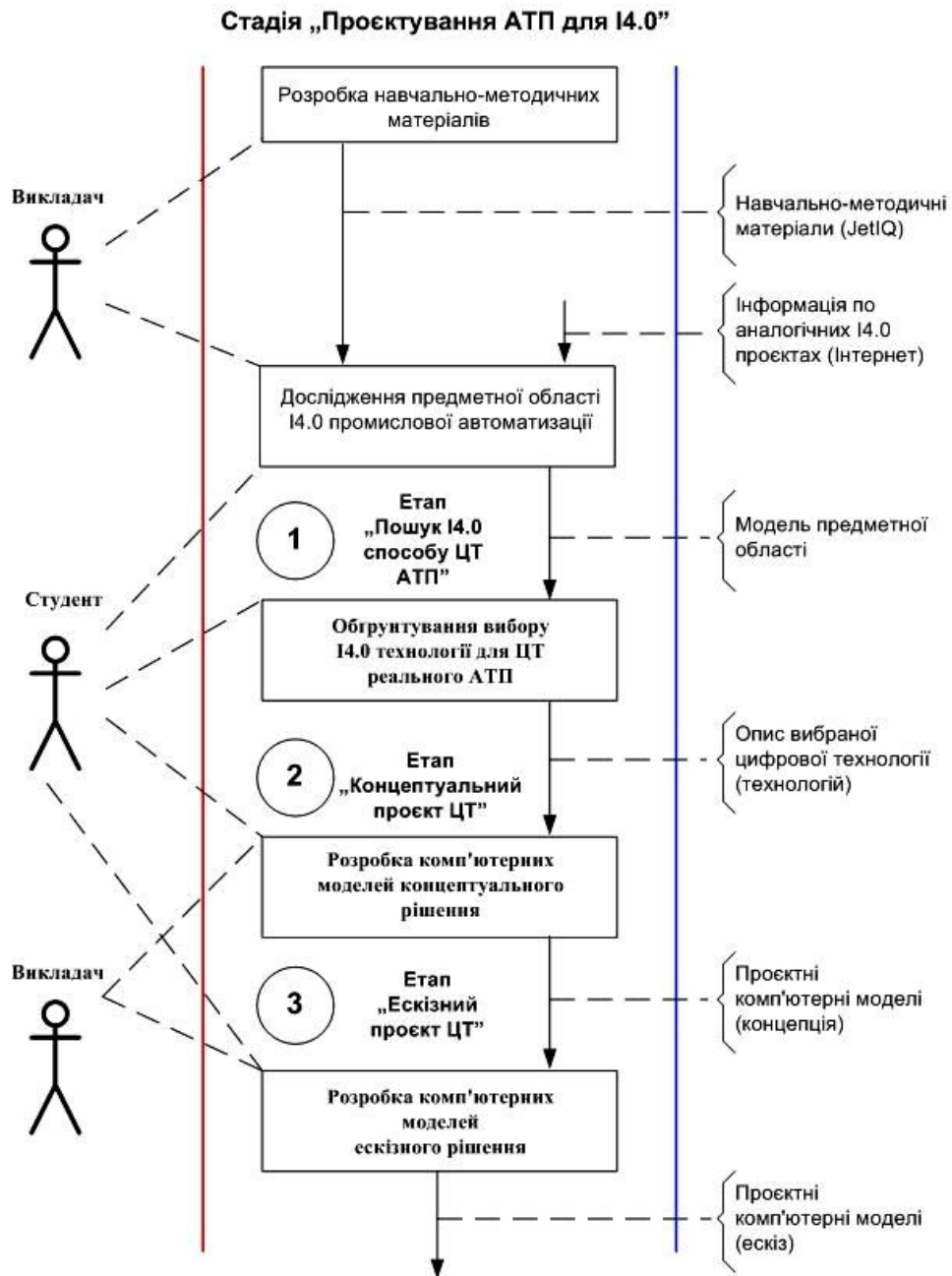


Рисунок 4.1 – Алгоритм виконання заключної стадії практичного вивчення цифрової трансформації реального АТП

використовувати як доступні хмарні сервіси цифрового моделювання того чи іншого виду, так і наявні локальні програмні засоби такого моделювання. Готовий проєкт, що відображає запропоноване концептуальне рішення цифрової трансформації реального АТП пакування, буде першим результатом практичного вивчення студентом процесу цифрової трансформації за допомогою нового КНЗ. Бажано, щоб цей практичний результат студент отримав в ході навчального

процесу бакалаврського рівня підготовки, наприклад, це може бути навчальний процес у рамках професійної дисципліни «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва».

Якщо студент продовжить навчання в магістратурі вузу, то він зможе на основі описаного вище концептуального рішення цифрової трансформації реального АТП пакування продовжити практичне вивчення його цифрової трансформації, виконуючи наступний його етап – «Розробка ескізного проєкту цифрової трансформації реального АТП». Цей етап характеризується більшою деталізацією проєктних рішень і також передбачає активне використання студентом як доступних хмарних сервісів цифрового моделювання того чи іншого виду (наприклад з цифровою симуляцією поведінки трансформованого АТП), так і наявних локальних програмних засобів такого моделювання. Результатом діяльності студента на цьому етапі стане ескізний проєкт цифрової трансформації реального АТП пакування, який повинен бути представлений у вигляді відповідних комп'ютерних моделей статичної та динамічної трансформованого АТП пакування. Усі розроблені студентом комп'ютерні моделі ескізного проєкту повинні мати формат, що дозволить викладачу без проблем переглядати їх або на комп'ютерах навчальної лабораторії, або на доступних хмарних сервісах цифрового моделювання, або за допомогою наявних локальних програмних засобів моделювання. Таким чином, ескізний проєкт стане заключним результатом практичного вивчення цифрової трансформації реального АТП пакування на новому КНЗ. Цей практичний результат може бути досягнутий або в рамках професійної дисципліни магістерського рівня підготовки, наприклад, «Промисловий Інтернет речей», або в рамках відповідного проєктного практикуму.

#### **4.2 Дослідження предметної області I4.0 промислової автоматизації**

Ця діяльність є однією з найбільш складних та тривалих в ході виконання



даної стадії цифрової трансформації реального АТП. Вона пов'язана не тільки з трудомістким процесом збирання потрібної інформації та її відповідного оброблення, але і з процесом поступового її осмислення студентом, в результаті чого обсяг накопичених студентом теоретичних знань має перерости у відповідну якість – здатність самостійно використовувати ці знання при практичному вирішенні конкретної задачі цифрової трансформації.

Тому для дослідження предметної області І4.0 промислової автоматизації треба спочатку вибрати той науковий метод дослідження, за яким студент, використовуючи доступні інформаційні ресурси, зможе отримати потрібний результат. На наш погляд, найкращим науковим методом для даного дослідження є метод онтологічного аналізу, який дозволяє на основі вибраної концепції досить швидко виявити базові поняття предметної області (базові об'єкти) та базові відношення між ними (базові «зв'язки»). Якщо ж студент в ході дослідження буде ще і будувати відповідну графічну концептуальну модель предметної області, то це принесе йому ще більше користі в процесі осмислення інформації та формування глибокого розуміння суті І4.0 промислової автоматизації.

На рисунку 4.2 наведений варіант побудови такої графічної концептуальної моделі предметної області І4.0 промислової автоматизації. В якості відправної точки її будування вибране класичне означення промислової кіберфізичної системи (КФС), яка є фундаментом промислової автоматизації за концепцією І4.0, – «Кіберфізична система промислової автоматизації – це людська праця, «розумні» машини й транспорт, інтегровані в єдиному цифровому просторі за допомогою мереж, «розумних» пристроїв, сенсорних систем, аналітичних платформ і хмарних обчислень» [35]. Усі наведені у цьому означенні поняття (базові об'єкти) зв'язані між собою класичними відношеннями (базові «зв'язки»), які відображені на класичній графічній моделі предметної області промислових КФС. Ця класична модель на рисунку 4.2 розміщена в середині моделі у площині базових об'єктів та «зв'язків» І4.0.

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

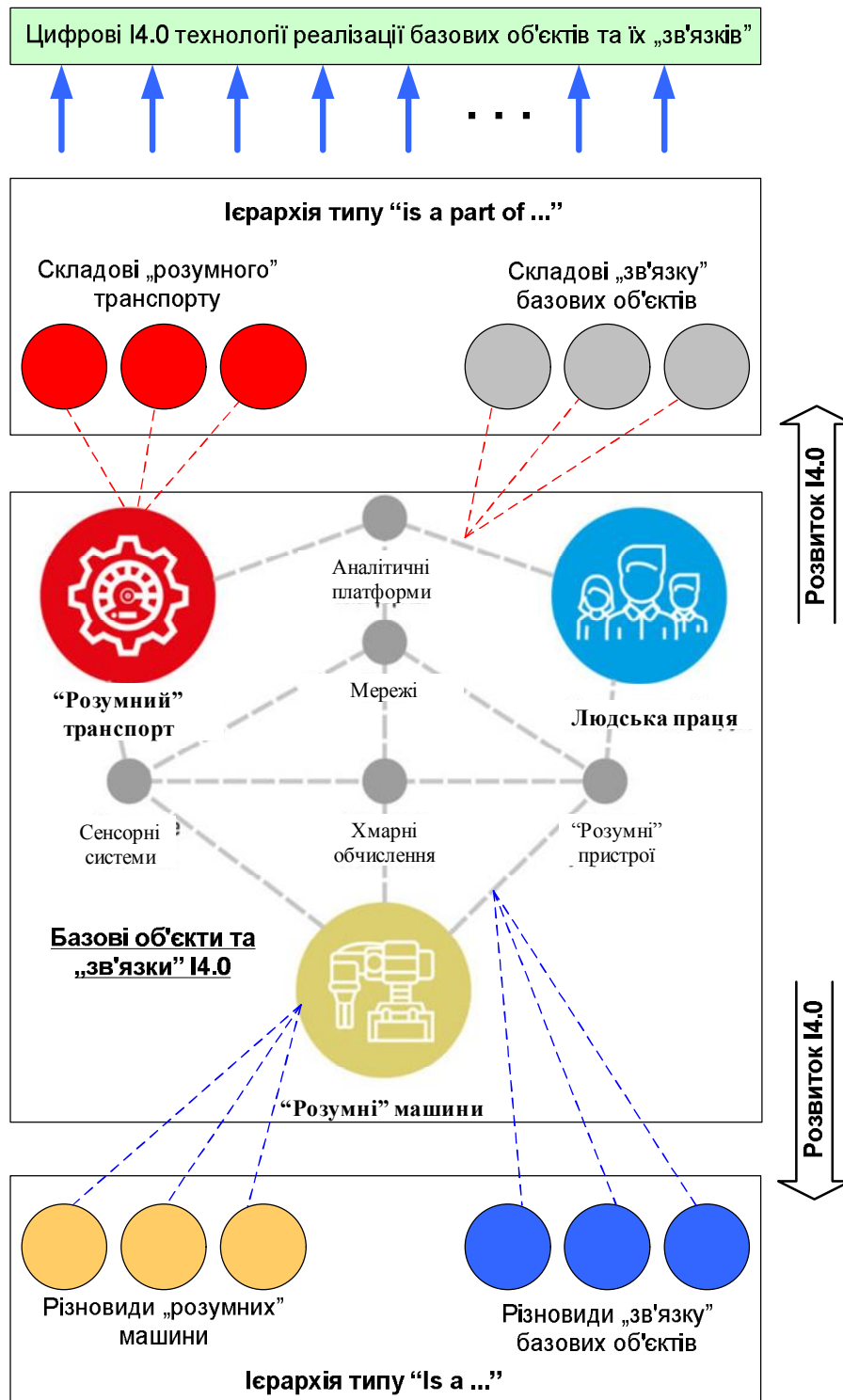


Рисунок 4.2 – Варіант графічної концептуальної моделі предметної області І4.0 промислової автоматизації

Знизу розміщена площина, у якій відображаються різновиди базових об'єктів та «зв'язків», які поступово виявляються в ході онтологічного аналізу предметної області. Тобто ці відображення зв'язані з базовими об'єктами та

«зв'язками» через ієрархію типу «is a ...» («є ... (чимось)»). По мірі розвитку І4.0 промислової автоматизації кількість варіантів базових об'єктів та «зв'язків» стрімко збільшується, що пояснюється і новими областями застосування ідей четвертої промислової революції, і швидкою появою нових цифрових технологій, які уможливають реалізацію нових варіантів І4.0 об'єктів та «зв'язків».

Зверху в моделі на рисунку 4.2 поміщена площина, у якій відображаються складові базових І4.0 об'єктів та «зв'язків». Тобто ці відображення зв'язані з базовими об'єктами та «зв'язками» через ієрархію типу «is a part of ...» («є частиною ... (чогось)»). Це найбільш змінювана за контентом область даної моделі, бо швидка поява нових цифрових технологій та розширення областей цифрової трансформації промислового виробництва призводять до інших технічних рішень вихідних базових І4.0 об'єктів та «зв'язків». Наприклад, нещодавно з'явилося нове поняття, яке означено як «АІоТ», тобто додані «розумні» пристрої автоматизації, які підключені до Інтернету речей (одна складова), виконують свої функції на основі реалізованих в них алгоритмів штучного інтелекту (друга складова). Такого інтегрованого виконання «розумних» пристроїв раніше не було.

Яким же чином студент може далі використовувати таку графічну концептуальну модель предметної області? По-перше, в ході оброблення інформації він вже може виявляти практичні задачі, які вирішувались при цифровій трансформації аналогічних АТП. При цьому він буде бачити у який спосіб вирішувались проблеми цих АТП (шлях цифрової трансформації). По-друге, студент буде бачити, які саме цифрові технології вирішують аналогічні задачі (на рисунку 4.2 показано угорі). По-третє, коли кількість осмисленої інформації перейде у якість, то студент зможе генерувати власні проєктні ідеї.

Для прикладу розглянемо аналіз деякої статті у науково-технічному журналі, що присвячена питанням впровадження ідей «Індустрія 4.0» на виробництві. Далі у лапках наведена частина тексту цієї статті. «Для реалізації системи «розумного виробництва» й концепції «Індустрії 4.0» потрібна велика кількість сучасних розробок, що включають у себе програмно-апаратний комплекс рішень. Мережа управління, на відміну від звичайної мережі, чутлива

до часу проходження сигналу, а передача сигналів між комп'ютерами повинна відбуватися блискавично без яких-небудь затримок, щоб уникнути потенційного пошкодження продукції або травм персоналу. Чутливі до часу мережі організуються по провідній системі через кабелі Ethernet.

Використання Інтернету речей і адаптація даної технології для використання в промисловості (отримала назву «промисловий Інтернет речей») робить граничні кінцеві точки інтелектуальними, забезпечуючи обмін даними між комп'ютерами по фізичній або бездротовій мережі, що дозволяє уникнути потенційних затримок і втрат при роботі через головний центр управління.

Використання даних, зібраних з датчиків і виходів обладнання підприємства, може бути використане для створення бази статистичних даних для подальшого прийняття рішень по процесах. Цей відкладений у часі аналіз використовується для обґрунтування довгострокових рішень і виявлення проблем більш високого рівня. Наприклад, .... ознаки нестабільної роботи, що вказують на очікувану найближчим часом відмову обладнання, тому може бути завчасно замінений, щоб запобігти обов'язкового простою всієї виробничої лінії.

Штучний інтелект у системах розумного виробництва обробляє дані, що надходять з датчиків і виходів обладнання, і робить відповідні дії залежно від результату обробки даних. На відміну від концепції великих даних, де дані збираються для подальшого аналізу, що проходить, як правило, у віддаленому Центрі обробки даних (ЦОД), штучний інтелект прагне негайно приймати рішення або посилати сигнал відповідальному персоналу, ґрунтуючись на поточних показаннях. Наприклад, можна використовувати системи відеоспостереження для визначення зон обмеженого доступу й подачі сигналу тривоги співробітникам охорони у випадку несанкціонованого проникнення в цю зону....».

В такому невеликому тексті вже можна виявити цілу купу сучасних цифрових технологій, які відіграють ключову роль у цифровій трансформації виробництва. Ті поняття та окремі словосполучення, що вказують на існуючу І4.0 цифрову технологію, відмічені підкреслюванням. По суті, це дороговкази подальшого дослідження даної предметної області.

### 4.3 Ескізний проєкт початкової стадії цифрової трансформації АТП

У розділі 1 розглядалась найбільш поширена зараз стратегія цифрової трансформації існуючого виробництва, яка передбачає покрокове виконання цього процесу – спочатку проєктуються та реалізуються рішення, які не вимагають великих коштів та витрат часу, але призводять до реального поліпшення справ на виробництві, потім виконуються наступні кроки, що пов'язані вже з реалізацією більш глибоких змін як процесів виробництва, так і діяльності людей, знову отримуються позитивні результати і т.д. Саме за цією стратегією студенти і мають виконувати проєктні роботи на новому КНЗ в ході практичного вивчення цифрової трансформації існуючого реального АТП пакування.

В якості прикладу такого проєктування на початковій стадії цифрової трансформації розробимо ескізний проєкт, який буде усувати один з недоліків існуючого реального АТП, що означений в попередньому розділі роботи. Так в ході аналізу даного АТП були розглянуті на рівні «Product» інтегрованої системи автоматизації три його компоненти – «Робот», «Маніпулятор робота» та «Механізм схоплення». Порівнюючи властивості цих компонентів на стадії використання (Usage) зі змістом І4.0 властивості/ознаки «Цифрова виробнича система», був виявлений суттєвий їх недолік – відсутність автоматичної діагностики їх станів у режимі реального часу, що не дає змоги фахівцям підприємства у разі необхідності вчасно виконати або профілактичні, або ремонтні роботи, а також прогнозувати можливі збої у їх роботі чи поломки.

Складність цієї задачі полягає в тім, що промисловий робот має досить складну конструкцію. Тому в процесі його роботи генерується великий обсяг цифрової інформації, яку досить важко аналізувати в режимі реального часу. Проте робити це треба обов'язково задля того, щоб проблеми, які вже існують в промисловому роботі чи можуть виникнути у найближчому майбутньому, можна було вирішити ще до того, як вони призведуть до відмови усього технологічного обладнання, відповідних простоїв та додаткових витрат.

У своїй самій узагальненій формі будь-який промисловий робот

складається з маніпулятора й контролера. Маніпулятор, часто називаний роботизованою рукою, рухається, обертається й виконує різні дії. Контролер пускає промисловий робот в хід і управляє його маніпулятором [44]. Окремі сегменти кожного робота-маніпулятора з'єднані механічними шарнірами, кожний з яких забезпечує вісь руху. Типовий маніпулятор має шість рухливих з'єднань або шість осей руху. Кожна вісь, переміщувана високоточним серводвигуном або кроковим двигуном, обмежена певним діапазоном руху. Крім того, кожна вісь рухається з різною швидкістю, що часто вказується в специфікаціях як градуси переміщення за секунду. Чим більше діапазон рухів і вище максимальна швидкість суглоба, тим вище ступінь точності, необхідної для управління рухом. Необхідність жорсткої координації й високої точності рухів призводить також до різкого збільшення обсягу робочих даних, отримуваних з кожного датчика маніпулятора в режимі реального часу, які і треба реєструвати та аналізувати для виявлення аномалій в діях маніпулятора та прогнозування можливих його поломок..

Для вирішення такої задачі на «розумному виробництві» зазвичай застосовується відповідна технологій штучного інтелекту (ШІ) [45-47]. Саме ШІ обробляє дані, що надходять з датчиків, і вживає відповідні дії залежно від результату такої обробки даних. На відміну від концепції великих даних (Big Data), де дані збираються для подальшого аналізу, як правило, у віддаленому Центрі обробки даних (ЦОД), прикладні задачі на основі ШІ націлені на те, щоб негайно приймати рішення або надсилати сигнал відповідальному персоналу, ґрунтуючись на поточних висновках моделі. Класичний цикл розробки такої моделі (рисунок 4.3), як правило, передбачає два етапи оцінки достатності її точності на тестових вибірках: валідація й «сліпе» тестування. Задача «сліпого» тестування полягає в тім, щоб переконатися, наскільки точно модель описує поведінку технологічного обладнання і як точно вона розраховує підсумкове значення по заданій метриці.

Для проведення експерименту з моделлю ШІ на промисловому обладнанні необхідно інтегрувати цю модель у виробничий процес і по її рекомендаціях, наприклад, вживати відповідні заходи. Модель при цьому працює

з реальними робочими даними і у режимі реального часу. Проте, якщо у виробничому процесі буде задіяна людина (оператор, робочий), то її можливий вплив на дії технологічного обладнання призводить до зміни даних реального часу, які обробляє модель ШІ, а це може призвести до помилкових її висновків.

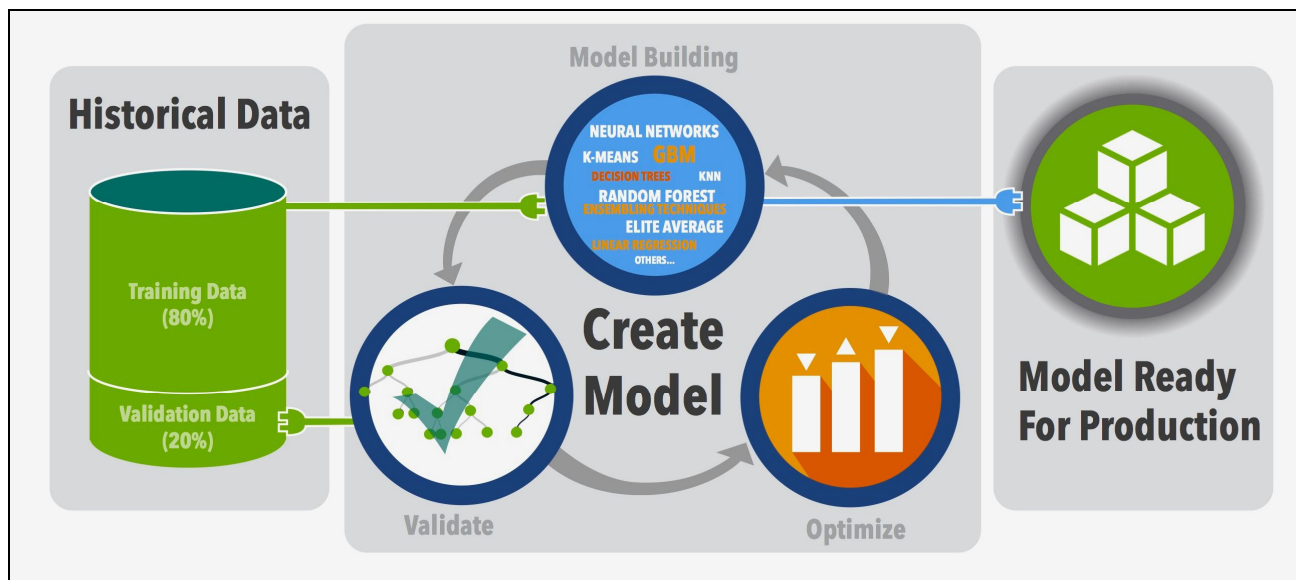


Рисунок 4.3 – Класичний цикл розробки моделі при машинному навчанні

Тому саме експеримент на реальному виробництві і дозволяє визначати вузькі місця у вихідній вибірці даних. Крім того, може виявитися, що одних тільки методів машинного навчання (Machine Learning, ML) недостатньо для обробки всіх масивів даних, пов'язаних з функціонуванням технологічного обладнання у різних режимах. У такому випадку потрібно вміло застосовувати евристичні методи, тобто сполучати фізико-математичні моделі з ML-алгоритмами.

Невеликі натурні експерименти рекомендується регулярно проводити на всіх стадіях проекту на основі ШІ, оцінюючи реальний обсяг даних, придатних для моделювання, що дозволить максимально швидко перебудовувати процес розробки моделі, концентруючись лише на алгоритмах, застосованих у реальному виробництві.

Важливим питанням при застосуванні ШІ є вибір методу аналітичної обробки. Є методи різного рівня складності, і часто при рішенні задачі виникає

бажання почати відразу із самого складного з них - наприклад, з нейромереж, які є універсальним засобом апроксимації. Однак є дві причини, по яких не треба цього робити [48]. По-перше, прості методи (дерева рішень, випадковий ліс або метод найближчих сусідів) швидше настроюються на даних, що дозволяє швидше одержати перші результати прогнозування. По-друге, прості методи ML легше інтерпретувати - використовуючи більш просту й наочну модель, простіше зрозуміти логіку їхньої роботи й пояснити, чому для кожного набору ознак був отриманий той або інший прогноз. Простота інтерпретації дозволяє краще зрозуміти внутрішні залежності в даних - які типи ознак найбільше впливають на прогноз, який тип цього впливу (лінійний, нелінійний, самостійний або в сукупності з іншими ознаками). Це дозволяє відібрати для прогнозування найбільш значимі ознаки, а потім використати їх у більш складних моделях.

Визначимо тепер ті набори цифрових даних, які можна збирати з пакувального робота існуючого реального АТП 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 4.4 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).

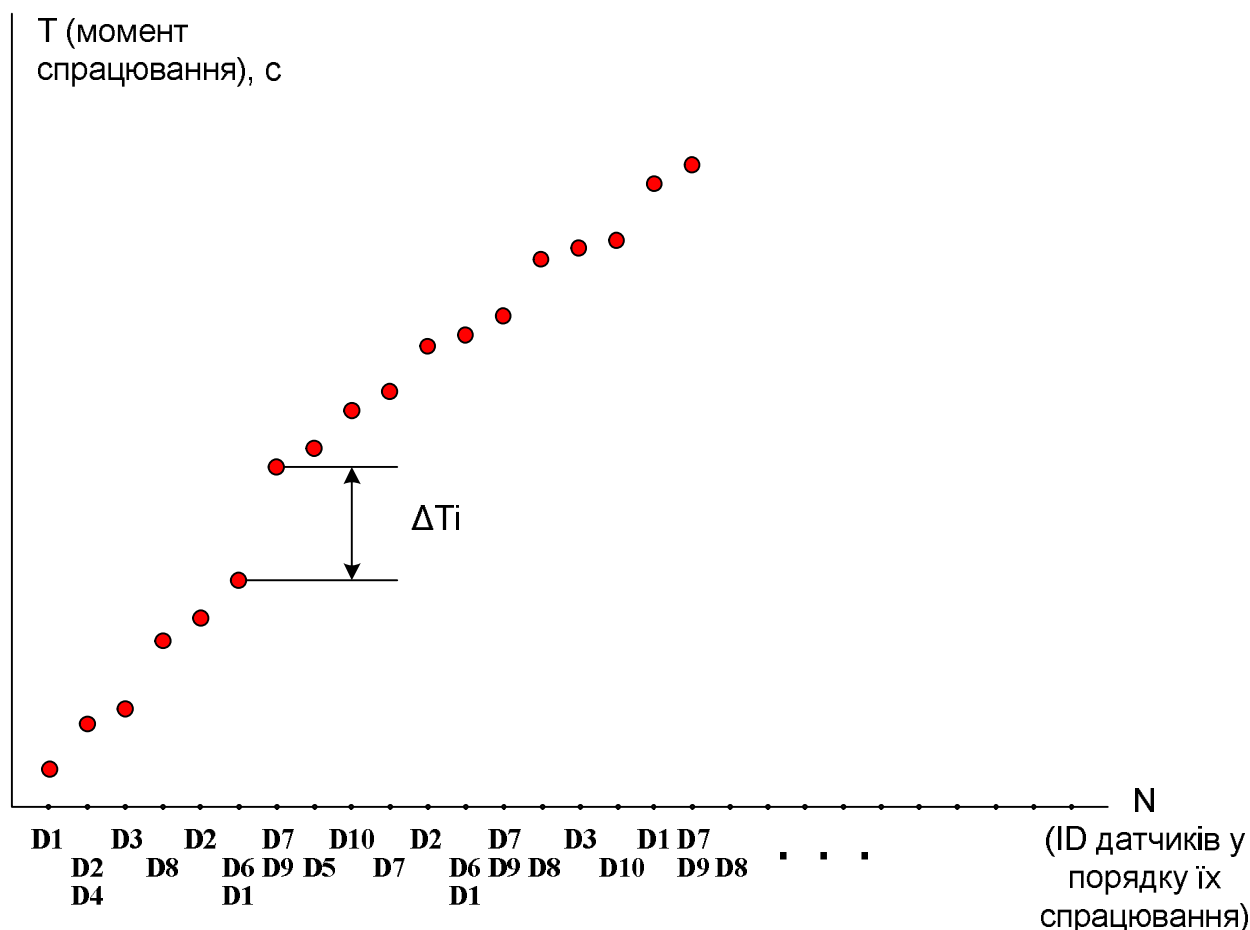


Рисунок 4.4 – Набір даних по одній технологічній операції робота

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  $\Delta T_i$ ). 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.

Як же можна реалізувати таку прикладну задачу цифрової трансформації?

Однією з найбільш розповсюджених цифрових технологій, за допомогою якої зараз вирішуються аналогічні задачі, є «Хмарні платформи промислового Інтернету речей (IIoT)». Одну з таких платформ, а саме «ThingWorx Foundation» від компанії PTC, ми на практиці вивчали в дисципліні «Промисловий Інтернет речей» магістерського рівня підготовки (рисунок 4.5) [49, 50].

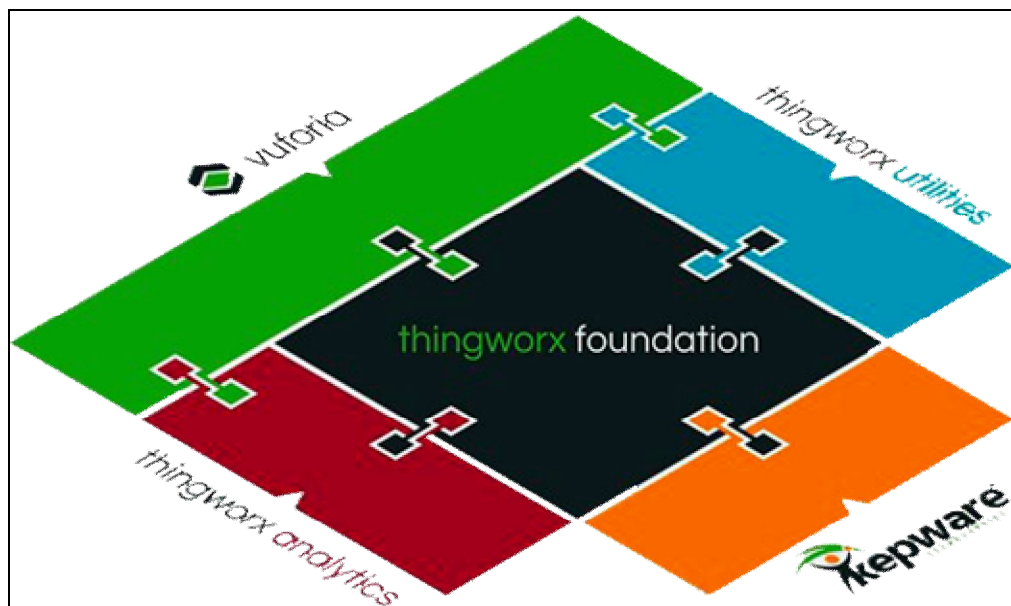


Рисунок 4.5 - Загальна архітектура платформи «ThingWorx Foundation»

Тому для ескізного проєктування наміченої вище цифрової трансформації існуючого реального АТП пакування застосуємо саме цю хмарну платформу. Основою інформаційної моделі платформи «ThingWorx Foundation» слугує багатофункціональна масштабована структура даних «інтелектуальний об'єкт» (smart thing, "розумна річ"). Архітектура платформи – гнучка модульна збірка. Режим використання платформи передбачається як в традиційному виді "клієнт-сервер", так і у варіанті "віддалене звертання", "хмарне рішення" [50].

Ядро платформи «ThingWorx Foundation» містить таку важливу складову як база даних по інформаційній моделі виробничих процесів та "розумних" об'єктів, для яких виконується цифрова трансформація. Зазвичай розробка інформаційної моделі цифрового виробництва на платформі «ThingWorx Foundation» виконується на основі постачених разом з ядром універсальних

шаблонів об'єктів, датчиків, процесів, інтерфейсів. Для зв'язку з контрольованими інтелектуальними об'єктами, які відсутні у стандартних наборах шаблонів ядра, з різноманітними автономними сенсорними пристроями, радіопередавачами, сканерами, датчиками температури, вологості, солонуватості, лужності, диму і т.д., служить сервер «ThingWorx Connectivity». Для роботи з потоком "великих даних" ("Big Data") і необхідною при цьому аналітикою слугує сервер «ThingWorx Analytics». Сервер вже містить шість базових сертифікованих алгоритмів ML. Вже в такій базовій комплектації розгортання на платформі «ThingWorx Foundation» аналітики по роботі з потоком даних, що надходять від зовнішніх підключених інтелектуальних пристроїв (сенсорів, передавачів сигналів тощо) дозволяє перейти до реального вирішення прикладних задач діагностики та прогнозування. Сервер «ThingWorx Utilities» слугує для реалізації спеціалізованої функціональності та розширення можливостей розробки на базі платформи «ThingWorx Foundation», наприклад, для управління активами, ризиками, потоками задач та ролеве управління, а середовище розробки сервера «ThingWorx Utilities» дозволяє описувати специфічні управлінські задачі користувача та виконувати інтеграцію користувальницьких IoT-додатків з управлінськими модулями зовнішніх систем. На рисунку 4.6 показані ті основні компоненти платформи «ThingWorx Utilities», які використовуються при розробці таких додатків.

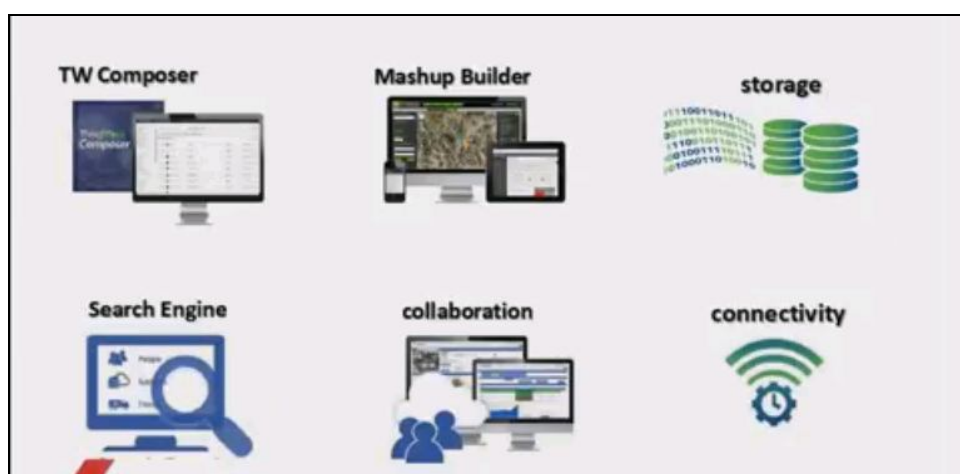


Рисунок 4.6 – Компоненти «ThingWorx Foundation» для розробки IoT-додатків

Інструментальне середовище "ThingWorx Composer" спрощує процес моделювання речей (Things), бізнес-логіки (Business Logic), візуалізації (Visualization), сховищ даних (Data Storage), взаємодій (Collaboration) та засобів безпеки (Security), що потрібно робити для підключення додатків до програмних модулів платформи «ThingWorx Foundation». Компонент «Mashup Builder» дозволяє методом "drag and drop" швидко створювати насичені інтерактивні додатки, постачені графічними панелями реального часу, робочими зонами організації взаємодій з іншими програмними модулями платформи (аналітика, доповнена реальність) та мобільними інтерфейсами (рисунок 4.7).

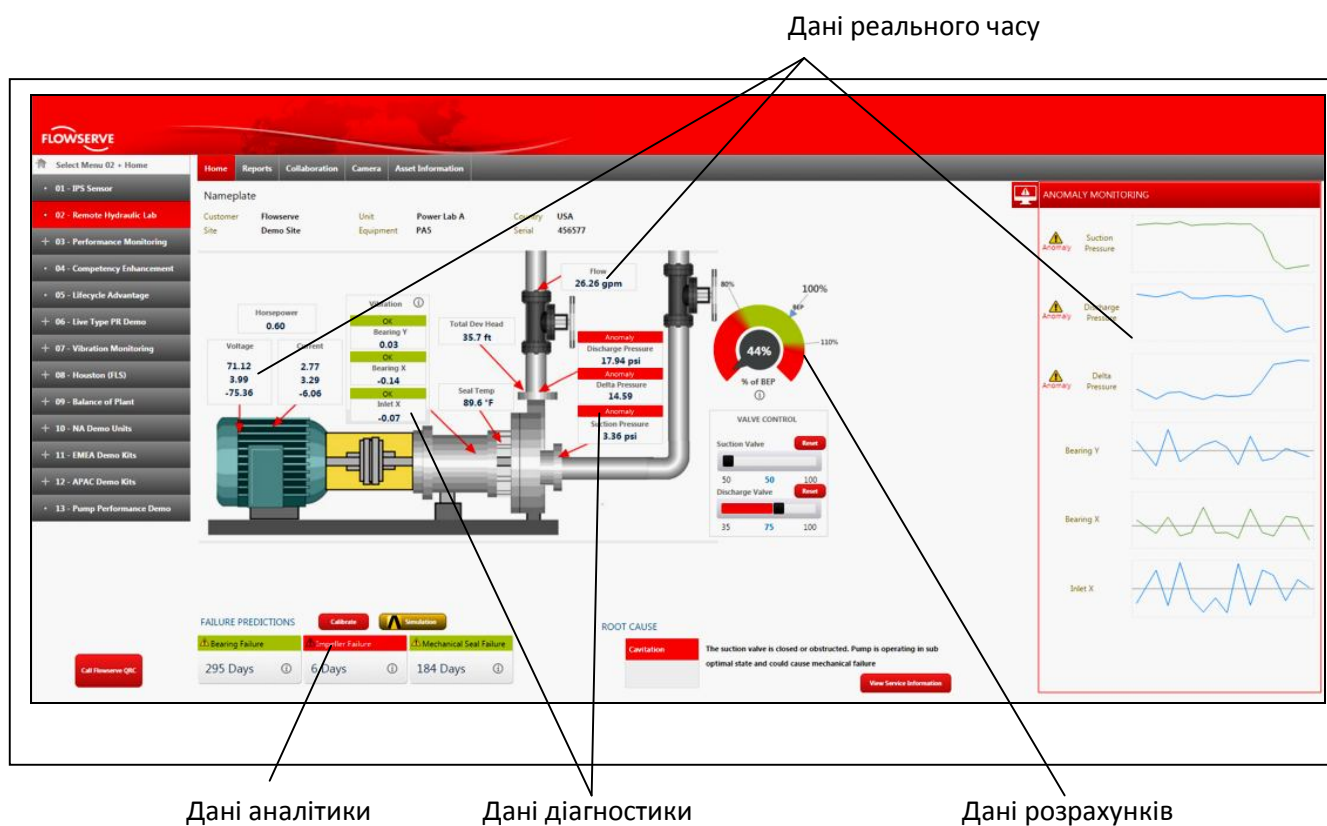


Рисунок 4.7 – Графічна панель ПоТ додатку, розробленою в "Mashup Builder"

Компонент "Storage" дозволяє оптимізувати процес збереження різних типів даних (потіки значень, потоки, табличні дані і т.д.), які мають надходити від пристроїв (речей) до користувальницького ПоТ додатку в режимі реального часу.

Компонент "Connectivity" дозволяє підключати пристрої (речі) до ПоТ додатку за допомогою кількох методів, включаючи хмари пристроїв від третіх виробників, пряме мережне підключення, а також Open APIs та AlwaysOn

з'єднання, що використовують спеціальний «ThingWorx Edge MicroServer».

На рисунку 4.8 показаний варіант побудови системи віддаленого моніторингу та управління промисловим роботом, що використовує мобільний користувацький інтерфейс. Контролер робота підключається через Інтернет до користувацького ПОТ 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".

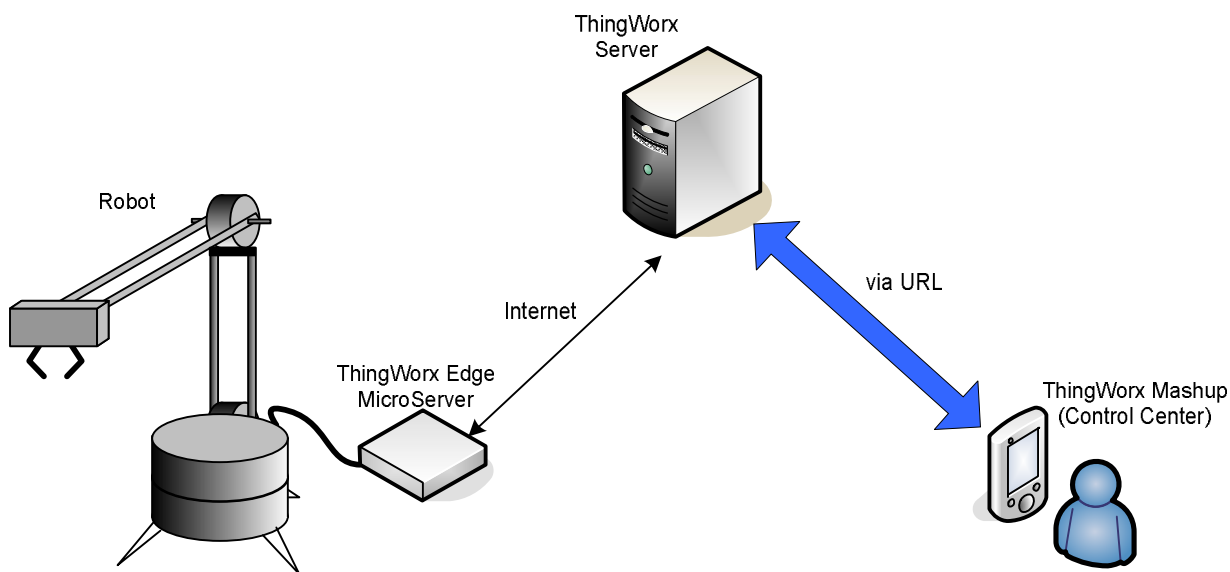


Рисунок 4.8 – Система віддаленого моніторингу та управління роботом

Іншим способом зв'язування «розумних» пристроїв з хмарними ПОТ додатками та сервісами є використання сервера «ThingWorx Connectivity» фірми «Kerware Technologies» [51], яка пропонує свій продукт - промислову комунікаційну платформу «KEPServerEX» [52], яка створює для будь-яких додатків користувача єдине джерело даних промислової автоматизації. Архітектура цієї платформи дозволяє користувачам з'єднувати, налаштовувати, виконувати моніторинг та управління різними автоматичними пристроями та програмними додатками через єдиний інтуїтивно зрозумілий інтерфейс.

Розробимо тепер детальніше ескізне рішення запропонованої цифрової трансформації реального АТП пакування. На рисунку 4.9 та в додатку Б наведений проєкт відповідної цифрової трансформації архітектури програмного забезпечення даного АТП для І4.0.

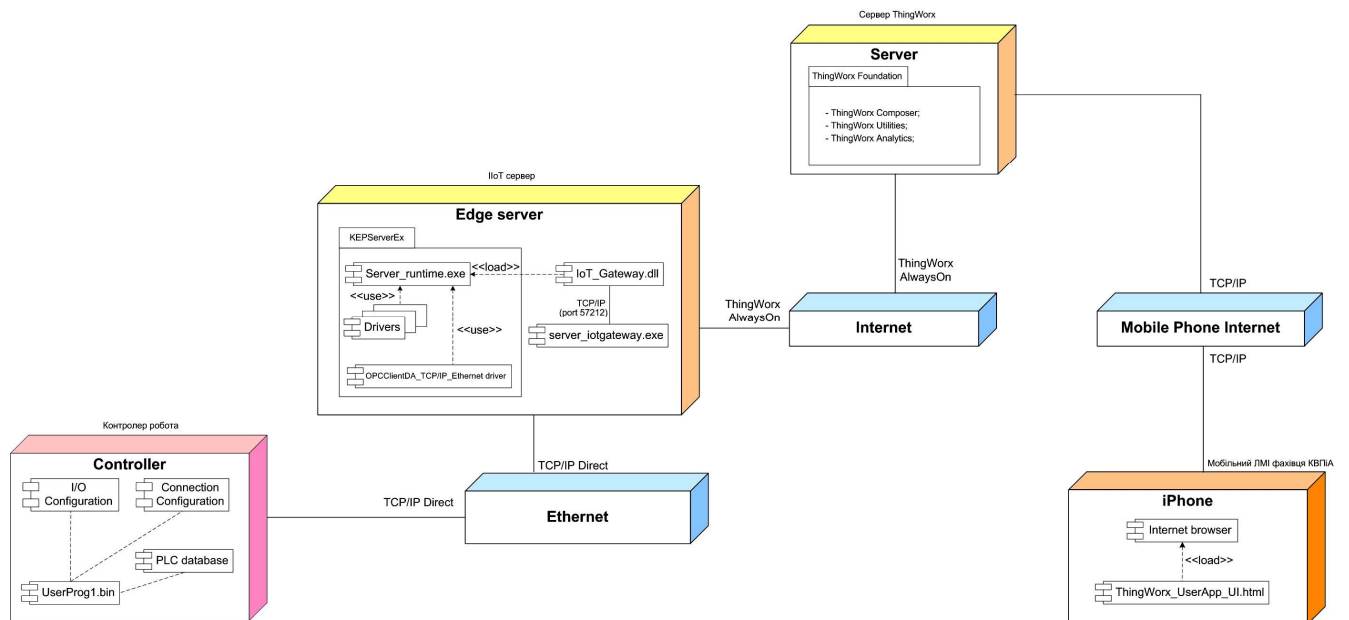


Рисунок 4.9 - Проєкт цифрової трансформації архітектури ПЗ

Архітектурна модель складається з таких вузлів:

- "Controller" (контролер пакувального робота);
- "Edge server" (локальний сервер ІСУ виробництвом);
- "Server" («хмарний» сервер ThingWorx компанії PTC);
- "iPhone" (смартфон з функцією ІМІ фахівця КВПіА);
- "Ethernet" (обчислювальні засоби локальної мережі підприємства);
- "Internet" (обчислювальні засоби глобальної мережі Internet);
- "Mobile Phone Internet" (обчислювальні засоби мережі мобільного Internet).

На вузлі «Controller» встановлена відкомпільована прикладна програма «Robot.bin», яка в режимі виконання здійснює управління рухами маніпулятора робота та реєстрацію часу спрацювання його дискретних датчиків. При виконанні

цієї прикладної програми використовуються настройки області введення/виведення (програмний компонент "I/O Configuration") та інтерфейсу зв'язку TCP/IP Direct (програмний компонент "Connection Configuration"). При виконанні прикладної програми «Robot.bin» в контролері формується база даних «PLC database», яка містить інформацію як про фізичні сигнали, що обробляються контролером, так і про час спрацювання відповідних дискретних датчиків контролю рухів маніпулятора робота.

У вузлі «Edge server» (локальний сервер ІСУ виробництвом) ("IoT сервер") встановлений комунікаційний сервер «KEPServerEx» хмарної платформи «ThingWorx Foundation», виконавче середовище якого "Server\_runtime.exe" застосовує вбудовані драйвери " Drivers" для доступу до джерел даних АТП, яким в нашому випадку є контролер робота. Для зв'язування даних, що зібрані сервером «KEPServerEx» ("IoT сервер"), з «хмірними» сервісами платформи «ThingWorx Foundation» на вузлі «Edge server» встановлений компонент "IoT Gateway", який складається з плагіну сервера "IoT\_Gateway.dll" та IoT агента "server\_iiotgateway.exe". Плагін сервера "IoT\_Gateway.dll" відповідає за конфігурування агентів протоколів MQTT, ThingWorx AlwaysOn, REST client та REST server, за збирання даних з виконавчого середовища "Server\_runtime.exe" та за конфігурування налаштувань компонента "IoT Gateway". IoT агент "server\_iiotgateway.exe (системний сервіс) керує з'єднаннями з «хмарними» сервісами Інтернету речей, зберігає у буфері дані, зібрані з плагіну сервера "IoT\_Gateway.dll", та забезпечує рівень авторизації та шифрування для кожного агента.

На вузлі «Server», який є «хмарним» сервером компанії РТС, розгорнута платформа промислового Інтернету речей «ThingWorx Foundation», в якій для реалізації аналітичної діагностики роботи пакувального робота та засобу сповіщення у вигляді людино-машинного інтерфейсу (ЛМІ) відповідального фахівця КВПіА підприємства використані такі сервісні компоненти: "ThingWorx Composer", "ThingWorx Utilities" та "ThingWorx Analytics". Дані до цих сервісних компонентів передаються через мережу Internet за оригінальним протоколом «ThingWorx AlwaysOn» компанії РТС.

На вузлі "iPhone" ("Мобільний ЛМІ фахівця КВПіА") встановлений звичайний браузер Інтернету ("Internet browser"), за допомогою якого фахівець КВПіА підприємства може переглядати Web-сторінки графічного інтерфейсу користувача (GUI) ІоТ додатка "ThingWorx\_App", що виконується на "хмарному" сервері компанії РТС (вузол "Server").

Для реалізації описаної цифрової трансформації архітектури ПЗ реального АТП пакування розробимо тепер схему мережних інформаційних потоків, яка показує деталі інформаційного обміну між вузлами архітектури ПЗ. Ця схема наведена на рисунку 4.10 та в додатку Б. Опишемо кожний з показаних на схемі інформаційних потоків.

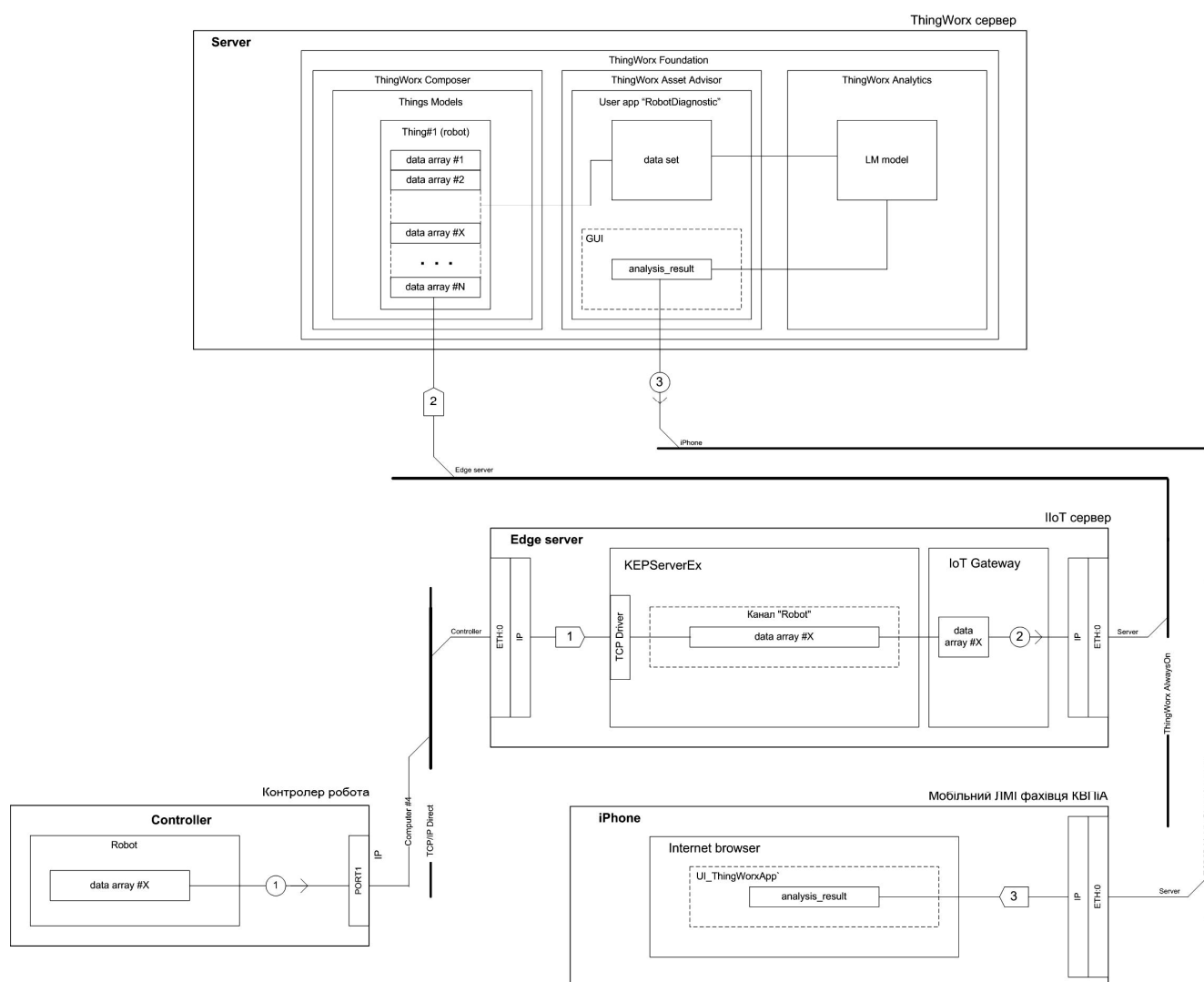


Рисунок 4.10 – Схема мережних інформаційних потоків трансформованого АТП



Потік 1 забезпечує передавання масиву даних "data array #X", що містить значення часу спрацювання дискретних датчиків контролю рухів маніпулятора робота в ході виконання чергової операції пакування) з локальної бази даних прикладної програми "Robot" вузла "Controller" (контролер пакувального робота) через мережу з протоколом TCP/IP Direct та програмний драйвер "TCP/IP driver" до тегів (масиву даних) каналу «Robot» сервера «KEPServerEx», встановленого на вузлі «Edge server». Значення тегів цього каналу (масив даних) по внутрішній віртуальній мережі вузла «Edge server» передається до тегів (масиву даних) програми «IoT Gateway» («data array #X»), де зберігаються для подальшого передавання потоком 2 до «хмарних» сервісів платформи «ThingWorx Foundation».

Потік 2 забезпечує передавання поточного масиву даних «data array #X» з програми «IoT Gateway» через мережу Internet з протоколом «ThingWorx AlwaysOn» до набору масивів даних («data array #1», «data array #2», ..., «data array #X», ... , «data array #N») моделі речі «Thing#1 (robot)» інструментального середовища розробки проектів промислового Інтернету речей «ThingWorx Composer». Це інструментальне середовище є складовою частиною платформи «ThingWorx Foundation», яка розгорнута на вузлі «Server». Набір масивів даних моделі речі "Thing#1 (robot)" по внутрішніх каналах передається до розробленого програмного додатку "RobotDiagnostic", яка створює відповідний графічний інтерфейс користувача "GUI" та зв'язаний з ним набір даних. По внутрішніх каналах цей набір даних передається програмним додатком "RobotDiagnostic" до натренованої ML моделі, яка виконується на сервері «ThingWorx Analytics» хмарної платформи «ThingWorx Foundation». Результати аналітичного аналізу набору даних «data set» зчитуються програмним додатком "RobotDiagnostic" з виходу ML моделі у вигляді масиву даних «analysis\_result» і виводяться на графічний інтерфейс користувача «GUI».

Потік 3 забезпечує передавання Web сторінок графічного інтерфейсу користувача «GUI» програмним додатком "RobotDiagnostic", що відображають масив даних «analysis\_result», через мережу мобільного телефонного Internet (Mobile Phone Internet) з протоколом TCP/IP до програми "Internet browser" вузла

"iPhone" (смартфон, «Мобільний ЛМІ фахівця КВПіА»). Через цей графічний інтерфейс фахівець КВПіА підприємства сповіщається системою діагностики про появу аномалій у процесі виконання промисловим роботом технологічної операції пакування. На рисунках 4.11 та 4.12 показані варіанти оформлення відповідних Web-сторінок даного GUI.

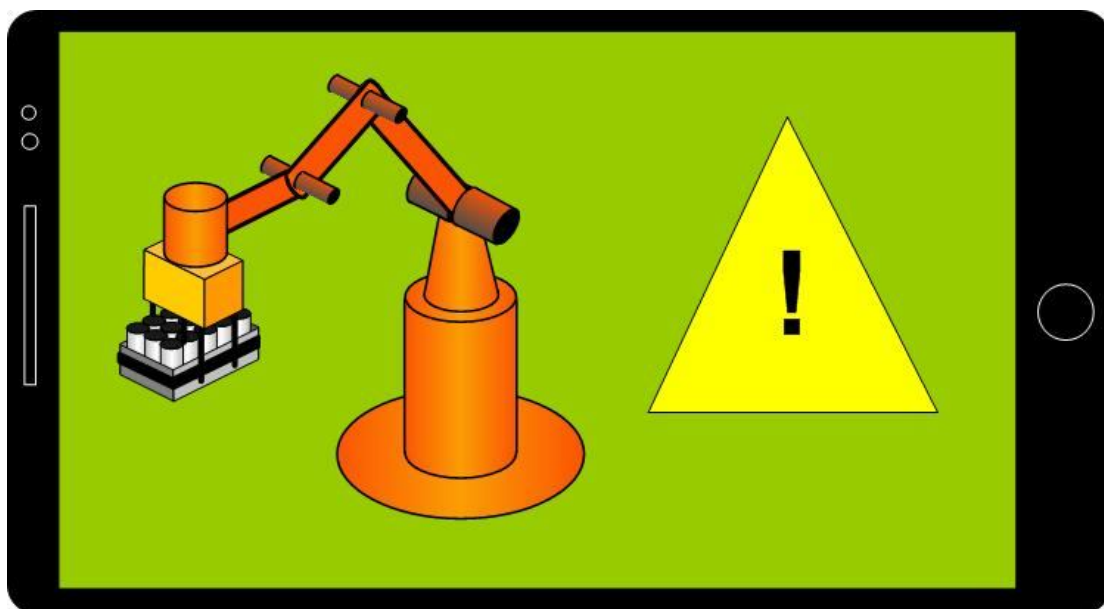


Рисунок 4.11 – Сторінка сповіщення фахівця про виявлення аномалії

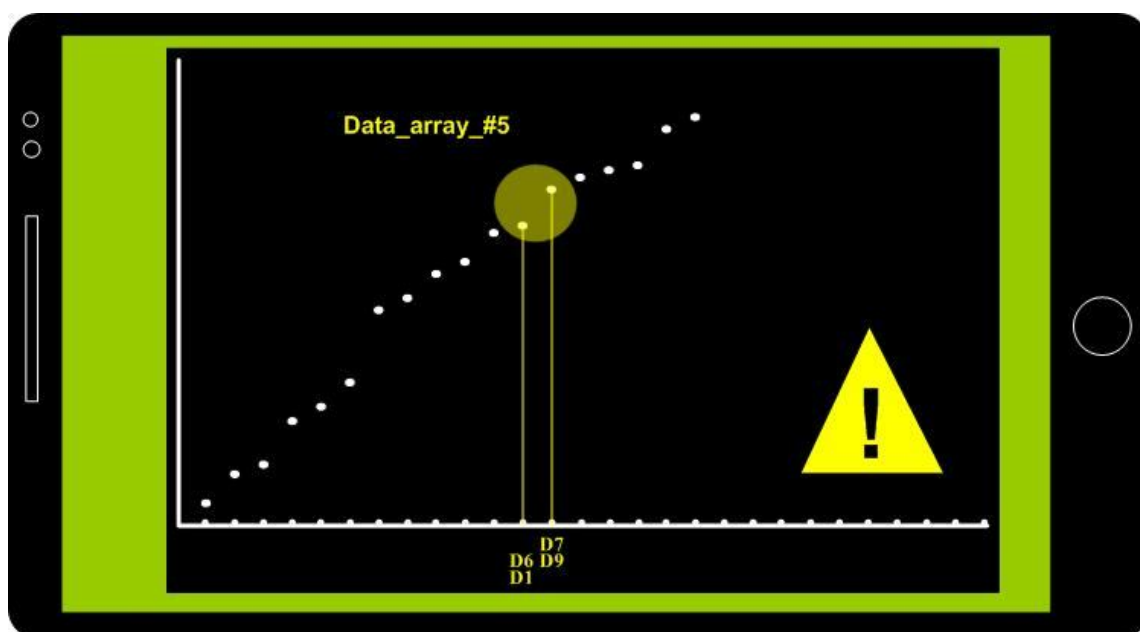


Рисунок 4.12 – Сторінка детальної інформації щодо аномалії

#### 4.4 Концепція поглибленої цифрової трансформації АТП

Розглянемо тепер приклад проєктування більш поглибленої цифрової трансформації існуючого реального АТП пакування. Почнемо з розробки її концепції. Як було зазначено в розділі 3, існуючий реальний АТП для стадії проєктування (Development) життєвого циклу у порівнянні з I4.0 властивістю/ознакою «Віртуалізація виробничого середовища» має такий суттєвий недолік, що при його проєктуванні не використовувалось цифрове моделювання, а це не дає змоги, наприклад, заздалегідь перевірити на моделі процес переміщення готової продукції конвеєром і вибрати кращу його конфігурацію та швидкість руху з метою виключення можливості зсуву чи перекидання продукції, або навіть її падіння з конвеєра. Цей же недолік був виявлений і при порівнянні існуючого реального АТП з властивістю/ознакою I4.0 «Абсолютна гнучкість виробничих процесів», бо відсутність цифрових проєктних моделей АТП суттєво ускладнює швидкий перехід виробництва на нові види продукції, бо неможливо заздалегідь перевірити спроможність встановленого обладнання – конвеєрів та пакувального робота – взаємодіяти з новою продукцією, а значить перехід буде затягуватися, бо треба обов'язково проводити натурні експерименти з обладнанням, а при необхідності, ще тривалий час розробляти та виготовляти нову оснастку для цього обладнання. Існуючий реальний АТП не відповідає I4.0 властивості/ознаці «Абсолютна гнучкість виробничих процесів» ще і тому, що його активи (обладнання, оснастка) не мають модульну конструкцію, що значно полегшує їх пристосування до можливих кардинальних змін або самого процесу пакування, або виду готової продукції чи тари, у яку ця продукція має пакуватися. Враховуючи саме ці недоліки, і будемо далі розробляти концепцію поглибленої цифрової трансформації даного АТП.

На рисунку 4.13 показано, як можна застосувати 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.

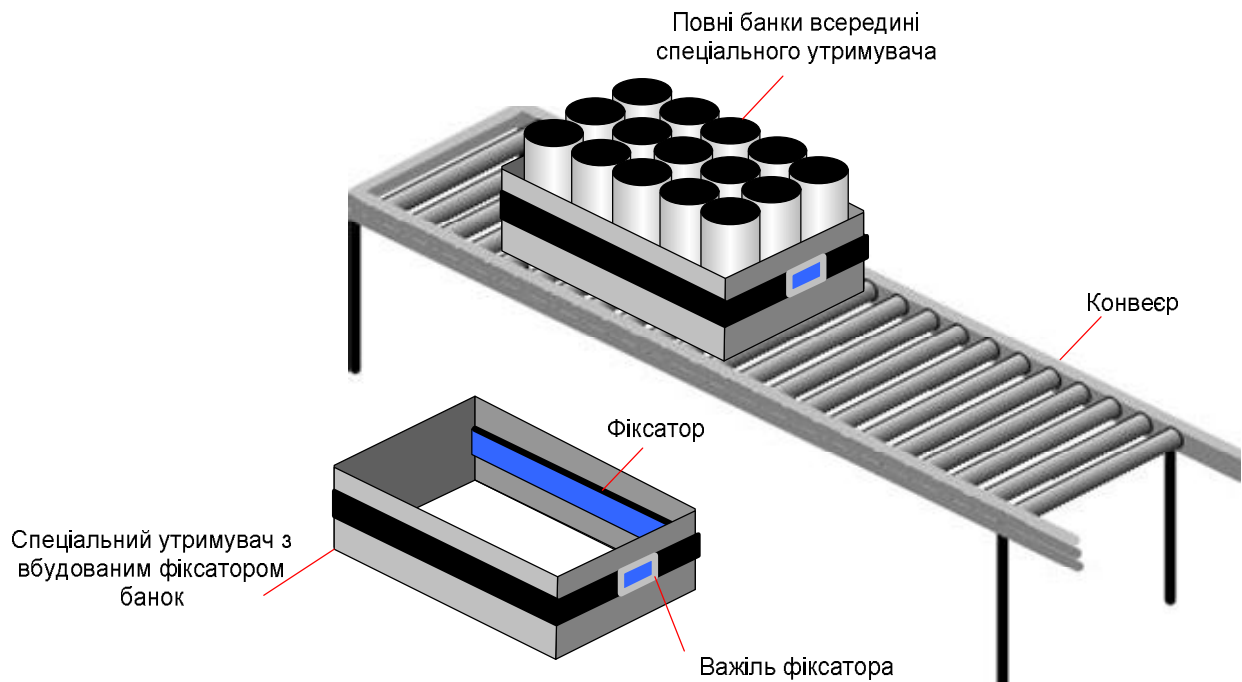


Рисунок 4.13 – Модульна конструкція технологічної оснастки

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

На рисунку 4.14 показаний варіант загального конструктивного рішення для механізму схоплення пакувального робота для здійснення операції знімання з конвеєра утримувача з банками всередині. Механізм схоплення пакувального робота має чотири «лапи» та окремий натискач важеля фіксатора, що виведений на торцевий бік утримувача банок. За допомогою «лап» робот захоплює утримувач з банками, що знаходиться на конвеєрі, а натискач через важіль фіксує банки всередині утримувача. Після цього маніпулятор робота може підняти утримувач з банками і перенести їх разом до пустої коробки на другому конвеєрі.

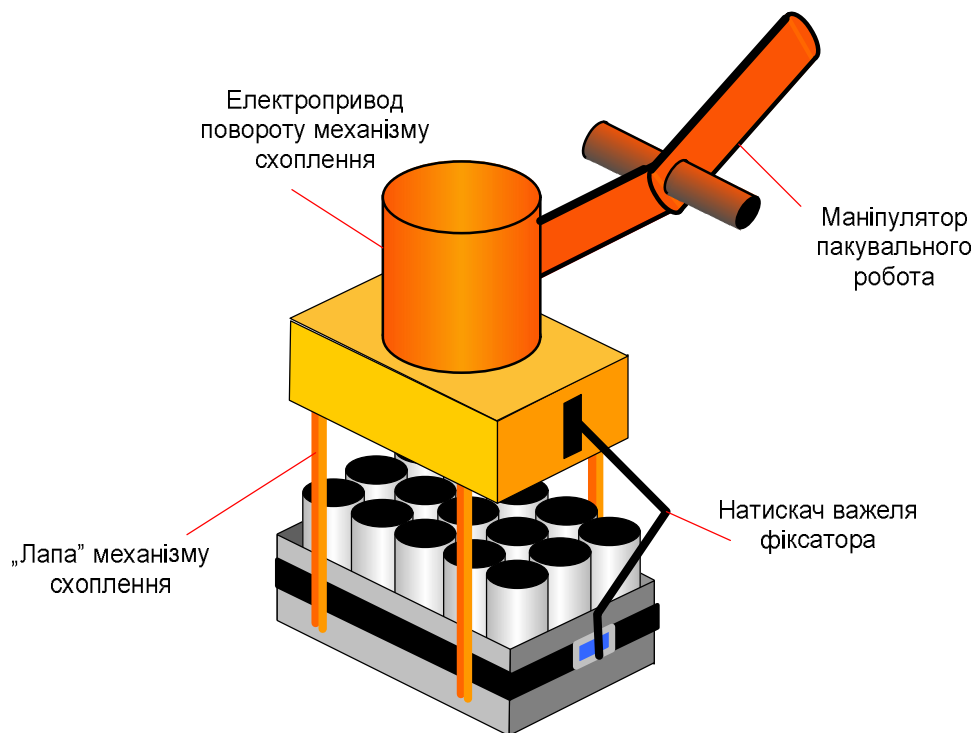


Рисунок 4.14 – Конструкція механізму схоплення пакувального робота

Коли банки будуть знаходитись точно над відкритою пустою коробкою, робот відпускає натискач, фіксатор утримувача розблоковує затиснені банки і вони падають всередину коробки. Для уповільнення падіння банок можна запровадити повільне відпускання фіксатора, тому банки будуть під дією своєї ваги поступово скочувати усередину коробки.

Запропоноване рішення модульного виконання оснастки, а саме, спеціального утримувача, дозволить у подальшому спростити перехід виробництва на новий вид продукції, замінивши попередній утримувач на новий, пристосований до цієї продукції. Крім того, загальна продуктивність пакування збільшується, бо пакування кожної коробки відбувається швидше – і для одного шару банок і для кількох шарів (для банок типу 2).

Проте перехід на модульну конструкцію даної оснастки тягне за собою необхідність внесення змін і в технологічне обладнання, яке повинно взаємодіяти з цим утримувачем банок. По-перше, банки поступають до АТП пакування з попереднього АТП дозування. Тому спочатку треба вдосконалити цей процес, щоб він міг обробляти групи банок, поміщених в утримувач.

На рисунку 4.15 показано таке вдосконалення АТП дозування.

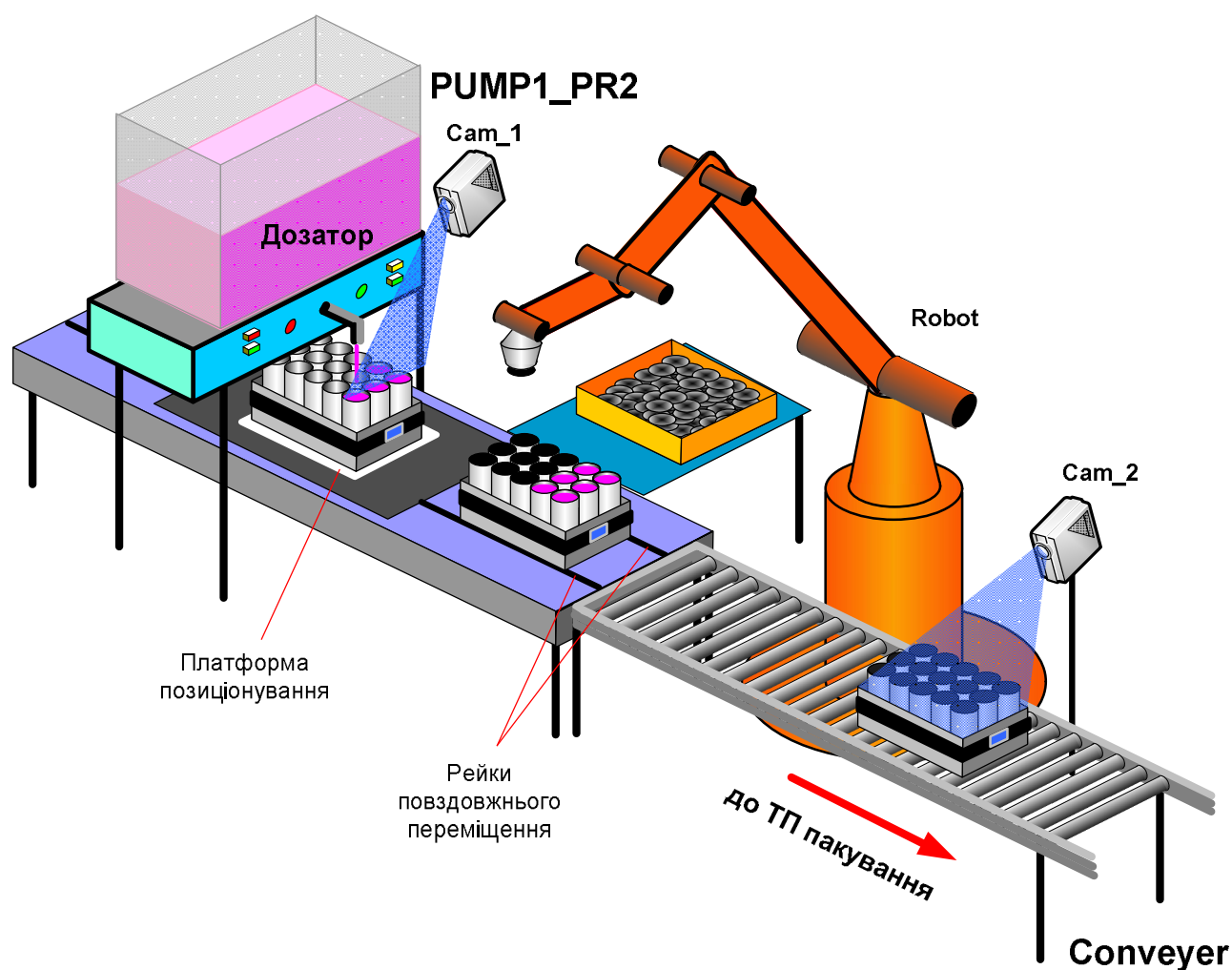


Рисунок 4.15 – Концепція вдосконалення попереднього АТП

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. Ідея такої платформи описана в [53] і показана на рисунку 4.16. 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 знімається промисловим роботом з платформи позиціювання і переноситься на конвеєр, що рухає її до наступної робочої станції.

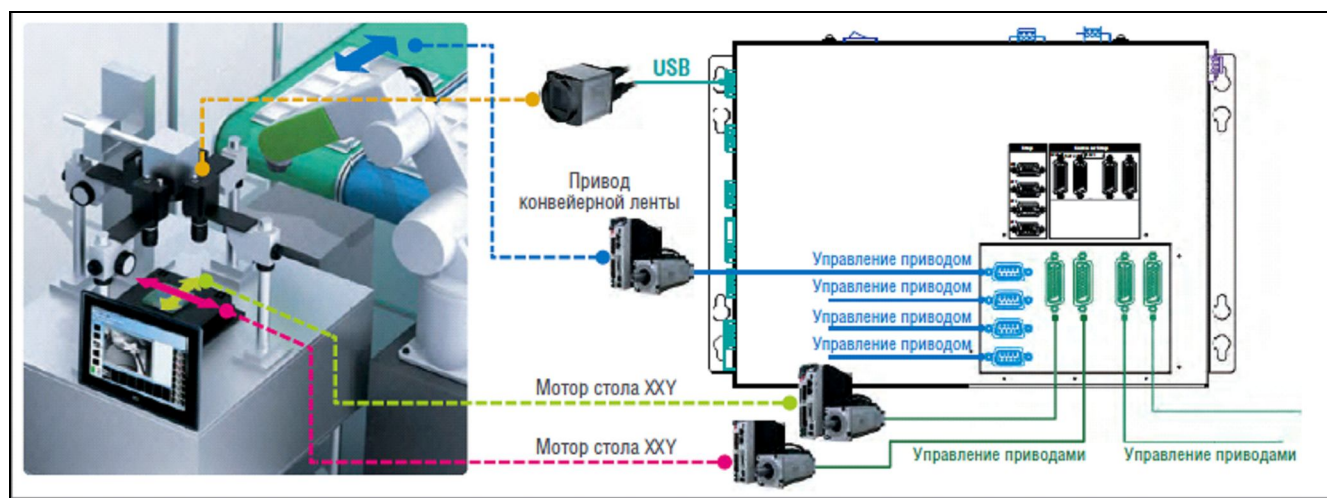


Рисунок 4.16 – Платформа позиціювання компанії ІЕІ

Аналогічне технічне рішення ми пропонуємо і для вдосконалення АТП дозування. Для контролю за процесом переміщення утримувача з пустими банками під наливним краном дозатора ми теж пропонуємо використати промислову відеокамеру «Cam\_1», яка формує 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 існуючого АТП дозування в запропоновані концепції (див. рисунок 4.15) 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.

Розглянемо тепер концепцію вдосконалення обладнання АТП пакування, що має бути зроблено в рамках його цифрової трансформації. На рисунку 4.17 показано це концептуальне рішення.

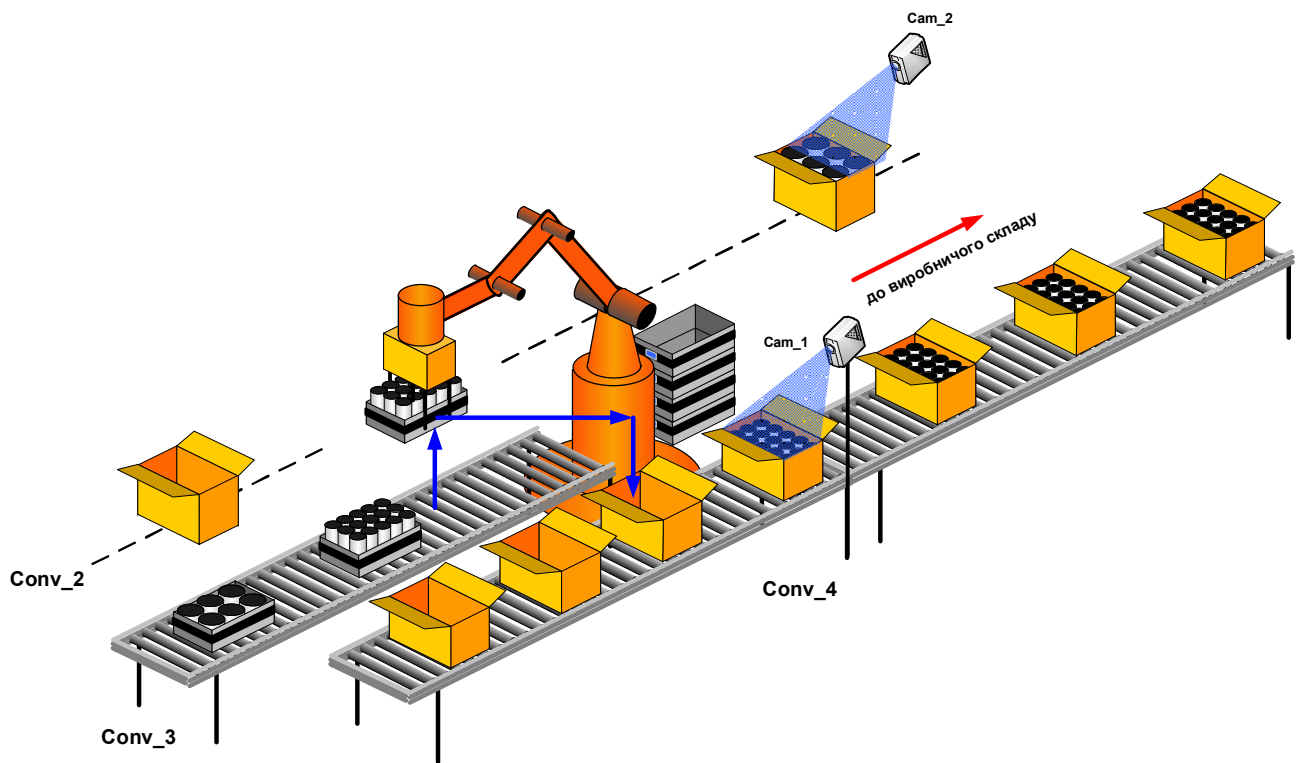


Рисунок 4.17 - Концепція вдосконалення АТП пакування

Воно відрізняється від існуючого реального АТП 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 ковзають 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. Взагалі, машинний зір, є дуже ефективним способом цифрової трансформації, який застосовує цілий спектр технологій і методів для забезпечення автоматичного контролю й перевірки на основі зображень з відеокамер, управління промисловими роботами й багато чого іншого [53, 54]. 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 (рисунок 4.18).



Рисунок 4.18 – Промислові системи машинного зору на конвеєрі

На сьогодні існують вже технології, які роблять можливою інтеграцію промислових роботів і систем керування рухом. Наприклад, на виробничій лінії

вироби транспортуються від одного процесу до іншого на стрічці конвеєра. Зображення, отримане інтелектуальною відеокамерою, надсилається на контролер керування роботом-маніпулятором (рисунок 4.19).

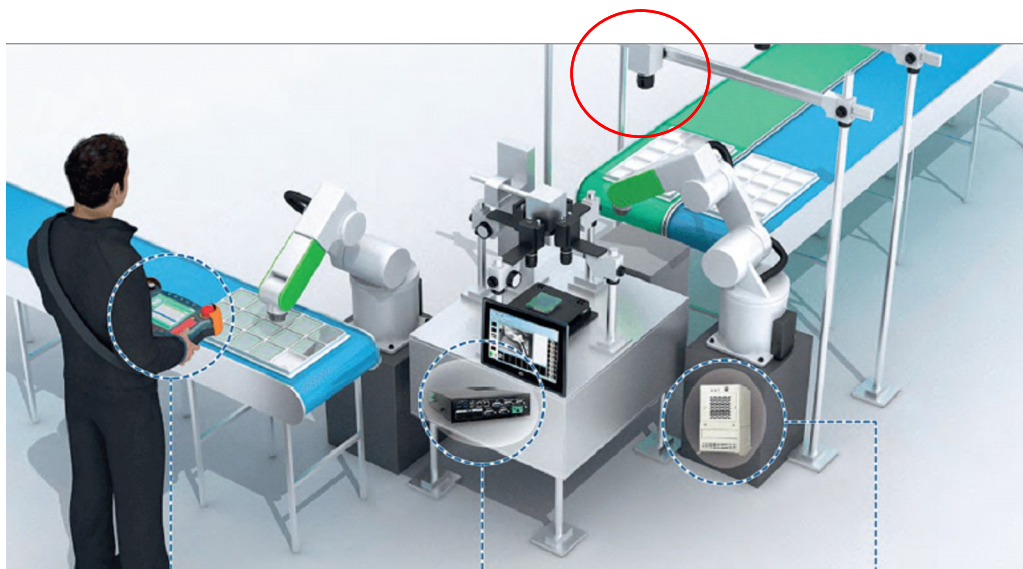


Рисунок 4.19 – Використання машинного зору для управління роботом

Всі ці можливості машинного зору ми також можемо використати в нашій концепції цифрової трансформації АТП пакування. Наприклад, ми застосовуємо дві відеокамери «Cam\_1» та «Cam\_2» (див. рисунок 4.17) для вихідного контролю якості процесу пакування банок обох типів, відповідно, на конвеєрі «Conv\_2» для коробок з банками типу 2 та на конвеєрі «Conv\_4» для коробок з банками типу 1.

Як студент може поглибити бачення запропонованого концептуального рішення? По-перше, можна застосувати інструментальну систему 3D-проекування конструкцій (САПР), наприклад, «FreeCAD», яка вільно розповсюджується у Інтернеті [55]. За допомогою цієї програми САПР можна не тільки розробити більш детальну конструкцію утримувача банок, але і дослідити її роботу, додавши до неї засоби технічної анімації та описавши програмним шляхом різні сценарії поведінки цієї 3D-моделі. Для прикладу на рисунку 4.20 показане вікно програми «FreeCAD» з 3D-моделлю утримувача банок типу 1. Ця модель має і програмну частину, яка описує різні зовнішні події та сценарії поведінки моделі, наприклад, поява направленої механічної дії на важіль

фіксатора. Саме для цієї події на рисунку 4.21 показаний результат технічної анімації сценарію поведінки 3D-моделі утримувача з банками типу 1 – натискання на важіль призводить до падіння банок донизу.

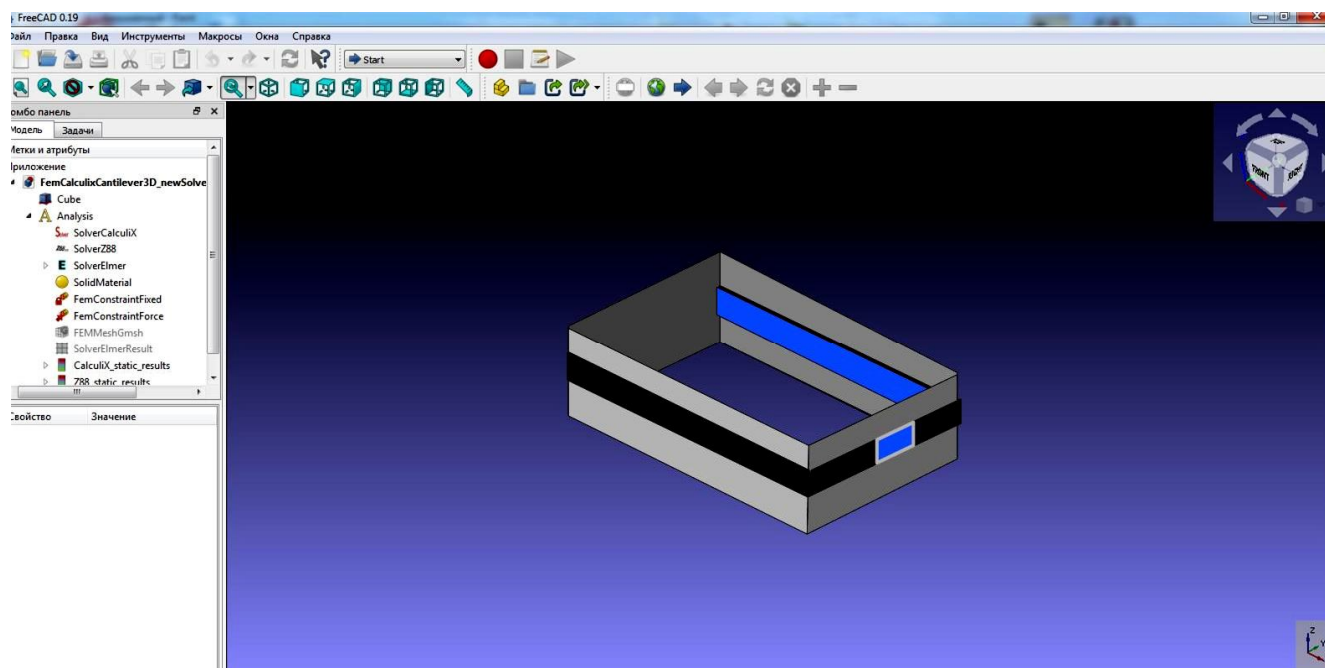


Рисунок 4.20 – Тривимірна конструкція утримувача у вікні «FreeCAD»

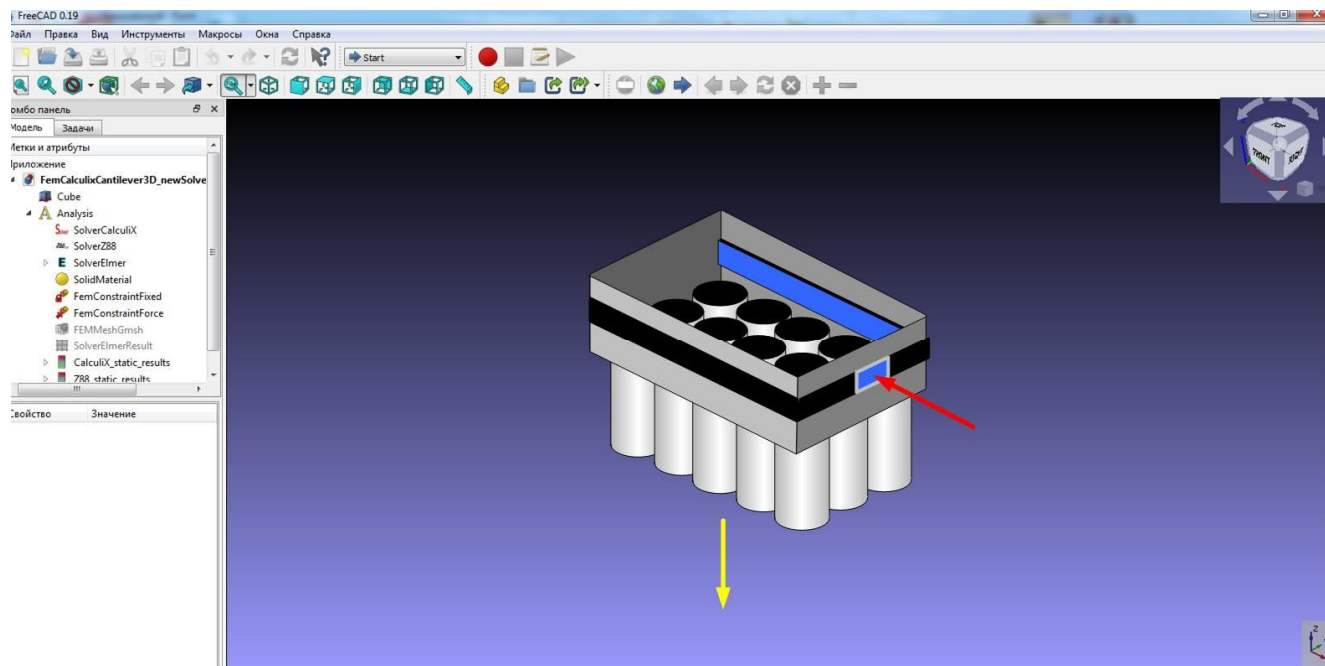


Рисунок 4.21 – Технічна анімація поведінки моделі утримувача у вікні «FreeCAD»

Розглянемо тепер можливість більш детальної розробки концепції такого рішення цифрової трансформації, як застосування в ній промислових роботів. Промислові роботи - це особливий клас промислового обладнання, що ефективно, точно й з повторюваністю виконує ручні задачі. Вони використовуються на комерційних підприємствах з 1960-х років. З появою Індустрії 4.0 ці роботи поєднують інтелект і нові можливості, які уможливають створення розумних заводів [56]. Для успішного впровадження промислових роботів на «розумному підприємстві» натеper багато відомих виробників постачають свою продукцію різними програмними інструментами імітаційного моделювання (симуляції) поведінки своїх роботів у довільному виробничому середовищі. Так, відомий німецький виробник роботів компанія «KUKA» розробила, постійно вдосконалює та продає віртуальне середовище імітації (симуляції) «KUKA.Sim» для стадії «Development» життєвого циклу виробничого процесу [57, 58]. На рисунку 4.22 показаний приклад такої імітації (симуляції) роботизованого конвеєра.



Рисунок 4.22 – Моделювання роботизованого конвеєра в «KUKA.Sim»

На щастя, ця компанія на своєму сайті [59] дає вільний доступ для будь-кого (після реєстрації) для роботи з цим програмним інструментом моделювання, застосовуючи навіть свої власні 3D-моделі оснастки чи якогось обладнання (рисунок 4.23).

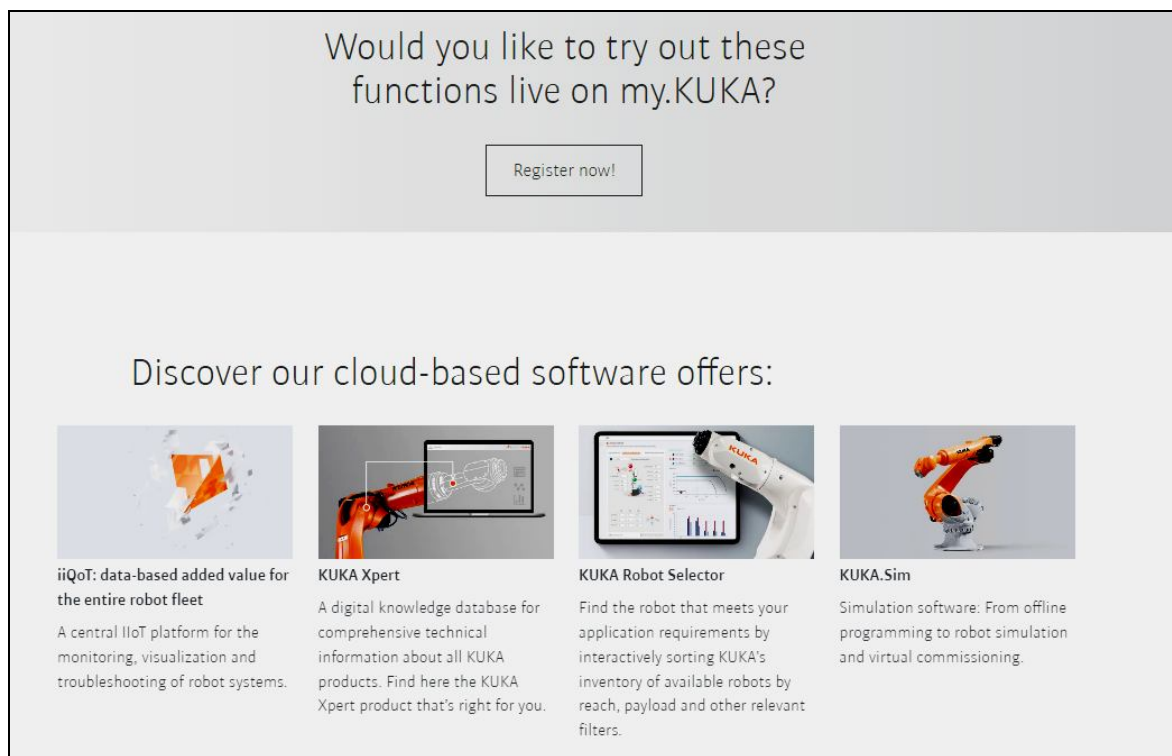


Рисунок 4.23 – Web-сторінка оформлення вільного доступу до «KUKA.Sim»

Таким чином, студенти мають можливість змоделювати в даному середовищі трансформований АТП пакування з точки зору дій промислового робота та його взаємодії з новим утримувачем банок, який може бути перенесений (експортований) з «FreeCAD» у бібліотеку користувача проєкту «KUKA.Sim». При цьому програмна частина цієї тривимірної моделі також переноситься разом з зображенням, що дає змогу підключити логіку роботи моделі утримувача до загального сценарію технічної анімації роботизованої пакувальної лінії в середовищі «KUKA.Sim».

На цьому можна закінчити опис концептуального рішення поглибленої цифрової трансформації існуючого реального АТП пакування, яке можна розробити в рамках нового КНЗ.

## 4.5 Висновки до розділу

В результаті виконання дослідницьких та проектних робіт у даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи була обґрунтована модель діяльностей заключної стадії практичного вивчення цифрової трансформації АТП пакування готової продукції, які виконують студент і викладач. На основі запропонованого методу онтологічного дослідження предметної області промислової автоматизації І4.0 була побудована її концептуальна модель та означені способи її використання для цифрової трансформації даного АТП. В якості прикладів результатів, які студенти можуть отримати в ході практичного вивчення, було розроблений ескізний проєкт початкової цифрової трансформації АТП пакування готової продукції, а також концепція його поглибленої цифрової трансформації.

## **5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ**

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

Як зазначалося раніше, підвищення якості підготовки фахівців в області автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій вимагає постійного удосконалення навчального процесу та його матеріально-технічної бази. Тому кафедрою АІТ ВНТУ до навчального плану підготовки фахівців були уведені дві нові професійно-орієнтовані дисципліни – «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва» (бакалаврський рівень підготовки) та «Промисловий Інтернет речей» (магістерський рівень підготовки), які повинні надати студентам основні теоретичні відомості та практичні знання щодо цифрової трансформації існуючого комп'ю-терно-інтегрованого виробництва у «розумне» цифрове виробництво, що функціонує за концепцією «Індустрія 4.0».

Для цього на кафедрі було створено сучасну комп'ютеризовану лабораторію, програмно-технічні засоби якої утворюють інформаційно-освітнє середовище типу «віртуальне підприємство», яке функціонує за сучасною концепцією комп'ютерно-інтегрованого виробництва – «Індустрія 3.0» .

Метою ж нашої магістерської кваліфікаційної роботи було створення комп'ютеризованого навчального засобу для практичного вивчення студентами спеціальності 151 методів та засобів цифрової трансформації основного технологічного процесу пакування готової продукції в рамках концепції «Індустрія 4.0» .

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

Для встановлення комерційного потенціалу розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу було проведено її технологічний аудит, для чого було запрошено 3-х експертів – фахівців у цій галузі знань: кандидатів технічних наук Кривогубченка С. Г., Кулика А.Я. та Овчинникова К.В.

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

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

| Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою) |  |   |   |   |  |
|--|--|---|---|---|--|
|  | 0  | 1   | 2   | 3   | 4  |
| <b>Технічна здійсненність концепції:</b>             |  |   |   |   |  |
| 1  | Достовірність концепції не підтверджена                                | Концепція підтверджена експертними висновками                         | Концепція підтверджена розрахунками                             | Концепція перевірена на практиці                                      | Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах                  |
| <b>Ринкові переваги (недоліки):</b>                  |  |   |   |   |  |
| 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 |
| <b>Ринкові перспективи</b>                           |  |   |   |   |  |
| 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 5.1

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

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

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

| Критерії  | Прізвище, ініціали експертів  |                      |                      |
|---|---|----------------------|----------------------|
|   | Кривогубченко С.Г.  | Кулик Я.А.           | Овчинников К.В.      |
|   | Бали, що їх виставили експерти:   |                      |                      |
| 1   | 3   | 3                    | 3                    |
| 2   | 4   | 3                    | 3                    |
| 3   | 3   | 3                    | 3                    |
| 4   | 4   | 2                    | 4                    |
| 5   | 3   | 4                    | 3                    |
| 6   | 3   | 3                    | 4                    |
| 7   | 4   | 3                    | 3                    |
| 8   | 4   | 3                    | 3                    |
| 9   | 3   | 2                    | 3                    |
| 10  | 3   | 4                    | 2                    |
| 11  | 3   | 3                    | 4                    |
| 12  | 3   | 3                    | 3                    |
| Сума балів  | СБ <sub>1</sub> = 40  | СБ <sub>2</sub> = 36 | СБ <sub>3</sub> = 38 |
| Середньоарифметична сума балів<br>$\overline{СБ}$ | $\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{40 + 36 + 38}{3} = \frac{114}{3} = 38$ |                      |                      |

Встановлення комерційного потенціалу розробленого навчального засобу будемо здійснювати на основі рекомендацій, наведених в таблиці 5.3 [60].

Таблиця 5.3 – Рівні комерційного потенціалу будь-якої наукової розробки

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

Оскільки середньоарифметична сума балів, що їх виставили експерти, складає 38 балів, то це свідчить, що розроблений нами новий комп'ютеризований навчальний засіб має рівень комерційного потенціалу, який вважається «вище середнього».

Це пояснюється тим, що створений нами новий комп'ютеризований навчальний засіб, на відміну від існуючих, будуватиметься на основі інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне підприємство», що дозволить за рахунок використання додаткових локальних або «хмарних» віртуальних інструментальних середовищ підвищити ефективність практичної підготовки студентів шляхом виконання ескізного проєкту цифрової трансформації існуючого технологічного процесу пакування готової продукції (роботизація і цифрове моделювання, комп'ютерний зір, штучний інтелект тощо).

## 5.2 Розрахунок витрат на розробку комп'ютеризованого навчального засобу

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

Основна заробітна плата  $Z_o$  розробників, яка визначається за формулою:

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

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

$$M = (6700 \dots 20000) \text{ грн/місяць};$$

$T_p$  – число робочих днів в місяці; прийmemo  $T_p = 25$  днів;

$t$  – число днів роботи розробників.

Зроблені розрахунки зведемо до таблиці 5.4

Таблиця 5.4 – Основна заробітна плата розробників

| Найменування посади виконавця             | Місячний посадовий оклад, грн | Оплата за робочий день, грн | Число днів роботи | Витрати на оплату праці, грн                  |
|---|-------------------------------|-----------------------------|-------------------|---|
| 1. Науковий керівник магістерської роботи | 18500                         | 740,00                      | 20 годин          | $\approx 2467$ (при 6-годинноиу робочому дні) |
| 2. Магістрант-студент-виконавець          | 2000<br>(беремо 6700)         | 268,00                      | 78                | 20904   |
| 3. Консультант з економічної частини      | 17000                         | 680,00                      | 1,5 години        | 170<br>(при 6-годинному робочому дні)         |
| Загалом                                   |                               |                             |                   | $3_0 = 23541$ грн                             |

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

$$Z_d = \alpha \cdot Z_0 = (0,1 \dots 0,12) \cdot Z_0 [\text{грн.}] \quad (5.2)$$

Прийmemo, що  $\alpha = 0,15$ . Тоді для нашого випадку отримаємо:

$$Z_d = 0,15 \times 23541 = 3531,15 \approx 3532 \text{ (грн).}$$

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

$$NЗП_{зп} = (Z_0 + Z_d) \cdot \frac{B}{100} [\text{грн.}] \quad (5.3)$$

де  $\beta$  – ставка обов’язкового єдиного внеску на державне соціальне страхування, %.  $\beta = 22\%$ .

Тоді:

$$H_{ЗП} = (23541 + 3532) \times 0,22 = 5956,06 \approx 5956 \text{ [грн]}.$$

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

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

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

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

$T$  – термін використання основних засобів, місяці.

Зроблені розрахунки зведено в таблицю 5.5.

Таблиця 5.5 – Розрахунок амортизаційних відрахувань

| Найменування обладнання, приміщень тощо | Балансова вартість, грн. | Норма амортизації, % | Термін використання, міс. | Величина амортизаційних відрахувань, грн |
|---|--------------------------|----------------------|---------------------------|--|
| 1. Комп’ютерна техніка, обладнання тощо | 35000                    | 25                   | 3 (при 80% використанні)  | 1750                                     |
| 2. Приміщення університету, кафедри     | 15000                    | 5                    | 3 при 60% використанні    | 112,5 $\approx$ 113                      |
| Всього                                  |                          |                      |                           | $A = 1863$ грн                           |

Витрати на матеріали  $M$  розраховуються за формулою:

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

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

$C_i$  – вартість матеріалу  $i$ -го найменування;

$K_i$  – коефіцієнт транспортних витрат,

$K_i = (1, 1 \dots 1, 15)$ ;  $V_i$  – маса відходів матеріалу  $i$ -го найменування;

$C_v$  – ціна відходів матеріалу  $i$ -го найменування;

$n$  – кількість видів матеріалів.

Витрати на комплектуючі  $K$  розраховуються за формулою:

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

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

$C_i$  – ціна комплектуючих  $i$ -го виду;

$K_i$  – коефіцієнт транспортних витрат,  $K_i$  буде рівним  $(1, 1 \dots 1, 15)$ ;

$n$  – кількість видів комплектуючих.

Під час виконання роботи загальні витрати на матеріали та комплектуючі склали приблизно 2500 грн.

Витрати на силову електроенергію  $V_e$  розраховуються за формулою:

$$V_e = \frac{V \cdot P \cdot \Phi \cdot K_n}{K_d} \text{ [грн]}, \quad (5.7)$$

де  $V$  – вартість 1 кВт-год. електроенергії, в 2022 р.  $V \approx 3,0$  грн/кВт;

$P$  – установлена потужність обладнання, кВт;  $P = 1,05$  кВт;

$\Phi$  – фактична кількість годин роботи обладнання, годин. Прийmemo, що  $\Phi = 179$  годин;

$K_n$  – коефіцієнт використання потужності;  $K_n < 1 = 0,75$ .

$K_d$  – коефіцієнт корисної дії,  $K_d = 0,68$ .

Тоді витрати на силову електроенергію будуть дорівнювати:

$$V_e = \frac{V \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}}{K_d} = \frac{3 \cdot 1,05 \cdot 179 \cdot 0,75}{0,68} = 621,89 \approx 622 \text{ [грн]}.$$

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

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

Для нашого випадку отримаємо:

$$V_{\text{інш}} = 1,0 \times 23541 = 23541 \text{ (грн)}.$$

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

$$V = 23541 + 3532 + 5956 + 1863 + 2500 + 622 + 23541 = 61555 \text{ (грн)}.$$

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

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

де  $\beta$  – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання цієї роботи. Можна прийняти, що,  $\beta \approx 0,92$  [60], оскільки робота майже повністю виконана і готова до можливого впровадження.

Тоді:

$$V_{\text{заг}} = \frac{61555}{0,92} = 66907,61 \text{ (грн.)},$$

або приблизно 67 тисяч грн.

Тобто прогнозовані загальні витрати на розробку та можливе впровадження розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу становлять приблизно 67 тисяч грн.

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

Економічний ефект від впровадження та можливої комерціалізації розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу пояснюється його значно кращими функціональними можливостями. Тому нашу розробку можна реалізовувати на ринку дещо дорожче, ніж аналогічні за функціями розробки. Так, якщо подібні за функціями розробки у 2022 році коштували на ринку приблизно 30 тис грн, то нашу розробку можна реалізовувати за 40 тисяч грн, або на 10 тисяч грн дорожче.

Аналіз місткості ринку даного продукту показує, що сьогодні в Україні кількість реальних користувачів подібних комп'ютеризованих навчальних засобів може складати приблизно 40 осіб щороку. Це, насамперед, це не тільки спеціалізовані навчальні заклади, але й різні промислові підприємства, які займаються швидким пакуванням своєї продукції. тощо. Оскільки наш комп'ютеризований навчальний засіб має значно кращі функціональні характеристики, то можна очікувати зростання попиту на нашу розробку принаймні протягом 4-х років після її впровадження.

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

Прогноз зростання попиту на нашу розробку складає по роках:

- 2023 р. – приблизно +5 шт. до базового року;
- 2024 р. – +10 шт. до базового року;
- 2025 р. – +15 шт. до базового року;
- 2026 р. – +20 шт. до базового року.



Можливе збільшення чистого прибутку  $\Delta\Pi_1$ , що його може отримати потенційний інвестор від комерціалізації нашої розробки становитиме:

$$\Delta\Pi_1 = \sum_1^n (\Delta\Pi_0 \cdot N + \Pi_0 \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\nu}{100}\right) [\text{тис. грн.}], \quad (5.10)$$

де  $\Delta\Pi_0$  – покращення основного якісного показника від впровадження результатів розробки у цьому році. Для нашого випадку це є збільшення ціни нового навчального засобу  $\Delta\Pi_0 = 40 - 30 = 10$  тисяч грн;

$N$  – основний кількісний показник, який визначає обсяг діяльності у році до впровадження результатів розробки;  $N = 40$  шт.;

$\Delta N$  – покращення основного кількісного показника від впровадження результатів розробки. Таке покращення становитиме по роках, відповідно:  $+5^{2023}$ ,  $+10^{2024}$ ,  $+15^{2025}$  та  $+20^{2026}$  шт. (до базового 2022 року);

$\Pi_0$  – основний якісний показник (тобто ціна), який визначає обсяг діяльності у році після впровадження результатів розробки, грн;  $\Pi_0 = 40$  тисяч грн;

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

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

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

$\nu$  – ставка податку на прибуток. У 2022-23 роках  $\nu = 18\%$ .

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

$$\Delta\Pi_1 = [10 \cdot 40 + 40 \cdot 5] \cdot 0,8333 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) \approx 205 \text{ (тис. грн.)}$$

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

складе:

$$\Delta\Pi_2 = [10 \cdot 40 + 40 \cdot 10] \cdot 0,8333 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) \approx 273 \text{ (тис. грн.)}$$

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

$$\Delta\Pi_3 = [10 \cdot 40 + 40 \cdot 15] \cdot 0,8333 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) \approx 342 \text{ (тис. грн.)}$$

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

$$\Delta\Pi_4 = [10 \cdot 40 + 40 \cdot 20] \cdot 0,8333 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) \approx 410 \text{ (тис. грн.)}$$

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

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

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

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

$\tau$  – ставка дисконтування. Прийmemo  $\tau = 0,10$  (10%);

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

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

$$\begin{aligned} \text{ПП} &= \frac{205}{(1+0,1)^1} + \frac{273}{(1+0,1)^2} + \frac{342}{(1+0,1)^3} + \frac{410}{(1+0,1)^4} = \\ &\approx 186 + 226 + 257 + 280 = 949 \text{ (тисяч грн.)}. \end{aligned}$$

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

$$PV = (1,0\dots5) \times V_{\text{заг.}} \text{ [тис. грн.]}, \quad (5.12)$$

Для нашого випадку:

$$PV = (1,0\dots5) \times 65 = 2,0 \times 67 = 134 \text{ (тисяч грн.)}.$$

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

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

де  $\text{ПП}$  – приведена вартість збільшення всіх чистих прибутків для інвестора від можливого впровадження нашої розробки, грн;

$PV$  – теперішня вартість інвестицій  $PV = 134$  тисяч грн.

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

$$E_{\text{абс.}} = 949 - 134 = 815 \text{ (тисяч грн.)}.$$

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

Далі розрахуємо внутрішню дохідність  $E_{\text{в}}$  вкладених інвестицій:

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

де  $E_{\text{абс}}$  – абсолютний ефект вкладених інвестицій;  $E_{\text{абс}} = 815$  тис. грн;

$PV$  – теперішня вартість початкових інвестицій  $PV = 134$  тис. грн;

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

$T_{\text{ж}} = 5$  років (2022-й, 2023-й, 2024-й, 2025-й, 2026-й роки)

Для нашого випадку отримаємо:

$$E_{\text{в}} = \sqrt[5]{1 + \frac{815}{134}} - 1 = \sqrt[5]{1 + 6,0821} - 1 = \sqrt[5]{7,0821} - 1 = 1,479 - 1 = 0,479 = 47,9\%.$$

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

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

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

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

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

Для нашого випадку отримаємо:

$$\tau_{\text{мін}} = 0,08 + 0,30 = 0,38,$$

або  $\tau_{\text{мін}}$  дорівнює 38%.

Оскільки величина  $E_{\text{в}} = 47,9\% > \tau_{\text{мін}} = 38\%$ , то потенційний інвестор у принципі може бути зацікавлений у фінансуванні та комерціалізації розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу.

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

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

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

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

$$T_{ок} = \frac{1}{0,479} = 2,09 \text{ (років)},$$

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

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

Тоді:

$$\begin{aligned} \text{ПП} &= \frac{205}{(1+0,3)^1} + \frac{273}{(1+0,3)^2} + \frac{342}{(1+0,3)^3} + \frac{410}{(1+0,3)^4} = \\ &\approx 158 + 162 + 156 + 144 = 620 \text{ (тисяч грн.)}. \end{aligned}$$

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

$$E_{абс} = 520 - 134 = 486 \text{ (тисяч грн.)}.$$

Внутрішня дохідність  $E_b$  вкладених інвестицій становитиме:

$$E_B = \sqrt[T_{ж}]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1 [\%], \quad (5.17)$$

де  $E_{абс}$  – абсолютний ефект вкладених інвестицій;  $E_{абс} = 486$  тисяч грн;

$PV$  –теперішня вартість початкових інвестицій  $PV = 134$  тисяч грн.

Для нашого випадку отримаємо:

$$E_B = \sqrt[5]{1 + \frac{486}{134}} - 1 = \sqrt[5]{1 + 3,6268} - 1 = \sqrt[5]{4,6268} - 1 = 1,358 - 1 = 0,358 = 35,8\%.$$

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

Тоді:

$$\begin{aligned} \text{ПП} &= \frac{205}{(1+0,5)^1} + \frac{273}{(1+0,5)^2} + \frac{342}{(1+0,5)^3} + \frac{410}{(1+0,5)^4} = \\ &\approx 137 + 121 + 101 + 81 = 440 \text{ (тисяч грн.)}. \end{aligned}$$

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

$$E_{абс} = 440 - 134 = 306 \text{ (тисяч грн.)}.$$

Внутрішня дохідність  $E_B$  вкладених інвестицій становитиме:

$$E_B = \sqrt[T_{ж}]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1 [\%], \quad (5.18)$$

де  $E_{абс}$  – абсолютний ефект вкладених інвестицій;  $E_{абс} = 306$  тисяч грн;

$PV$  –теперішня вартість початкових інвестицій  $PV = 134$ тисяч грн.

Для нашого випадку отримаємо:

$$E_B = \sqrt[5]{1 + \frac{306}{134}} - 1 = \sqrt[5]{1 + 2,2839} - 1 = \sqrt[5]{3,2839} - 1 = 1,268 - 1 = 0,268 = 26,8\%.$$

Зроблені розрахунки у вигляді графіків наведено на рисунку 5.1.

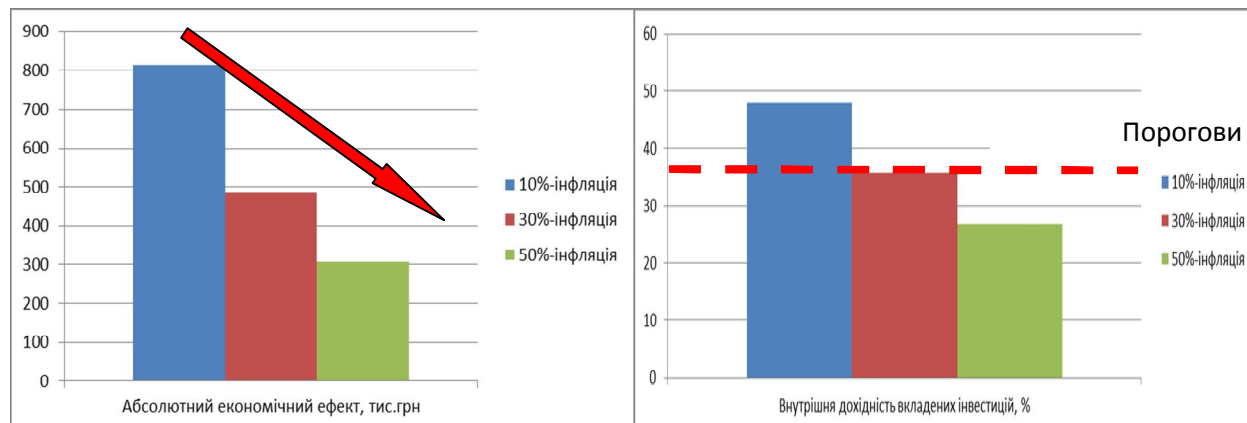


Рисунок 5.1 – Моделювання залежності величини абсолютного економічного ефекту та внутрішньої дохідності потенційних інвестицій від рівня інфляції в країні

Аналіз графіка на рисунку 5.1 показує, що зі зростанням рівня інфляції майбутня вартість отриманих доходів (майбутня вартість абсолютного економічного ефекту) буде стрімко падати. Зокрема, при зростанні рівня інфляції з 10% до 30% ця вартість зменшуються з 815 тисяч грн до 486 тисяч грн, а при інфляції у 50% ця вартість зменшується до 306 тисяч грн.

Окрім цього, при рівні інфляції в 10% величина внутрішньої дохідності інвестицій становить  $E_B = 47,9\%$ , що більше порогового значення  $\tau_{\min} = 38\%$ , і тому комерціалізація нашої розробки може бути доцільною; при рівні інфляції в 30% величина внутрішньої дохідності інвестицій становить  $E_B = 35,8\%$ , що дещо менше порогового значення  $\tau_{\min} = 38\%$ , і у потенційного інвестора можуть виникнути сумніви у подальшій комерціалізації розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу; при рівні інфляції у 50% величина внутрішньої дохідності інвестицій становить всього  $E_B = 26,8\%$ , що значно менше

порогового значення  $\tau_{\text{мін}} = 38\%$ , і тому комерціалізація нашої розробки (при нинішніх умовах, що складатся) буде для інвестора проблематичною. Для прийняття остаточних рішень потрібні будуть додаткові обґрунтування і розрахунки.

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



## ВИСНОВКИ

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

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

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

В результаті виконання дослідницьких та проектних робіт у розділі 3 магістерської кваліфікаційної роботи було сформоване загальне бачення процесу виконання стадії «Аналіз реального автоматизованого ТП» при практичному вивченні цифрової трансформації ТП пакування готової продукції. На основі цього бачення був розроблений детальний алгоритм виконання робіт студентом та

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

В результаті виконання дослідницьких та проектних робіт у розділі 4 магістерської кваліфікаційної роботи була обґрунтована модель діяльностей заключної стадії практичного вивчення цифрової трансформації АТП пакування готової продукції, які виконують студент і викладач. На основі запропонованого методу онтологічного дослідження предметної області промислової автоматизації І4.0 була побудована її концептуальна модель та означені способи її використання для цифрової трансформації даного АТП. В якості прикладів результатів, які студенти можуть отримати в ході практичного вивчення, було розроблений ескізний проєкт початкової цифрової трансформації АТП пакування готової продукції, а також концепція його поглибленої цифрової трансформації.

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

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Прогулка по фабрике будущего [Електронний ресурс]: Ua.Automation.com. URL: <http://ua.automation.com/content/progulka-po-fabrike-budushhego>.
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. Юрчак О. Цифровая трансформация производственного предприятия [Електронний ресурс] . URL: <https://industry4-0-ukraine.com.ua/2017/06/>.
7. Лабораторна модель промислового роботизованої пакувальної лінії (фаза 3 основного технологічного процесу) / Укладач: Папінов В.М. – Вінниця, ВНТУ, 2020. – 12 с.
8. NX Industrial Electrical Design for Industrial Machinery [Електронний ресурс] . URL: <https://youtu.be/3AeDfiP4zaQ>.
9. Robot Optimization - Stud Welding [Електронний ресурс] . URL:

<https://youtu.be/vTu1Ar4pmJg>.

10. Плоская О. Машинное обучение в промышленности — формула успеха / О. Плоская // Открытые системы. СУБД, – 2018. – № 03 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.osp.ru/os/2018/03/13054409/>.

11. Проценко М.І. Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення цифрової трансформації технологічного процесу пакування готової продукції / М.І. Проценко, В. М. Папінов / Матеріали 51-ої Науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ) [Електронний ресурс]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2022/paper/view/14853/12588>.

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

13. Industry 4.0 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.italtel.com/industries/industry40/>.

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

15. Автоматизация производства [Электронный ресурс]. URL: [http://opiobjektid.tptlive.ee/Automatiseerimine/4\\_\\_.html](http://opiobjektid.tptlive.ee/Automatiseerimine/4__.html).

16. Технологический процесс [Электронный ресурс]. URL: [http://opiobjektid.tptlive.ee/Automatiseerimine/3\\_\\_.html](http://opiobjektid.tptlive.ee/Automatiseerimine/3__.html).

17. Широков Ю. Интеллектуальные решения ИЕІ для производства // Современные технологии автоматизации. – 2020. - №1. - С.68-75.

18. KUKA.Sim 4.1 конфигурация SafeOperation Час2: Места мониторинга, опорная позиция, контроль скорости. [Электронный ресурс]. URL: <https://youtu.be/mv2YGEcy5sg>.

19. Plant Simulation : 3D Animation [Электронный ресурс]. URL: <https://youtu.be/Sns0JNfevfl>.

20. Overview of digital transformation: market size, benefits and trends [Электронный ресурс]. URL: <https://www.analyticsinsight.net/overview-of-digital-transformation-market-size-benefits-and-trends/>.

21. The evolution of digital transformation [Електронний ресурс]. URL: <https://www.analyticsinsight.net/the-evolution-of-digital-transformation/>.
22. 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>.
23. 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](https://hbr.org/2021/09/the-4-tiers-of-digital-transformation?ab=at_art_art_1x4_s02).
24. Digital Transformation in the Manufacturing Industry [Електронний ресурс]. URL: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=U0FjPgF5ZsA>.
25. 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.
26. Пупена О.М. Принципи функціонування систем керування основним виробництвом через призму стандарту ІЕС-62264 / О.М. Пупена, О.М. Клименко, Р.М. Міркевич. – К.: НУХТ, 2019. – 49 с.
27. Implementing Industrie 4.0: This is how it works! [Електронний ресурс]: Festo Corporate. URL : <https://youtube/ZCLHojIj7eA>.
28. MBSE for Dummies: Rethinking your systems engineering approach [Електронний ресурс]. URL : <https://youtu.be/KR6bb8HRzzc>.
29. Папінов В.М. Організація віртуального виробництва в лабораторії 5303 [Електронний ресурс]. URL : [https://iq.vntu.edu.ua/b04213/html/nlr/nlr.php?card\\_id=41175&id=960&renum=1](https://iq.vntu.edu.ua/b04213/html/nlr/nlr.php?card_id=41175&id=960&renum=1).
30. Папінов В.М. Лабораторне завдання для роботи №4 на тему «Вивчення лабораторної імітації інтегрованої АСУ виробництвом» [Електронний ресурс]. URL : [https://iq.vntu.edu.ua/b04213/html/nlr/nlr.php?card\\_id=41175&id=960&renum=1](https://iq.vntu.edu.ua/b04213/html/nlr/nlr.php?card_id=41175&id=960&renum=1).
31. Visio: Працюйте з графічним представленням даних, де і коли вам

потрібно [Електронний ресурс]. URL : <https://www.microsoft.com/uk-ua/microsoft-365/visio/flowchart-software>.

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

33. Вы готовы к производственной среде будущего? (Are you ready for future of manufacturing?) [Электронная книга] / URL: [www.3ds.com](http://www.3ds.com).

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

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

36. Hwang G., Lee J., Park J., Chang T.-W. Developing performance measurement system for Internet of Things and smart factory environment // International Journal of Production Research. 2017. V. 55. N 9. P. 2590–2602. doi: 10.1080/00207543.2016.1245883.

37. Qu T., Thurer M., Wang J., Wang Z., Fu H., Li C. System dynamics analysis for an Internet-of-Things-enabled production logistics system // International Journal of Production Research. 2017. V. 55. N 9. P. 2622–2649. doi: 10.1080/00207543.2016.1173738.

38. Vogel-Heuser B., Rosch S., Fischer J., Simon Th., Ulewicz S., Folmer J. Fault handling in PLC-based Industry 4.0 automated production systems as a basis for restart and self-configuration and its evaluation // Journal of Software Engineering and Applications. 2016. V. 9. N 1. P. 1–43. doi: 10.4236/jsea.2016.91001.

39. 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]. – Режим доступу : [www.mdpi.com/journal/applsci](http://www.mdpi.com/journal/applsci).

40. Peter Adolphs. RAMI 4.0: An architectural Model for Industrie 4.0/URL: [www.plattform-i40.de](http://www.plattform-i40.de).

41. Трехмерная эталонная архитектурная модель RAMI 4.0 / URL: [https://www.phoenixcontact.com/online/portal/ru?1dmy&urile=wcm:path:/ruru/web/offcontext/insite\\_landing\\_pages/1323f37f-e566-4009-8645-661c715cea23/6ddf5dfb-dbc47c8-8f1a-dc915d263cd3/605016fb-ed97-4b22-a6fb-de1f93556226/605016fb-ed97-4b22-a6fb-de1f93556226](https://www.phoenixcontact.com/online/portal/ru?1dmy&urile=wcm:path:/ruru/web/offcontext/insite_landing_pages/1323f37f-e566-4009-8645-661c715cea23/6ddf5dfb-dbc47c8-8f1a-dc915d263cd3/605016fb-ed97-4b22-a6fb-de1f93556226/605016fb-ed97-4b22-a6fb-de1f93556226)

42. Система управления жизненным циклом создает условия инвестиционной безопасности для производителей и пользователей / URL: ([https://www.phoenixcontact.com/online/portal/ru?1dmy&urile=wcm%3apath%3a/ruru/web/offcontext/insite\\_landing\\_pages/1323f37f-e566-4009-8645-661c715cea23/6ddf5dfb-dbc47c8-8f1a-dc915d263cd3/e3a1dea8-20e3-4e25-a3ba-f9836a1c99a8/e3a1dea8-20e3-4e25-a3ba-f9836a1c99a8](https://www.phoenixcontact.com/online/portal/ru?1dmy&urile=wcm%3apath%3a/ruru/web/offcontext/insite_landing_pages/1323f37f-e566-4009-8645-661c715cea23/6ddf5dfb-dbc47c8-8f1a-dc915d263cd3/e3a1dea8-20e3-4e25-a3ba-f9836a1c99a8/e3a1dea8-20e3-4e25-a3ba-f9836a1c99a8)).

43. Пупена О. Огляд сучасних стандартів інтегрованого виробництва / О. Пупена, І. Ельперін, Р. Міркевич Є. // Автоматизація технологічних і бізнес - процесів. – 2016. – Т. 8. – №3. – С. 63-74.

44. Рангараджан К. Индустрия 4.0 и ПоТ: появление промышленных роботов / К. Рангараджан, Г. Чугала [Электронный ресурс]. URL: <https://www.electronicdesign.com/industrial-automation//article/21216385/infineon-technologies-industry-40-and-iiot-the-rise-of-industrial-robots>.

45. Воскресенская М. АИОТ для умных фабрик / М. Воскресенская // Современные технологии автоматизации. – 2022. - №2. - С. 16÷18.

46. Аспекты внедрения искусственного интеллекта на транспорте и в критически ответственных секторах // Современные технологии автоматизации. – 2022. - №2. - С. 24÷33.

47. Кабачник Д. Искусственный интеллект в промышленных граничных вычислениях // Д. Кабачник // Современные технологии автоматизации. – 2022. - №2. - С. 36÷43.

48. Китов В. Практические аспекты машинного обучения [Электронный ресурс]: Открытые системы. – 2016. - №1. URL : <https://www.osp.ru/os/2016/01/13048648/>.

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

50. Пирогов М.А. ThingWorx – платформа разработки эффективных решений по цифровой трансформации сельского хозяйства [Электронный ресурс]. URL : <http://events.agbz.ru/>.
51. Офіційний сайт Kerware Technologies [Електронний ресурс]. URL : [www.kerware.com](http://www.kerware.com).
52. Industrial Connectivity [Електронний ресурс] : Kerware Technologies. URL : <https://www.kerware.com/products/kepserverex/>.
53. Широков Ю. Интеллектуальные решения ИЕІ для производства / Ю. Широков// Современные технологии автоматизации. – 2020. - №1. - С.68-75.
54. Кабачник Д. Искусственный интеллект в промышленных граничных вычислениях / Д. Кабачник // Современные технологии автоматизации. – 2022. - №2. - С.36-43.
55. FreeCAD [Електронний ресурс]. URL: [www.freecad.com](http://www.freecad.com).
56. Рангараджан К. Индустрия 4.0 и IIoT: появление промышленных роботов / К. Рангараджан, Г. Чугала [Електронний ресурс]. URL: <https://www.electronicdesign.com/industrial-automation//article/21216385/infineon-technologies-industry-40-and-iiot-the-rise-of-industrial-robots>.
57. KUKA.Sim [Електронний ресурс]. URL: [https://www.kuka.com/en-ca/products/robotics-systems/software/simulation-planning-optimization/kuka\\_sim](https://www.kuka.com/en-ca/products/robotics-systems/software/simulation-planning-optimization/kuka_sim).
58. Deep dive: Digitization of Production Processes with KUKA.Sim : Webinar KUKA Simulation [Електронний ресурс]. URL: <https://youtu.be/SzCV5SbeHms>.
59. Would you like to try out these functions live on my.KUKA? [Електронний ресурс]. URL: <https://www.kuka.com/en-ca/services/my-kuka>.
60. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт. / Укладачі В.О. Козловський, О.Й. Лесько, В.В.Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.



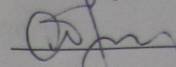
## **ДОДАТКИ**

**ДОДАТОК А**  
(обов'язковий)

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

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Завідувач кафедри АІТ

 Бісікало О.В.

«12» 10 2022 р.

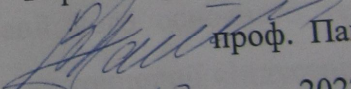
**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на науково-дослідну роботу

«Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення цифрової трансформації процесу пакування готової продукції»

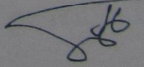
08-02.МКР.008.00.000 ТЗ

Керівник роботи:

 проф. Папінов В.І.

«12» 12 2022 р.

Виконавець: студент гр. 1АКІТ-21

 Проценко

«12» 12 2022 р.

Вінниця – 2022 рік

## **1 Назва і галузь застосування**

Комп'ютеризований навчальний засіб (КНЗ) для практичного вивчення цифрової трансформації процесу пакування готової продукції.

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

## **2 Підстава для виконання НДР**

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

## **3 Мета та призначення НДР**

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є створення на основі існуючого інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне виробництво» КНЗ для практичного вивчення студентами спеціальності 151 методів та засобів цифрової трансформації його основного технологічного процесу пакування готової продукції в рамках концепції «Індустрія 4.0» ..

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

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

## **4 Джерела НДР**

Джерелами розробки є такі:

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

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

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

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

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

## **5 Показники призначення НДР**

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

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

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

Задачі, що вирішуються в ході НДР:

1. Детальне вивчення існуючої реалізації інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне виробництво».

2. Дослідження методів та засобів цифрової трансформації існуючого виробництва у перспективне «розумне» цифрове виробництво.

3. Техніко-економічне та науково-технічне обґрунтування загального бачення нового КНЗ.

4. Розробка технічного завдання на науково-дослідну роботу.

5. Проектування програмно-технічного забезпечення нового КНЗ.

6. Розробка навчально-методичного забезпечення нового КНЗ.

Новий КНЗ має будуватися за архітектурою, що описана в розділі 1 та показана на рисунку 1.27. Ця архітектура будується на основі таких моделей, існуючих в лабораторії «Промислова мікропроцесорна техніка» ФІПА:

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

Архітектура нового КНЗ відображає послідовність практичного вивчення студентом усіх основних стадій процесу цифрової трансформації існуючого автоматизованого ТП пакування готової продукції, який моделюється в лабораторії, у аналогічний ТП реального «розумного» виробництва, що функціонує в рамках концепції «Індустрія 4.0».

Перша стадія практичного вивчення студентом процесу цифрової

трансформації має складатися з двох таких етапів:

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

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

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

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

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

- пошук способу вдосконалення існуючого автоматизованого ТП за рахунок впровадження сучасних цифрових технологій, які лежать в основі «розумного» виробництва в рамках концепції «Індустрія 4.0» (виконується студентом з використанням доступних інформаційних ресурсів Інтернет та

навчально-методичними матеріалами, наданих викладачем).

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

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

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

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

Умови експлуатації навчального засобу:

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

## **6 Економічно-технічні показники НДР**

До основних економічних показників розробки треба віднести такі:

- термін окупності інвестицій до 3 років;
- витрати на розробку навчального засобу, тис. грн.. – до 70,0 ;
- абсолютний ефект від впровадження, тис. грн.. – не менше 1000,0;
- внутрішня дохідність інвестицій, % – не менше 40 ;

## **7 Стадії НДР**

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

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

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

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

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

## **8 Порядок контролю та приймання НДР**

8.1 Рубіжний контроль – 02.12.22 р.

8.2 Попередній захист – 12.12.22 р.

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



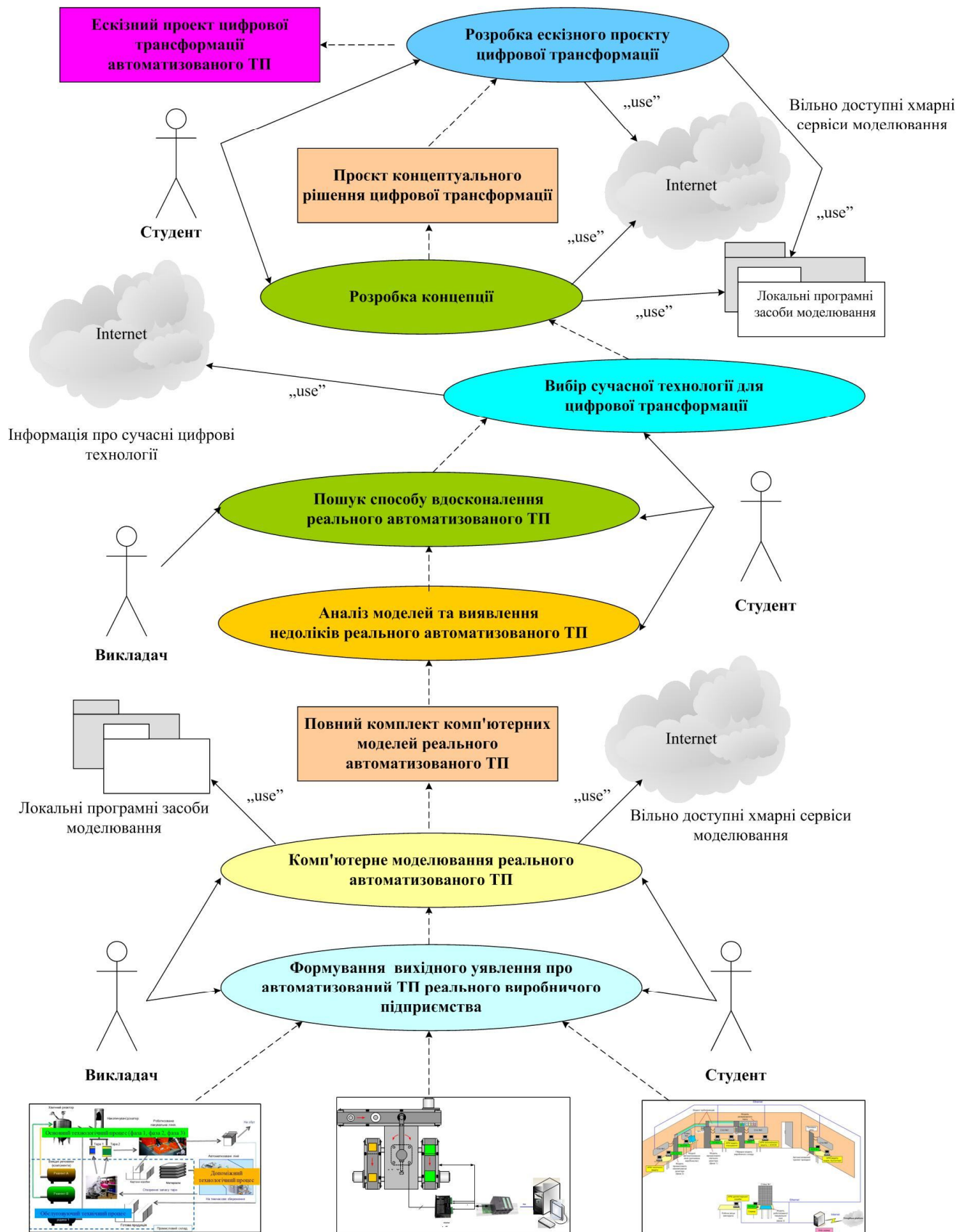
## **ДОДАТОК Б**

(обов'язковий)

### **ГРАФІЧНА ЧАСТИНА**

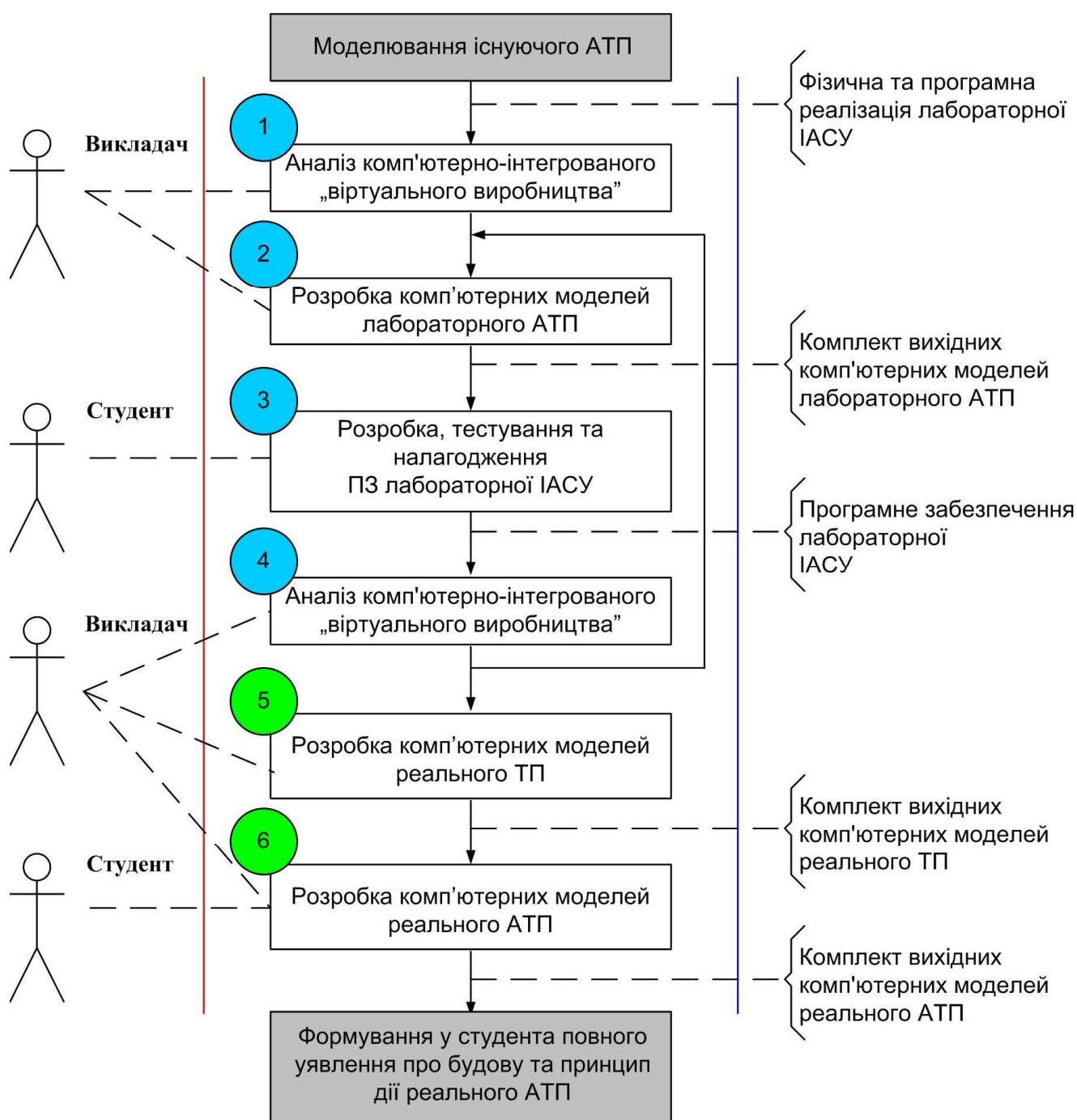
**КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАСІБ ДЛЯ ПРАКТИЧНОГО  
ВИВЧЕННЯ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ПРОЦЕСУ ПАКУВАННЯ  
ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ**

# АРХІТЕКТУРА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАСОБУ



Фізична та програмна реалізація ІАСУ технологічним процесом „віртуального виробництва”

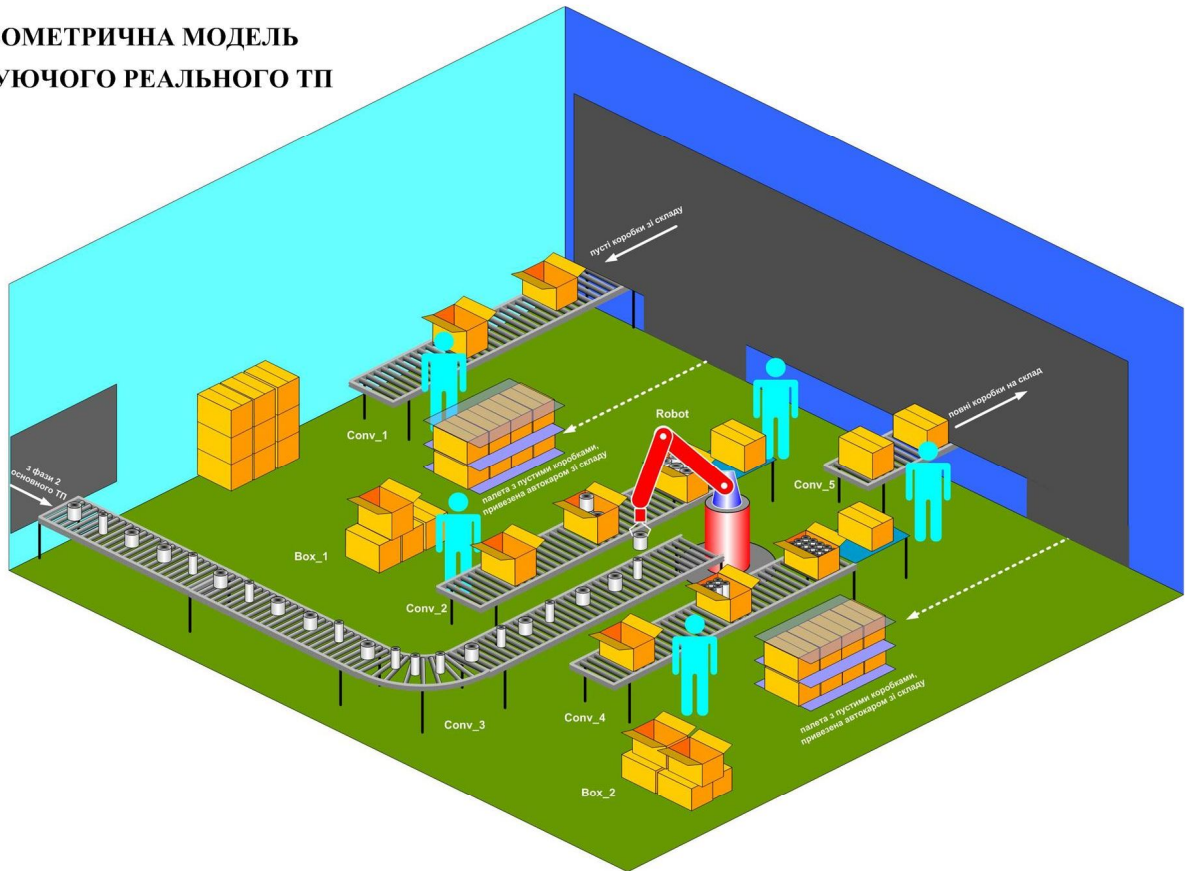
# АЛГОРИТМ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ "МОДЕЛЮВАННЯ ІСНУЮЧОГО АТП"



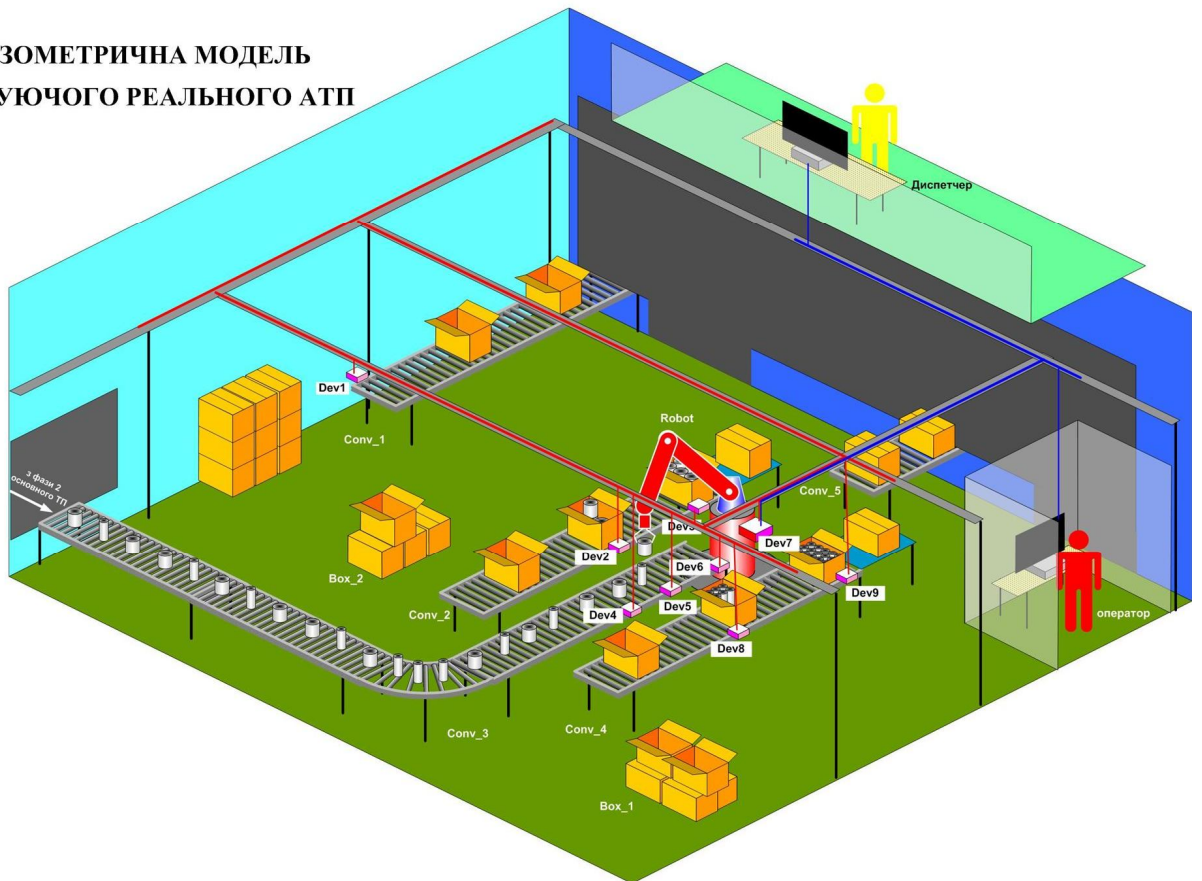


# МОДЕЛЮВАННЯ ІСНУЮЧОГО РЕАЛЬНОГО АТП

ІЗОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ  
ІСНУЮЧОГО РЕАЛЬНОГО АТП

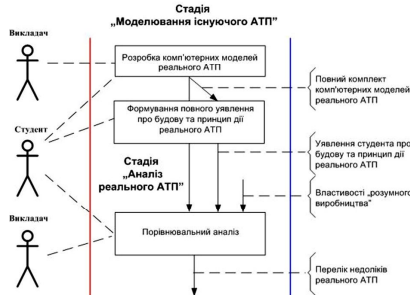


ІЗОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ  
ІСНУЮЧОГО РЕАЛЬНОГО АТП

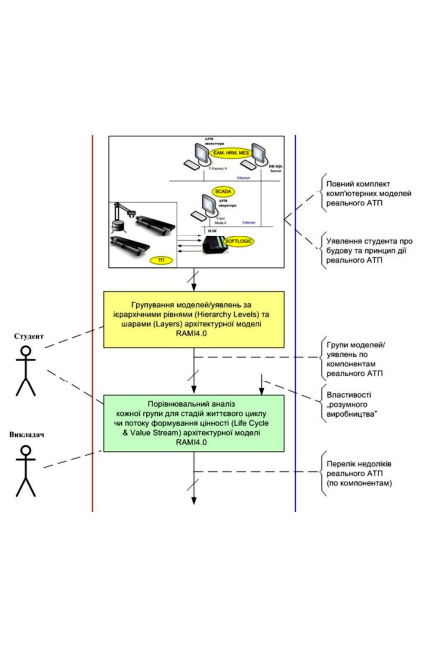


# ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ "АНАЛІЗ РЕАЛЬНОГО АТП"

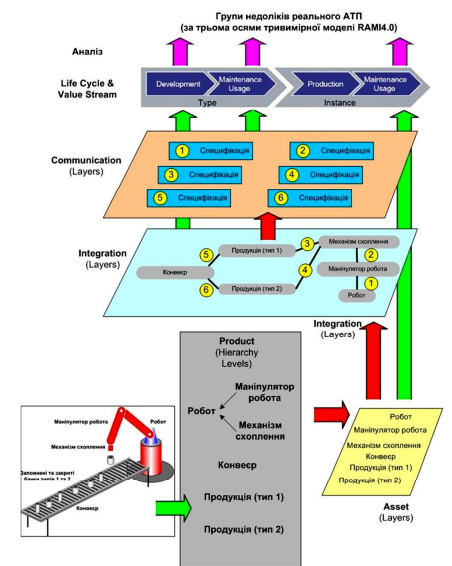
## ЗАГАЛЬНЕ БАЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ



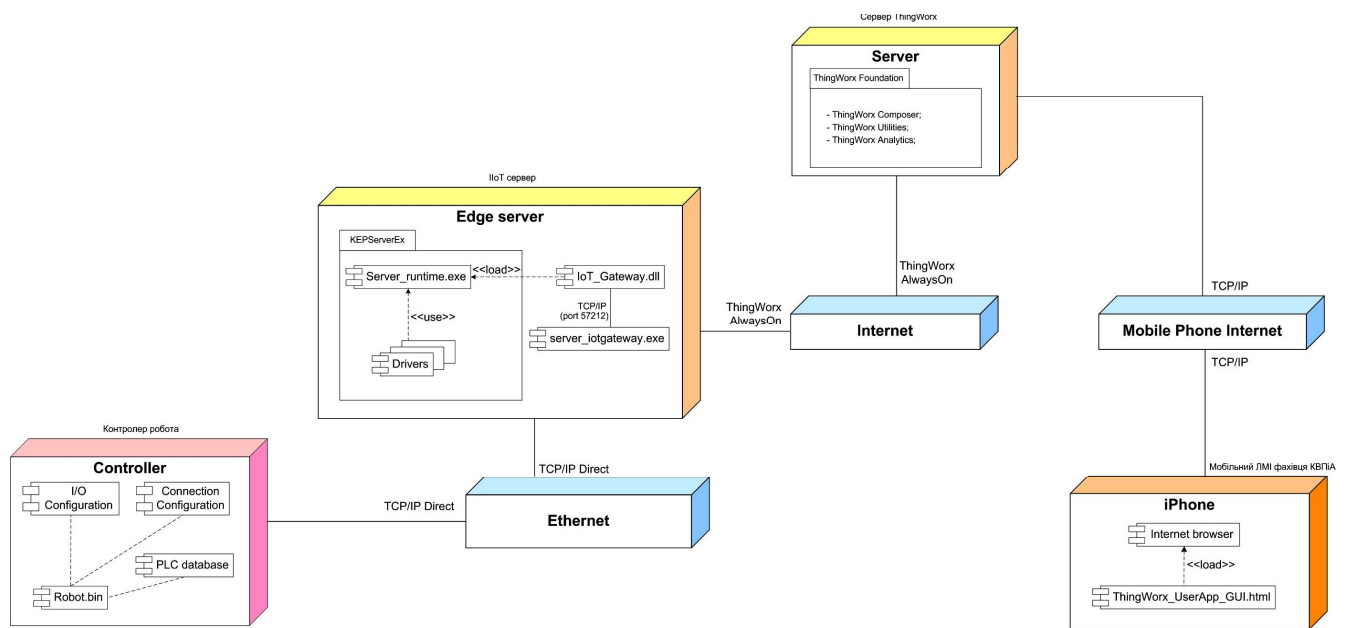
## АЛГОРИТМ ВИКОНАННЯ СТАДІЇ



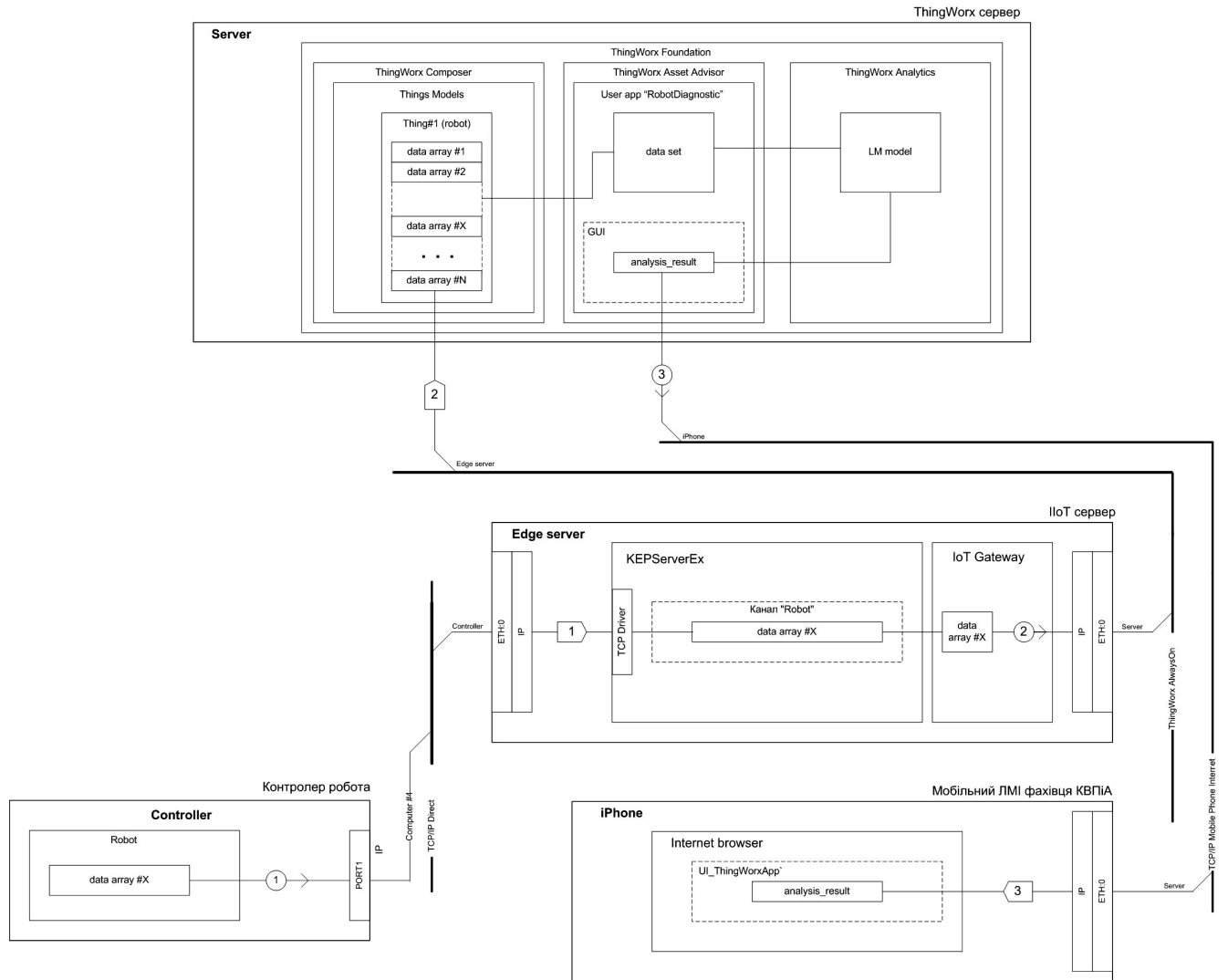
## ПРИКЛАД ПРАКТИЧНОГО ВИКОНАННЯ СТАДІЇ



## ПРОЄКТ АРХІТЕКТУРИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АТП ДЛЯ І4.0



## СХЕМА МЕРЕЖНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ АТП ДЛЯ І4.0





**ДОДАТОК В**  
(довідковий)

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ  
НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ**

Назва роботи: *Магістерська кваліфікаційна робота*  
*«Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення*  
*цифрової трансформації процесу пакування готової продукції»*

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

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

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

Показники звіту подібності

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

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

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

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

Автор \_\_\_\_\_ Проценко М.І.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення: Допустити до захисту

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