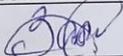


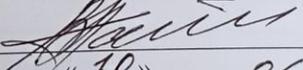
Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:
**«Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення
автоматизованого адитивного виробництва»**

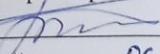
Виконав: здобувач 2 курсу, групи АКІТР-23мз,
спеціальності 174 – «Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

 Любомир ЗАТАЙДУХ

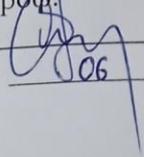
Керівник: к.т.н., проф. кафедри АІТ

 Володимир ПАПІНОВ
« 10 » 06 2025 р.

Опонент: проф. каф. КСУ, к.т.н.

 Микола БИКОВ
« 19 » 06 2025 р.

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

 Олег БІСІКАЛО
« 23 » 06 2025 р.

Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»
Спеціальність-174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
Освітньо-професійна програма – Інтелектуальні комп'ютерні системи

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри АІТ
д.т.н., професор
Олег БІСІКАЛО
« 21 » 03 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу
Затайдух Любомира Анатолійовича

1. **Тема роботи** Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення автоматизованого адитивного виробництва

керівник роботи Папінов Володимир Миколайович, к.т.н., проф. каф. АІТ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ВНТУ № 96 від 20.03.2025 р.

2. **Строк подання студентом роботи** 10 червня 2025 р.

3. **Вихідні дані до роботи** Комп'ютеризований навчальний засіб (КНЗ) призначений для забезпечення практикумів професійних дисциплін "Кіберфізичні системи автоматизації виробництва" (4 курс бакалаврської підготовки) та "Промисловий Інтернет речей" (1 курс магістерської підготовки). КНЗ створюється на основі існуючого інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне виробництво» (лабораторія 5303 факультету ІТА). Предметом вивчення на КНЗ є методи інформаційної інтеграції 3D-принтера у існуюче «віртуальне виробництво» як інструменту його цифрової трансформації у цифрове адитивне виробництво, що відповідає концепції «Індустрія 4.0». КНЗ повинний створювати умови для індивідуальної когнітивної діяльності здобувачів при рішенні реальних проєктних задач цифрової трансформації існуючого автоматизованого виробництва

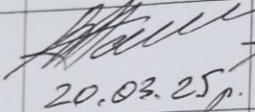
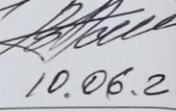
4. **Зміст пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно дослідити)

1) Науково-технічне обґрунтування роботи. 2) Проєктування інформаційної інтеграції комп'ютеризованого навчального засобу. 3) Практична реалізація комп'ютеризованого навчального засобу 4) Економічний розділ

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

1) Границя інформаційного середовища ІСУ лабораторним віртуальним виробництвом.
2) Інформаційний перехід від ІСУ віртуальним виробництвом до ІСУ реальним виробництвом.
3) Концептуальне рішення нового КНЗ. 4) Комп'ютеризований навчальний засіб. Схема інформаційних потоків. 5) Комп'ютеризований навчальний засіб. Схема електрична структурна.
6) Моделювання на комп'ютеризованому навчальному засобі елементів автоматизованого виробництва

6. Консультанти розділів роботи

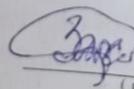
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-3	Володимир ПАПІНОВ, к.т.н., професор кафедри АІТ	 20.03.25 р.	 10.06.25
Економічний розділ	Володимир КОЗЛОВСЬКИЙ, к.е.н., професор кафедри ЕПВМ		

7. Дата видачі завдання 20.03.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання		Примі
		початок	закінчення	
1	Науково-технічне обґрунтування роботи.	15.03.25 р.	26.05.25 р.	вик.
2	Розробка технічного завдання на магістерську кваліфікаційну роботу	15.03.25 р.	26.05.25 р.	вик.
3	Проектування інформаційної інтеграції КНЗ	15.03.25 р.	26.05.25 р.	вик.
4	Практична реалізація КНЗ	27.05.25 р.	10.06.25 р.	вик.
5	Економічний розділ	15.03.25 р.	10.06.25 р.	вик.
6	Перевірка ПЗ на відповідність вимогам	11.06.25 р.	12.06.25 р.	вик.
8	Попередній захист, доопрацювання та рецензування МКР	13.06.25 р.	13.06.25 р.	вик.
9	Захист МКР	16.06.25 р.	30.06.25 р.	вик.

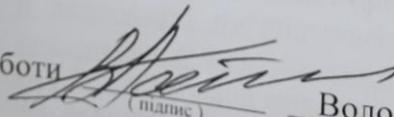
Здобувач



(підпис)

Любомир ЗАТАЙДУХ

Керівник роботи



(підпис)

Володимир ПАПІНОВ

АНОТАЦІЯ

УДК 378.162+681.51

Затайдух Л. А. Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення автоматизованого адитивного виробництва. Вінниця: ВНТУ, 2025, 110 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 28 назв; рис.: 42; табл. 6.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є розробка комп'ютеризованого навчального засобу для забезпечення практикумів професійних дисциплін "Кіберфізичні системи автоматизації виробництва" (4 курс бакалаврської підготовки) та "Промисловий Інтернет речей" (1 курс магістерської підготовки). Новий комп'ютеризований навчальний засіб будується на основі інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне виробництво», що дозволяє за рахунок використання наявних інструментальних середовищ та додаткового реального 3D-принтера підвищити ефективність практичної підготовки здобувачів шляхом виконання навчального проєкту цифрової трансформації допоміжного «віртуального виробництва» у адитивне виробництво на основі 3D-принтера.

Ілюстративна частина складається з 6 плакатів.

Ключові слова: кіберфізична система автоматизації виробництва, промисловий Інтернет речей, цифрова трансформація, розумне виробництво, навчальне проектування, комп'ютеризована навчальна лабораторія

ABSTRACT

Zatajduch L.A. Computerized training tool for hands-on learning of automated additive manufacturing. Vinnytsia: VNTU, 2025, 110 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 28 titles; Fig.: 42; table 6.

The purpose of the master's qualification work is to develop a computerized educational tool to provide practical training in the professional disciplines "Cyber-Physical Systems of Production Automation" (4th year of bachelor's training) and "Industrial Internet of Things" (1st year of master's training). The new computerized educational tool is built on the basis of an information and educational environment of the "virtual production" type, which allows, through the use of existing tool environments and an additional real 3D printer, to increase the efficiency of practical training of applicants by implementing an educational project of digital transformation of auxiliary "virtual production" into additive production based on a 3D printer.

The graphic part consists of 6 posters.

Keywords: cyber-physical production automation system, industrial Internet of Things, digital transformation, smart manufacturing, instructional design, computerized training laboratory

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСУ – автоматизована система управління.

АСУВ – автоматизована система управління виробництвом.

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом.

АСУП – автоматизована система управління підприємством.

ІСУ – інтегрована система управління

ТП – технологічний процес.

ТЗА – технічний засіб автоматизації.

ПК – промисловий комп'ютер;

ПЛК – програмований логічний контролер.

ПЗ – програмне забезпечення.

ФСА – функціональна схема автоматизації.

ЛМІ – людино-машинний інтерфейс.

ЛНЗ – лабораторний навчальний засіб.

ФПТА – факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації.

ВНТУ – Вінницький національний технічний університет.

PLC – Programmable Logic Controller.

HMI – Human-Machine Interface.

SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition.

MES/MOM - Manufacturing Execution System/Manufacturing Operations Management.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ	7
1.1 Аналіз існуючого лабораторного віртуального виробництва	7
1.2 Методика цифрової трансформації віртуального виробництва.....	14
1.3 Дослідження адитивного виробництва на основі 3D-принтерів	24
1.4 Розробка концептуального рішення нового КНЗ	29
1.5 Висновки до розділу	36
2 ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ІНТЕГРАЦІЇ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАСОБУ	37
2.1 Стандартна архітектурна модель цифрового виробництва	37
2.2 Проєктування концепції кіберфізичної системи для адитивного допоміжного виробництва	42
2.3 Архітектурне проєктування інформаційної інтеграції	45
2.4 Висновки до розділу	49
3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАСОБУ	50
3.1 Розробка технічного забезпечення КНЗ	50
3.2 Практичне реалізація стадії «Development» ЖЦ типу нової тари	57
3.3 Практичне реалізація стадії «Development» ЖЦ нового типу технологічного обладнання.....	64
3.4 Реалізація фізичного випробовування результатів цифрової трансформації віртуального виробництва.....	69
3.5 Висновки до розділу	72
4 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	74
4.1 Технологічний аудит розробленого комп'ютеризованого навчального засобу	74
4.2 Розрахунок витрат на розробку комп'ютеризованого навчального	

засобу.....	78
4.3 Розрахунок економічного ефекту від можливої комерціалізації нашої розробки	83
4.4 Висновки до розділу	90
ВИСНОВКИ	91
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	92
ДОДАТКИ	96
Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу	97
Додаток Б (обов'язковий) Ілюстративна частина	103
Додаток В (довідковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи	110

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 здобувачам 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 здобувачі мають отримувати практичні знання та набувати професійного досвіду у проектуванні та реалізації різноманітних систем та засобів автоматизації для цифрового виробництва. Тому створення нових ефективних навчальних засобів для навчально-методичного та технічного забезпечення такого лабораторного практикуму є актуальною задачею.

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

Метою магістерської кваліфікаційної роботи (МКР) є створення на основі існуючого інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне виробництво» комп'ютеризованого навчального засобу для дослідження здобувачами спеціальності 174 практичних методів його цифрової

трансформації [6] в рамках концепції «Індустрія 4.0» шляхом інформаційної інтеграції реального 3D-принтера у допоміжне виробництво [7, 8].

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

Предметом досліджень є підвищення ефективності навчального дослідження здобувачами практичних методів та засобів цифрової трансформації існуючого допоміжного виробництва у «розумне» цифрове виробництво за рахунок використання в навчальному практикумі сучасного комп'ютеризованого навчального засобу.

Задачі досліджень МКР:

1. Детальне вивчення існуючої реалізації інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне виробництво».
2. Дослідження методів та засобів цифрової трансформації сучасного підприємства у перспективне «розумне» цифрове підприємство.
3. Техніко-економічне обґрунтування концептуального рішення КНЗ.
4. Проектування інформаційної інтеграції КНЗ.
5. Розробка технічного забезпечення КНЗ.
6. Практична реалізація елементів інформаційної інтеграції КНЗ.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що на відміну від існуючих комп'ютеризованих навчальних засобів, новий засіб будується на основі інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне виробництво», що дозволяє за рахунок використання наявних інструментальних середовищ та додаткового реального 3D-принтера підвищити ефективність практичної підготовки здобувачів шляхом виконання навчального проекту цифрової трансформації допоміжного «віртуального виробництва» у адитивне виробництво на основі 3D-принтера [9, 10]).

Практична цінність отриманих результатів полягає в тім, що їх можна легко застосувати при створенні аналогічних лабораторних навчальних засобів

для підготовки фахівців споріднених галузей знань та спеціальностей.

Апробація результатів дослідження: основні результати виконання МКР опубліковані в матеріалах щорічної регіональної науково-практичної Інтернет-конференції здобувачів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (Вінниця, ВНТУ, 2025р.) [11].

Розробка комп'ютеризованого навчального засобу за темою магістерської кваліфікаційної роботи проводилась на основі індивідуального завдання, складеного та затвердженого кафедрою автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій ВНТУ, а також розробленого технічного завдання (додаток А).

1 НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ

1.1 Аналіз існуючого лабораторного віртуального виробництва

Віртуальне виробництво хімічної рідкої продукції створене в навчальній лабораторії №5303 ФІТА для підтримки практичних та лабораторних курсів цілої низки професійних та спеціальних дисциплін підготовки фахівців, в першу чергу, спеціальності 174. Монтаж комп'ютерного та лабораторного обладнання, а також усіх промислових зразків технічних засобів автоматизації, які разом утворюють інтегровану систему управління цим віртуальним виробництвом зроблений так, щоб на утворились окремі зони для таких п'яти управлінських структурних підрозділів (рисунок 1.1) [2-5]:

- «Відділ кадрів, бухгалтерія»;
- «Відділ планування»;
- «Технічний відділ»;
- «Економічний відділ»;

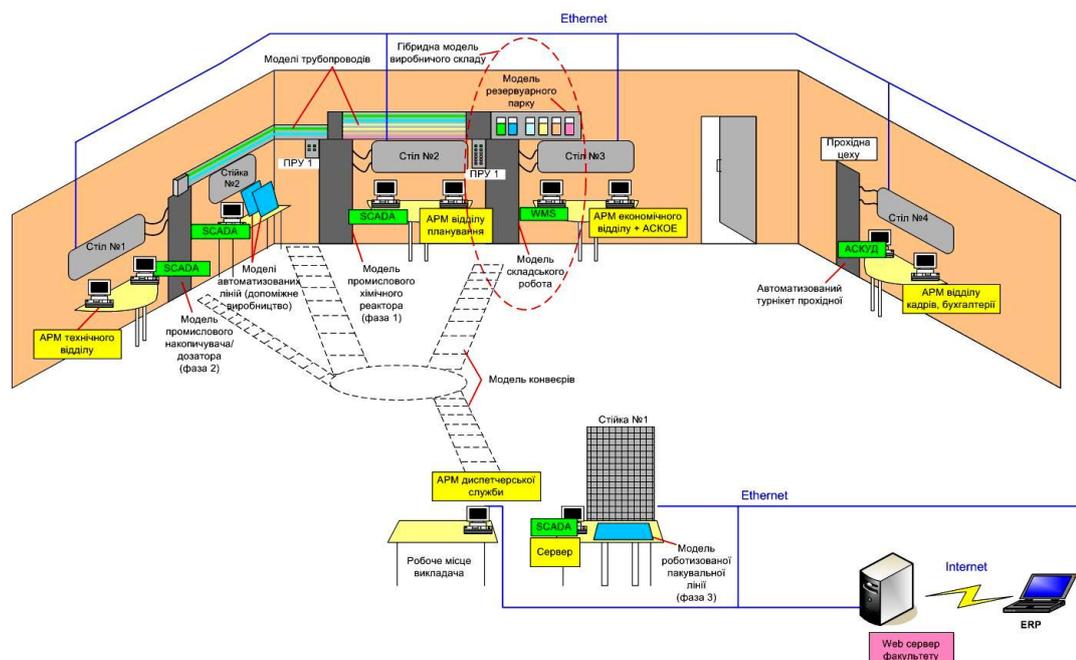


Рисунок 1.1 – Монтаж обладнання лабораторної ІСУ віртуальним виробництвом

– «Диспетчерська служба».

Як видно з рисунку, автоматизовані робочі місця (АРМ) відповідних управлінських підрозділів «віртуального виробництва» реалізовані в лабораторії таким чином:

– АРМ технічного відділу – на першому ПК універсального лабораторного столу №1;

– АРМ відділу планування – на другому ПК універсального лабораторного столу №2;

– АРМ економічного відділу з додатковою функцією обліку витрат енергетичних ресурсів – на другому ПК універсального лабораторного столу №3;

– АРМ відділу кадрів й бухгалтерії – на другому ПК універсального лабораторного столу №4;

– АРМ диспетчерської служби – на ПК робочого місця викладача;

– на сервері виробничих даних реального часу реалізована додаткова функція «Збір даних (Data collection)» управління «віртуальним виробництвом».

На АРМ відділу кадрів і бухгалтерії віртуального виробництва виконується основна стандартна управлінська функція «Управління ресурсами (Resource Management) типу "Виробничий персонал"» та дві додаткових функції – «Облік та моніторинг виконання виробничих завдань (HRM)» (підтримується основним програмним забезпеченням лабораторії – SCADA "Trace Mode 6 + T-Factory 6".) й «Організація матеріального заохочення виробничого персоналу».

На АРМ відділу планування виконується основна стандартна функція «Детальне планування (Detailed Scheduling)».

На АРМ технічного відділу виконується основна стандартна функція «Управління ресурсами (Resource Management) типу "Технологічне обладнання"» та дві додаткові управлінські функції – «Облік та моніторинг технологічного обладнання та технічних засобів автоматизації(ЕАМ)» й «Планування та управління технічним обслуговуванням (ММ)». Останні дві функції підтримуються основним програмним забезпеченням лабораторії – SCADA "Trace Mode 6 + T-Factory 6".

На АРМ економічного відділу виконуються три основні стандартні функції – «Аналіз ефективності (Performance analysis)», «Відслідковування виробництва (Tracking)», «Управління ресурсами типу "Матеріали, сировина, напівфабрикати" (RAS)», а також додаткова функція «Облік енергетичних витрат виробництва». Остання функція підтримується основним програмним забезпеченням лабораторії – SCADA "Trace Mode 6 + T-Factory 6".

На АРМ диспетчерської служби виконуються три основні стандартні функції – «Управління означенням (Definition Management)», «Диспетчеризація (Dispatching)», «Управління виробництвом (Execution Management)».

На рисунку 1.1 також показані персональні комп'ютери, на яких реалізуються функції АРМ операторів відповідних АСУТП/SCADA, до яких підключені відповідні промислові контролери.

Функції верхнього рівня лабораторної ІСУ (рівень ERP) реалізуються на основі додаткового комп'ютера, наприклад, ноутбука чи планшета, що дає змогу підключити ці програмні функції через мережу Internet до програмних функцій, реалізованих на АРМ управлінців «віртуального» виробництва.

Таке віртуальне виробництво імітує роботу деякого реального виробництва, даючи можливість здобувачам на практиці вивчати методи та засоби інтегрованого управління ним. Так, на рисунку 1.2 показана схема матеріальних потоків періодичного виробництва хімічної продукції для реального підприємства, яку також імітує лабораторне віртуальне

виробництво. На цій схемі показані усі складові частини реального виробничого процесу (фази 1-3 основного ТП, допоміжне виробництво), матеріальні потоки (рідкі і тверді), способи їх реалізації (трубопроводи, конвеєри) та усі запаси матеріальних ресурсів, створювані на виробництві.

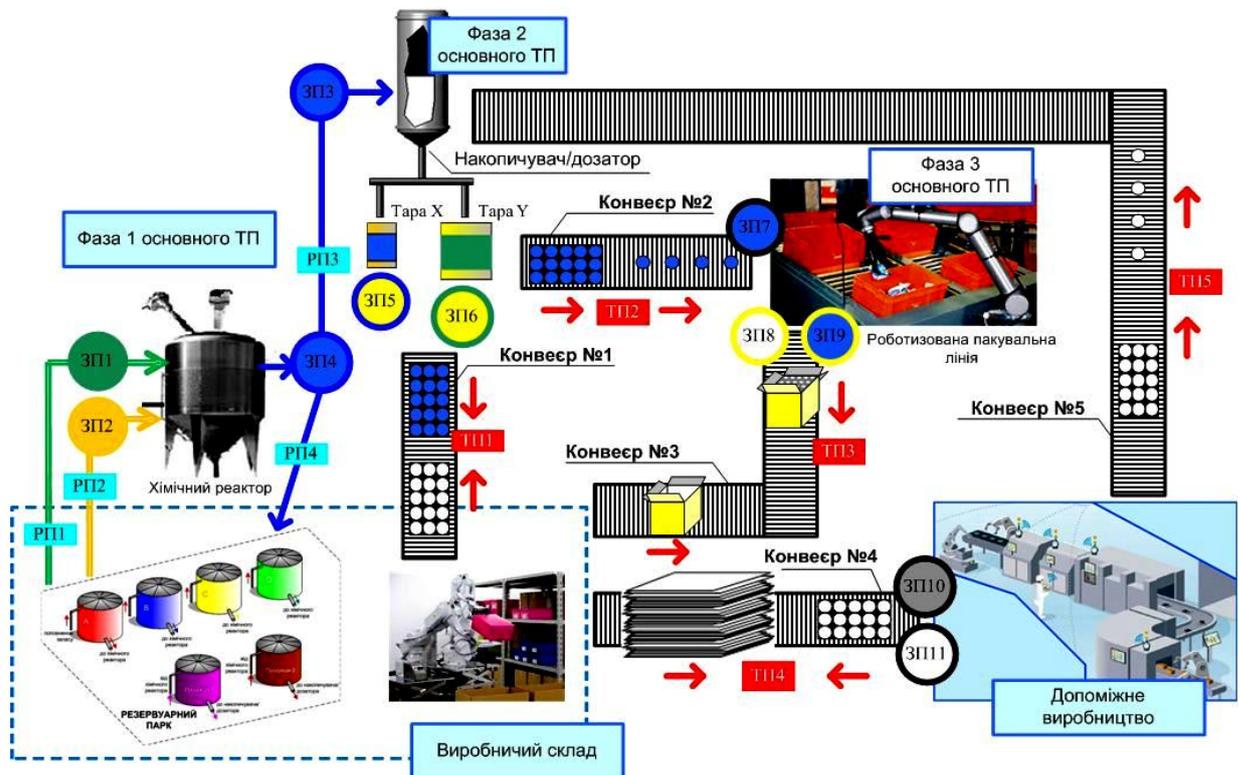


Рисунок 1.2 – Схема матеріальних потоків реального виробництва

Зокрема, твердими матеріальними потоками (ТП), які переміщуються конвеєрами на реальному виробництві, є такі:

- ТП1 (реверсний потік переміщення палет двох типів пустої тари зі складу до фази 2 основного ТП для створення її локальних запасів ЗП5 та ЗП6 або переміщення у зворотному напрямі палет наповненої тари двох типів);
- ТП2 (направлений потік переміщення наповненої тари від фази 2 до фази 3 основного ТП, що здійснюється у формі палет або поштучно, для

створення локального їх запасу ЗП7);

– ТП3 (реверсний потік переміщення пустих коробок з виробничого складу до фази 3 основного ТП, що здійснюється у формі палет або поштучно, для створення їх локального запасу ЗП8 та переміщення упакованої готової продукції з локального її запасу ЗП9 на виході фази 3 основного ТП на виробничий склад, що здійснюється у формі палет або поштучно);

– ТП4 (реверсний потік переміщення палет матеріалів/заготівок з виробничого складу до допоміжного виробництва для створення їх локальних запасів ЗП10 та переміщення палет виготовленої пустої тари з локального її запасу ЗП11 допоміжного виробництва до виробничого складу);

– ТП5 (направлений потік переміщення виготовленої пустої тари від локального її запасу ЗП11 допоміжного виробництва до фази 2 основного ТП, який здійснюється у вигляді палет або поштучно, для створення її локальних запасів ЗП5 та ЗП6).

В навчальній лабораторії кількісні параметри усіх перерахованих вище реальних матеріальних потоків в ході імітації реального виробництва обчислюються програмним шляхом у інформаційному середовищі ІСУ віртуальним виробництвом, а фізична робота кожного конвеєра наочно відтворюється за допомогою електричних моделей у формі їх світлових імітацій. На рисунку 1.3 наведена відповідна схема цих світлових імітаційних моделей конвеєрних матеріальних потоків лабораторного віртуального виробництва.

Як видно з рисунку, світлові імітаційні моделі утворюються ланцюгами світлових елементів. Вмикання такого світлового елемента у моделі конвеєра імітує розміщення якогось матеріального ресурсу на конвеєрі. Якщо ці світлові елементи загораються та гаснуть один за одним, то утворюється наочна імітація переміщення даного матеріального ресурсу

конвеєром. При цьому можна імітувати різні види матеріального ресурсу, що переміщуються конвеєром. Наприклад, якщо вмикається та поступово "переміщується" тільки один світловий елемент, то це імітує поштучне переміщення таких матеріальних ресурсів як одиниці пустої та наповненої тари. Якщо ж одночасно вмикається та "переміщується" два світлових елементи, то це імітує переміщення конвеєром таких матеріальних ресурсів як пусті та заповнені картонні коробки. Якщо ж одночасно вмикаються та "переміщуються" три світлових елементи, то це імітує переміщення конвеєром палет з різними матеріальними ресурсами – з пустою тарою, з наповненою тарою, з пустими чи заповненими коробками, з матеріалами та заготівками. Програмні моделі конвеєрних матеріальних потоків, які обчислюються у інформаційному середовищі ІСУ, керують роботою відповідних світлових імітаційних моделей через промислові контролери лабораторії.

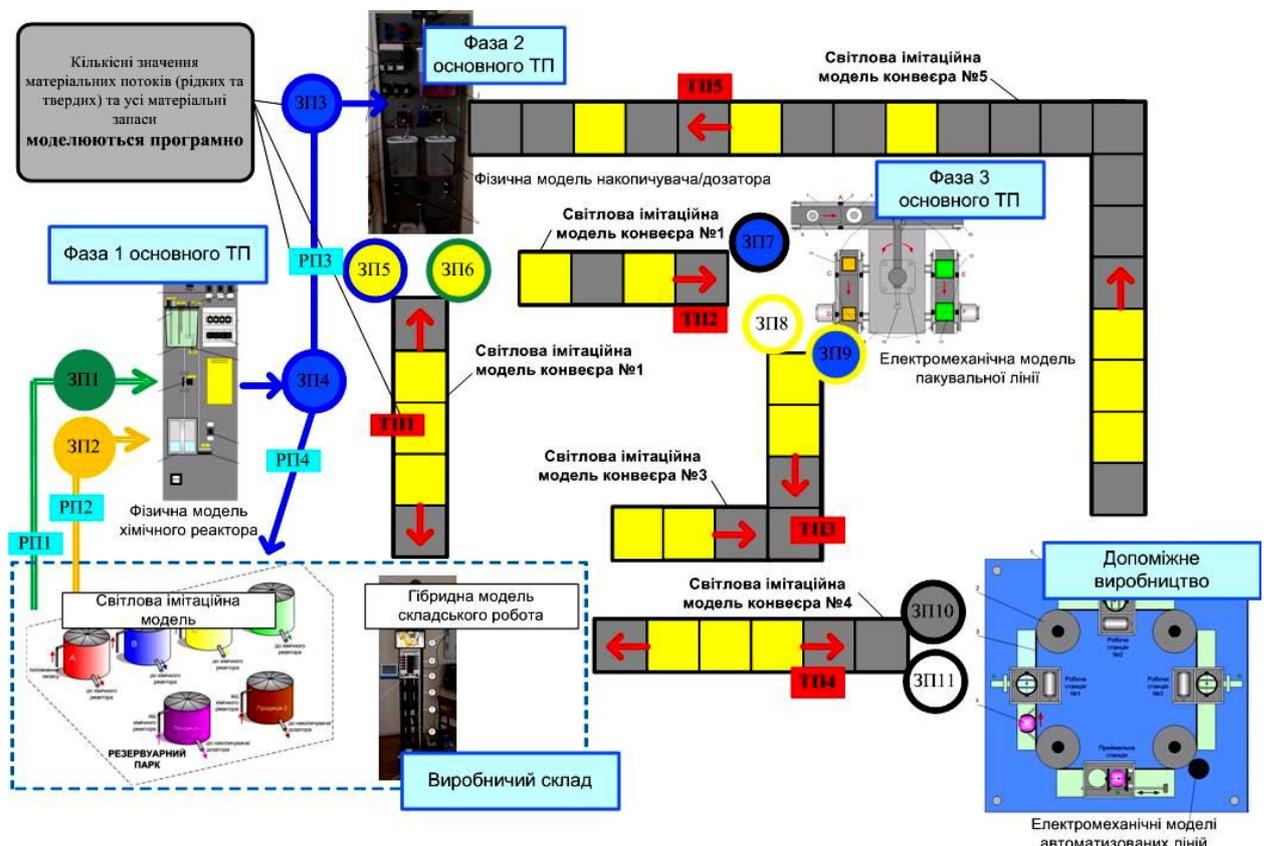


Рисунок 1.3 – Схема світлових імітаційних потоків конвеєрів лабораторного віртуального виробництва

Таким чином, існуюче лабораторне віртуальне виробництво керується за стандартними методами від ІСУ, яка реалізує усі потрібні для цього програмні управлінські функції. При побудові такої складної системи управління здобувачі вирішують різноманітні проєктні задачі, пов'язані з практичною реалізацією всіх видів її інтеграції – функціональної, інформаційної, програмної, технічної та організаційної [12, 13].

Виходячи з теми даної МКР, звернемо увагу саме на питанні інформаційної інтеграції існуючої ІСУ лабораторним віртуальним виробництвом. Загалом інформаційна інтеграція системи передбачає реалізацію єдиного інформаційного простору, єдиного підходу до збирання, оброблення й передавання інформації на всіх рівнях ієрархії системи («АСУТП/SCADA», «АСУВ/MES», «АСУП/ERP»).

Вся інформація в такій системі збирається, обробляється та передається відповідним програмним забезпеченням тих технічних засобів ІСУ, які мають вбудовані процесори (персональні комп'ютери, промислові контролери, сервери). Вся ця програмно-технічна структура ІСУ разом з інформацією утворюють інформаційне середовище лабораторної ІСУ віртуальним виробництвом, що відображено на рисунку 1.4 і в додатку Б.

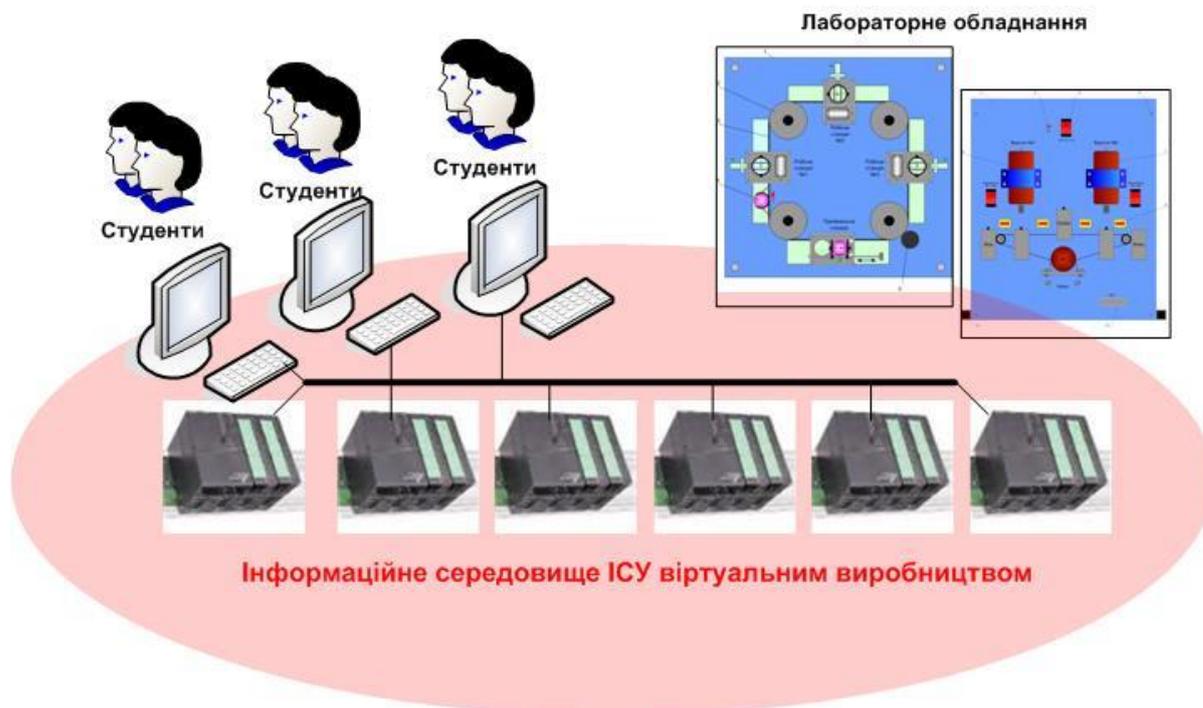


Рисунок 1.4 – Означення границь інформаційного середовища ІСУ лабораторним віртуальним виробництвом

Здобувачі та лабораторні об'єкти (фізичні та імітаційні моделі технологічних/технічних процесів і матеріальних потоків) знаходяться поза границями цього інформаційного середовища, хоча можуть бути для нього або джерелами, або приймачами інформації.

1.2 Методика цифрової трансформації віртуального виробництва

Методи та засоби цифрової трансформації описаного вище лабораторного віртуального виробництва вивчаються здобувачами, переважно спеціальності 174, в рамках практичних та лабораторних курсів низки професійних та спеціальних дисциплін, таких як «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва», «Промисловий Інтернет речей» та інші.

У світовій практиці процес цифрової трансформації у промисловій області давно і активно обговорюється фахівцями та експертами [14-18]. Вже

сформоване загальне бачення тих цілей, які ставлять виробники на шляху вдосконалення своїх підприємств (рисунок 1.5) [18].

Їх три:

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



Рисунок 1.5 – Основні цілі вдосконалення промислових підприємств

Тому цифрові рішення, закладені в концепцію трансформації виробництва у «розумне» виробництво Індустрії 4.0, породжують для досягнення означених цілей відповідні очікування (рисунок 1.6):

- 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.

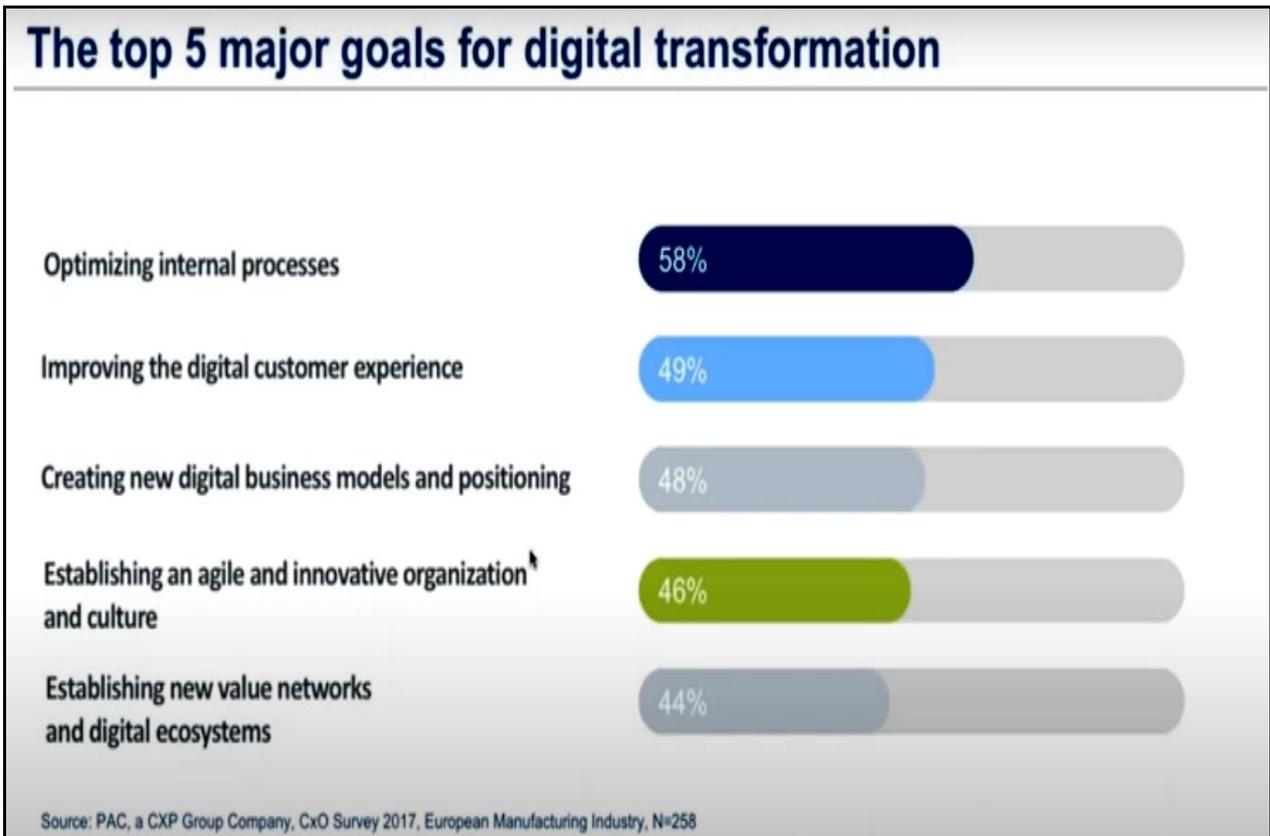


Рисунок 1.6 – Основні очікування виробників від цифрової трансформації

Проте, на шляху впровадження нових цифрових рішень у виробництво зараз існує декілька основних завад (рисунок 1.7):

Major challenges/barriers in the area of digital transformation



Рисунок 1.7 – 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 1.8 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.

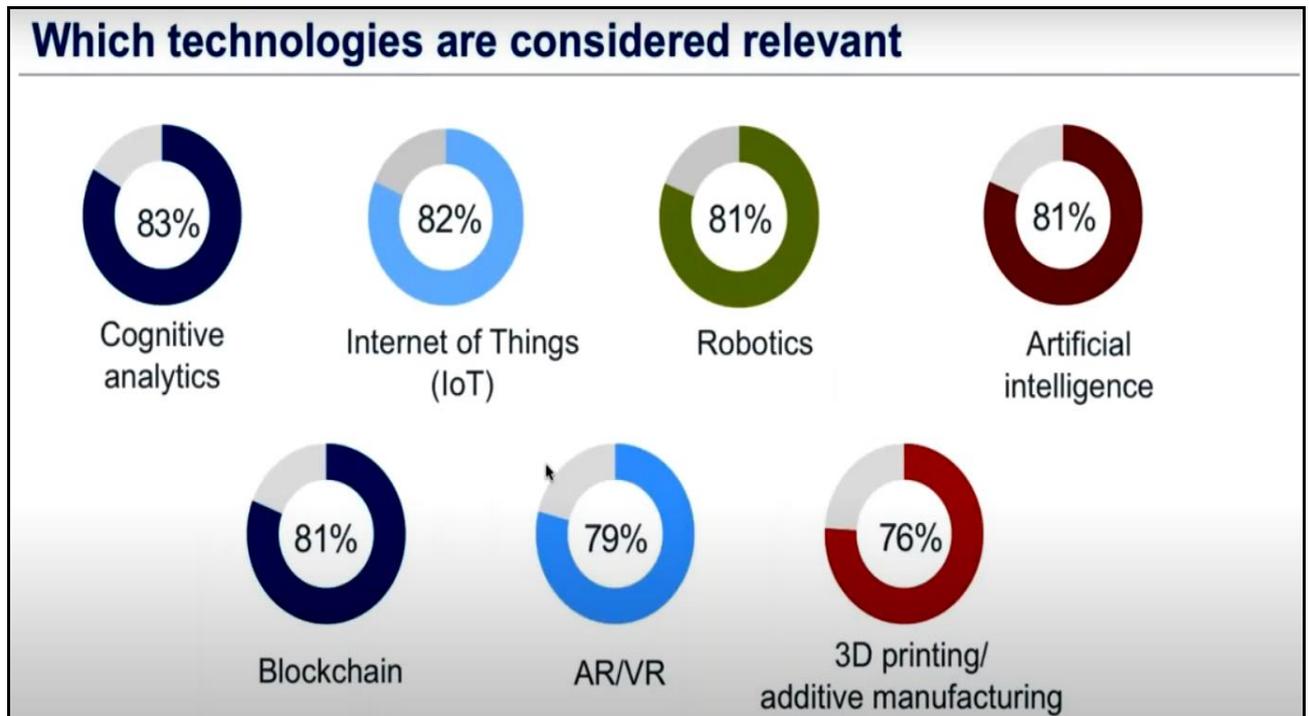


Рисунок 1.8 – Основні цифрові технології для вдосконалення виробництва

Яка ж повинна бути загальна стратегія зазначено цифрової трансформації виробництва?

На рисунку 1.9 показаний рекомендований шлях цифрової трансформації, який означає основні її стадії:

- виявлення існуючої на виробництві проблеми;
- вибір тих сучасних цифрових технологій, які здатні вирішити наявну проблему;
- розроблення бізнес-плану щодо потрібних інновацій, який включатиме концепцію цифрової трансформації виробництва;
- виконання невеликого проекту цифрової трансформації, його

впровадження та отримання найшвидшого позитивного результату;

- оприлюднення для всіх працівників підприємства досягнутих позитивних результатів, що заохотить їх до виконання подальшої більш складної цифрової трансформації виробництва.

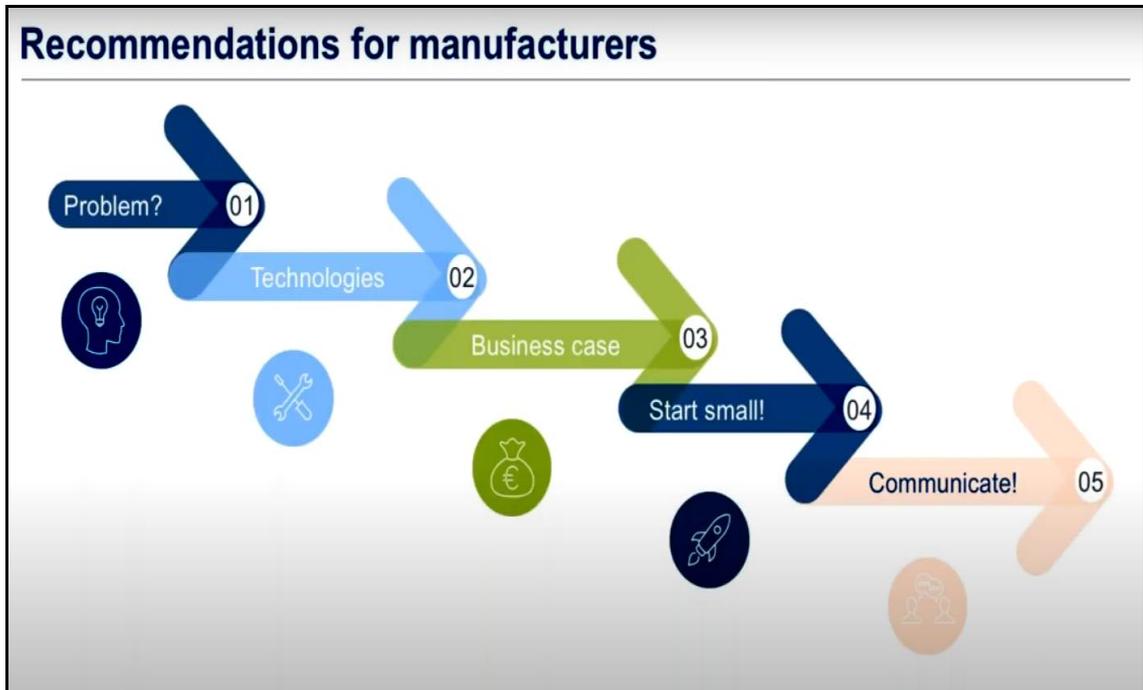


Рисунок 1.9 – Оптимальна стратегія цифрової трансформації виробництва

Саме ця стратегія і була покладена в основу використовуваної зараз в навчальному процесі методики цифрової трансформації лабораторного віртуального виробництва [19].

В першу чергу ця методика будується на зворотному інформаційному переході – «від автоматизованого віртуального виробництва до автоматизованого реального виробництва».

На відміну від цього при створенні лабораторної імітації автоматизованого реального виробництва був застосований перехід, навпаки,

від інформаційного середовища реального автоматизованого виробництва до інформаційного середовища його лабораторної імітаційної моделі.

На рисунку 1.10 і в додатку Б наочно показаний використовуваний у діючій методиці інформаційний перехід, який передуює виконанню здобувачами процесу цифрової трансформації існуючого автоматизованого виробництва.

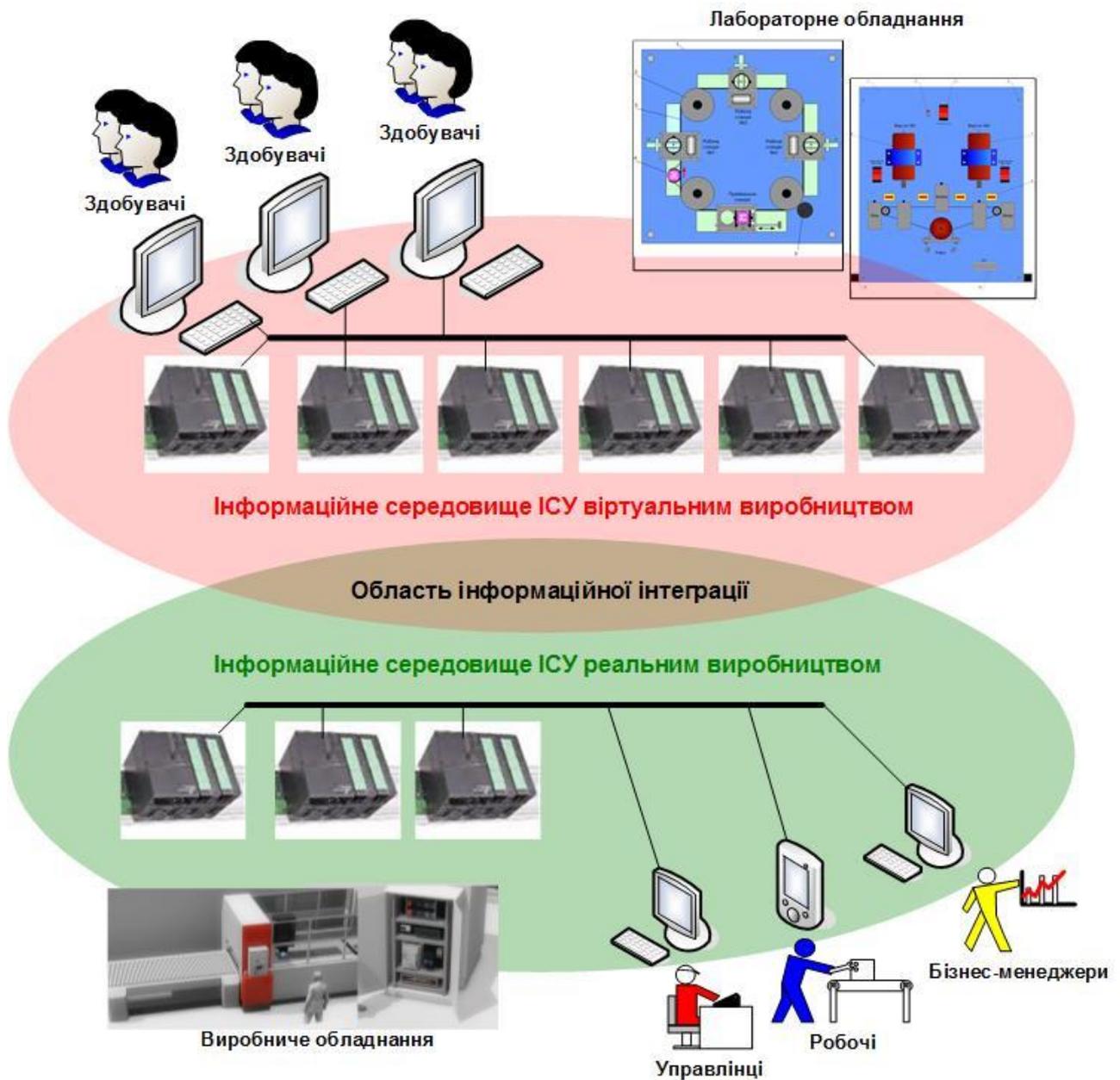


Рисунок 1.10 – Суть інформаційного переходу від ІСУ віртуальним

виробництвом до ІСУ реальним виробництвом

При цьому переході інформаційна область інтеграції двох ІСУ (лабораторної та реальної) представляє собою сукупність інформаційних моделей, які в ході навчального процесу розробляють і здобувачі, виконуючи різні проєктні завдання, і викладачі, готуючи відповідні навчально-методичні матеріали. Для прикладу на рисунку 1.11 показана тривимірна графічна модель реального ТП допоміжного виробництва, яку розробляє викладач на стадії підготовки проєктних завдань для здобувачів.

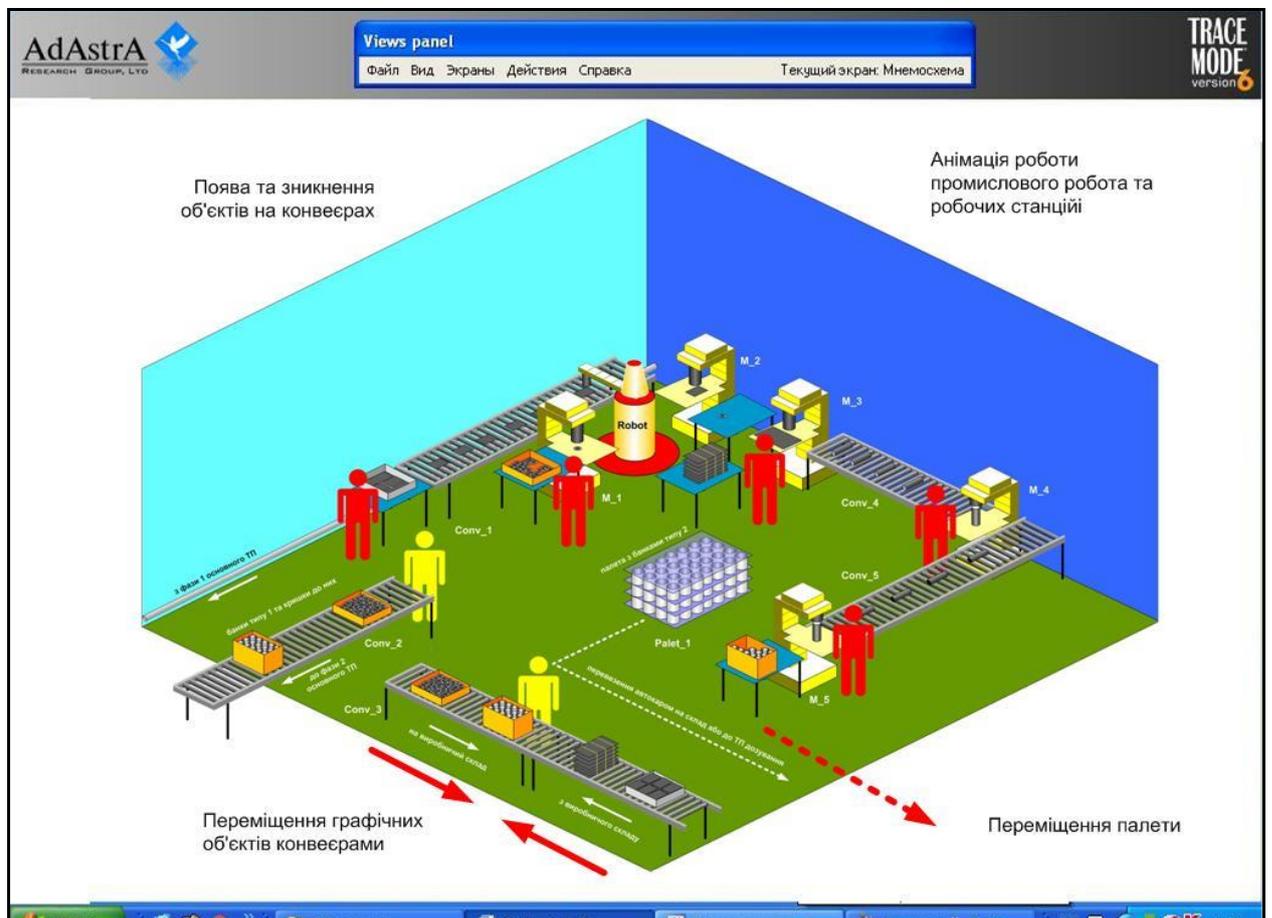


Рисунок 1.11 – Інформаційна тривимірна модель реального ТП допоміжного виробництва

Здобувачі по наведеній на рисунку інформаційній моделі реального ТП допоміжного виробництва розробляють свої інформаційні моделі для системи автоматизації цього реального ТП. На рисунку 1.12 для прикладу показана одна з таких моделей у вигляді тривимірного зображення монтажу усього обладнання системи автоматизації у приміщенні реального ТП допоміжного виробництва. На моделі здобувачі вказують способи встановлення засобів автоматизації (датчики, виконавчі пристрої) на технологічному обладнанні, місця розміщення промислового контролера, операторської станції та автоматизованого робочого місця диспетчера, а також вказують прокладені сигнальні та мережеві комунікації.

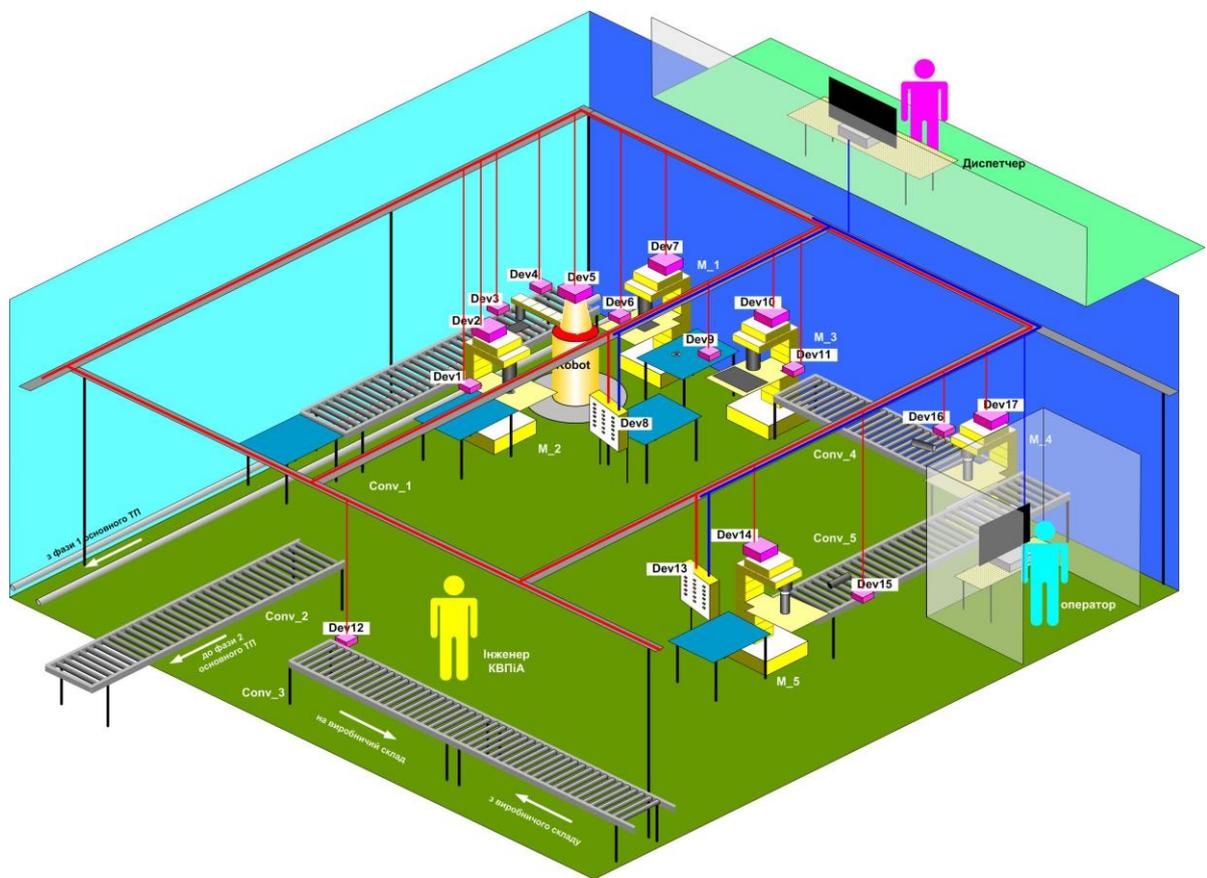


Рисунок 1.12 – Інформаційна тривимірна модель автоматизованого реального ТП допоміжного виробництва

Далі, згідно з діючою методикою, здобувачі досліджують предметну область цифрового виробництва, побудованого за концепцією четвертої промислової революції «Індустрія 4.0» (I4.0). Науковим методом такого 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»). В ході такого аналізу здобувач обов'язково буде відповідну графічну концептуальну модель предметної області, що сприяє кращому осмисленню отриманої нової інформації та формуванню у здобувача глибокого розуміння як суті концепції I4.0, так і способів практичної реалізації систем управління цифровим виробництвом.

На рисунку 1.13 наведений варіант побудови такої графічної моделі предметної області I4.0, яка відображає результати онтологічного дослідження предметної області за концепцією «Промислова автоматизація».

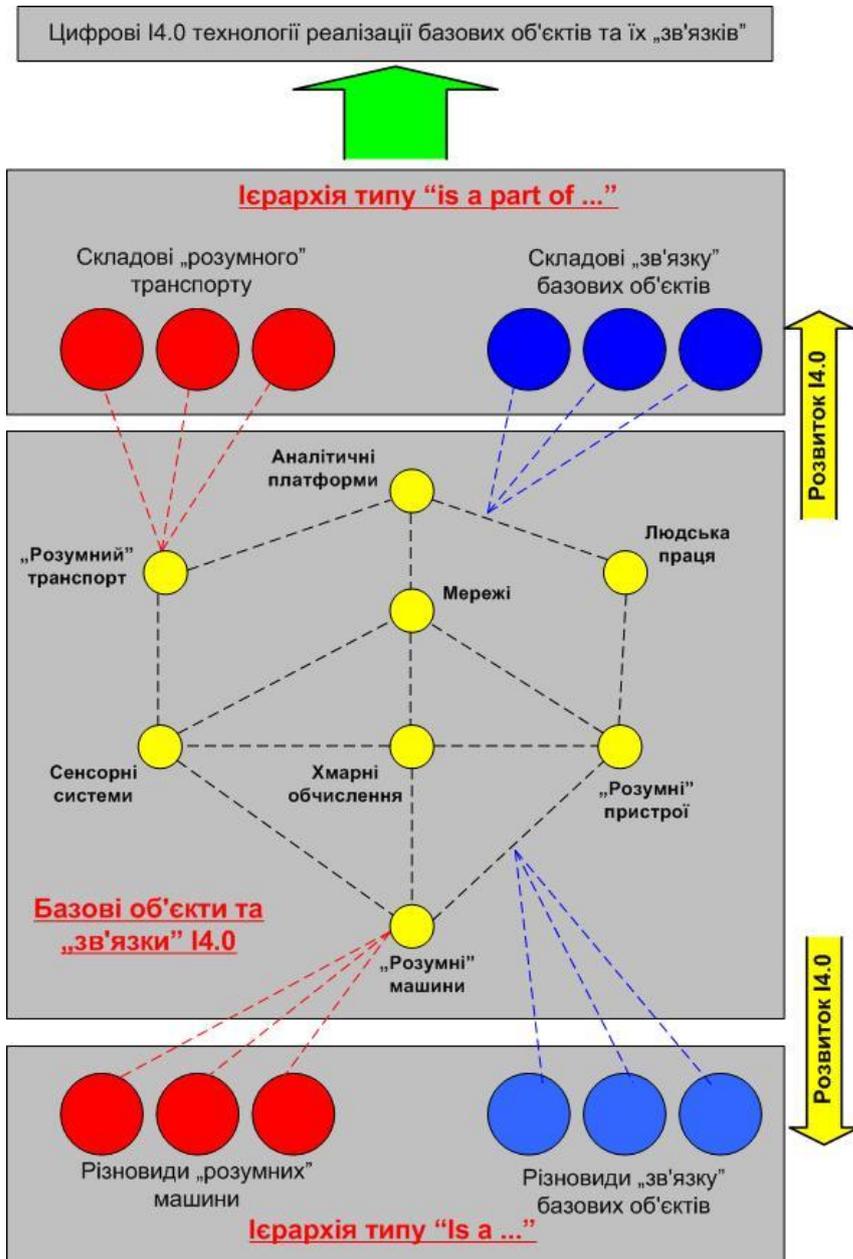


Рисунок 1.13 – Варіант графічної моделі предметної області І4.0 за концепцією «Промислова автоматизація»

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»

[20]. 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. На рисунку ця класична модель 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.

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 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».

Здобувач при подальшому проектуванні цифрової трансформації реального автоматизованого ТП (АТП) активно використовують таку графічну концептуальну модель предметної області. По-перше, в ході оброблення інформації вони виявляють практичні задачі, які вже вирішувались при цифровій трансформації аналогічних АТП та застосований

при цьому спосіб вирішення проблем цих АТП (шлях цифрової трансформації). По-друге, здобувачі означають ті існуючі на даний момент цифрові технології, які можуть вирішити аналогічну задачу (на рисунку 1.13 ці технології показані угорі). По-третє, коли кількість осмисленої інформації перейде у якість, то здобувачі починають генерувати власні проєктні ідеї, тобто запускається творчий процес проєктування нового цифрового виробництва.

Таким чином, після виконання стадії онтологічного аналізу предметної області здобувачі здобувають таку вихідну інформацію для початку проєктування цифрової трансформації – набори інформаційних моделей, які детально описують поточний стан реального АТП, та набори інформаційних матеріалів щодо існуючих на даний момент цифрових технологіях, спроможних вдосконалити аналогічні реальні АТП. Порівнюючи ці набори інформації між собою, здобувачі виявляють існуючі в реальному АТП недоліки у порівнянні з аналогічними цифровими рішеннями і далі пропонують свої способи цифрової трансформації реального АТП у АТП цифрового виробництва.

У нашому випадку сучасна цифрова технологія, яку треба застосувати для цифрової трансформації реального АТП допоміжного виробництва, вже задана темою МКР – це використання 3D-принтера з метою перетворення існуючого допоміжного виробництва у гнучке цифрове виробництво.

1.3 Дослідження адитивного виробництва на основі 3D-принтерів

3D-друк відноситься до цифрових технологій, що швидко розвиваються у останні роки [9, 10]. Вона вже добре зарекомендувала себе як ефективний метод створення передових продуктів і буде грати все більшу роль у виробництві з розвитком цифровізації й переходом до моделі І4.0.

Самі перспективні галузі для впровадження адитивних технологій, у тому числі 3D-друку металом, є високотехнологічні, наукомісткі виробництва, де в пріоритеті оптимізація або створення складних інноваційних продуктів: авіакосмічна індустрія, оборонна промисловість, машинобудування, автомобілебудування, енергетика, суднобудування, нафтогазовий сектор. Не можна не згадати медицину і ювелірну справу, тому що 3D-друк не має собі рівних у створенні індивідуалізованих виробів.

Друк металами в основному вирішує задачі дослідного й дрібносерійного виробництва, прототипування. Тому сьогодні основними користувачами 3D-устаткування стають великі дослідницькі центри, а також навчальні заклади, готові інвестувати в проекти впровадження нової технології.

Виготовлення кінцевих серійних виробів з металів уже активно застосовується такими великими компаніями, як General Electric, Airbus, Boeing, BMW, Michelin, а з появою суперпотужних машин типу SLM NXG XII 600 масове адитивне виробництво стає реалією не настільки віддаленого майбутнього.

Помилково думати, що 3D-друк покликаний замінити лиття або інші класичні процеси. Він допомагає вирішити специфічні завдання, які нездійсненні або занадто трудомісткі при використанні традиційних технологій, наприклад:

- виготовлення унікальних деталей складної геометрії, у тому числі дрібних деталей, виробів із внутрішніми порожнинами й каналами, тонкими стінками й т.п.;
- зниження ваги виробів;
- скорочення числа одиниць у складанні;
- створення ніздрюватих структур.

Такі можливості забезпечує топологічна оптимізація: проектувальники можуть створювати практично будь-яку геометрію. Тому ці

методи будуть і далі застосовуватися в тих випадках, коли це ефективно з погляду вартості, типу виробів і інших вимог. Питання не у виборі між двома технологіями, а в тім, коли краще застосувати адитивну, а коли класичну технологію обробки. Іноді при виробництві однієї деталі доречно задіяти обидва методи.

3D-друк варто сприймати як ще один варіант технології одержання виробів поряд з механічною й пластичною обробкою, литтям і ін. При виборі варіантів виробничого процесу треба зважувати ретельно всі «за» і «проти».

Технологія 3D-друку дозволяє значно скоротити цикл виробництва виробу (рисунок 1.14).

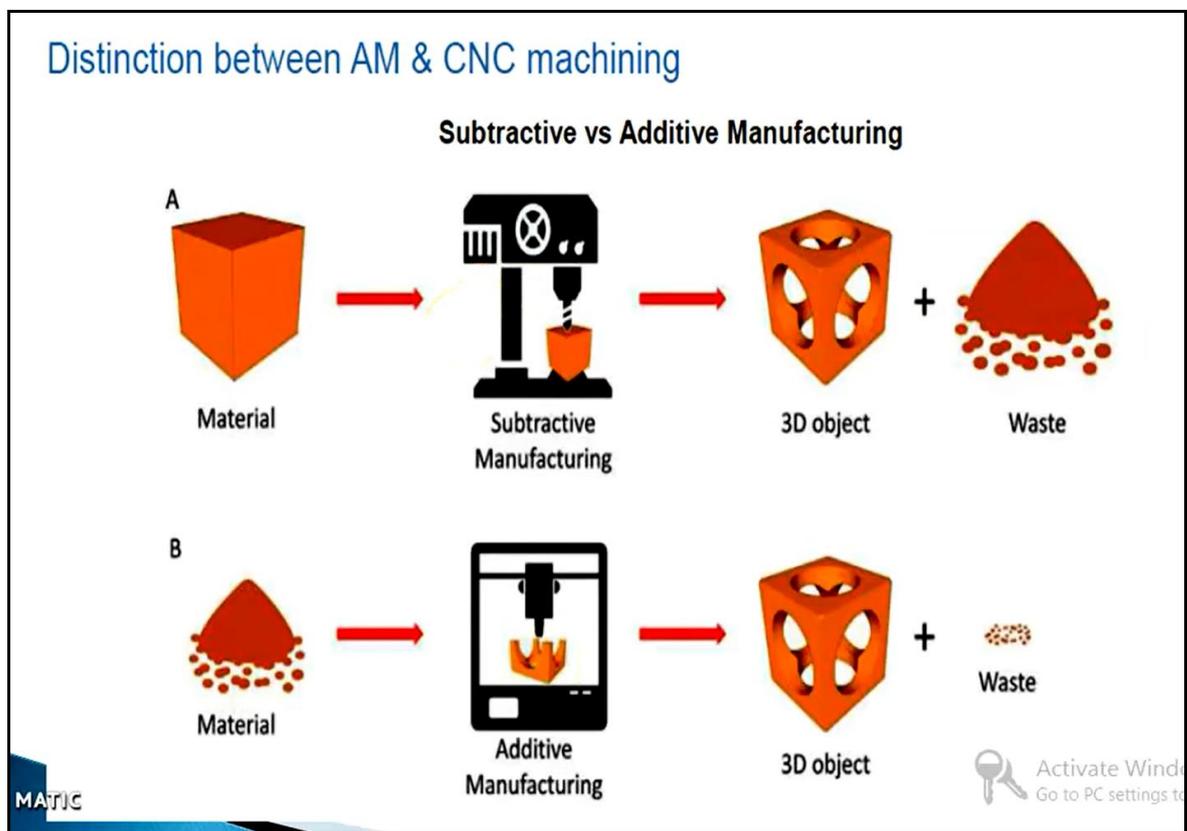


Рисунок 1.14 – Суттєве зниження коефіцієнту Вуу-to-Flу для 3D-друку

З одного боку, коли ми вважаємо вартість матеріалів, адитивне виробництво виходить дорожче. Але якщо врахувати всі економічні

фактори, починаючи зі скорочення споживання електроенергії й кінчаючи зменшенням податкового навантаження, 3D-друк допомагає заощадити досить серйозні кошти. Крім того, технологія дає можливість різко знизити коефіцієнт Buy-to-Fly, тобто співвідношення між кількістю закупленого матеріалу й кількістю матеріалу в готовій деталі.

У підприємств, що вирішили впровадити адитивну технологію 3D-друку у свій виробничий цикл, можуть виникнути наступні труднощі:

- необхідність у послідовних наукових дослідженнях (у тому числі для вивчення властивостей матеріалів);
- обмеження в розмірах об'єктів;
- більші попередні вкладення коштів через високу вартість устаткування й видаткових матеріалів;
- особливі вимоги до приміщення й умов експлуатації;
- атестація встаткування й сертифікація виробів;
- складність в адаптації 3D-рішень до існуючих технологічних циклів на виробництві.

Продуктивність адитивних технологічних установок залежить від різних факторів:

- чим більше лазерів, тим вище швидкість і більше кількість вироблених деталей;
- залежно від конструкції системи порошок може розподілятися у двох або тільки в одному напрямку; подача порошку у двох напрямках забезпечить значну економію часу виробництва;
- безперервна або періодична подача порошку: системи з періодичною подачею можуть вимагати зупинку встаткування для дозаправлення під час виконання побудови, що сповільнює процес;
- можливість настроїти робочі параметри системи для збільшення швидкості.

3D-друк дає можливість домогтися показників міцності, порівнянних із традиційними технологіями. Але приблизно в 50% випадків відлитий або відфрезерований виріб з ідеального блоку матеріалу міцніший у порівнянні з результатом 3D-друку. Причина - у пористості, що виходить за адитивною технологією. Але при цьому надруковані об'єкти стають більш пружними й витримують більш високі навантаження, особливо якщо ми говоримо про такі матеріали, як титан, сталь і навіть різні сплави алюмінію. Алюміній - досить м'який матеріал, пористість додає йому пружності.

Тому спочатку доцільно зробити 3D-модель виробу, провести її аналіз і одержати попередні дані по виробу, а потім задуматися про можливість його виготовлення й тестування в лабораторії. Такий підхід допоможе оптимізувати виробництво й не буде занадто витратним.

Але є і такі технології, як гаряче ізостатичне пресування (ГІП), які дозволяють вивести ці вироби на той же рівень механічних властивостей. На титанових сплавах фактично можна одержати 80-90% від міцності навіть не литих, а кутих виробів. За рахунок ГІП вдається усунути внутрішні дефекти, що виникають через неоднорідність гранул порошку, і досягти практично стовідсоткової щільності.

Зараз ведуться глибокі наукові дослідження по пророкуванню механічних властивостей виробів, що мають виготовлятися за допомогою 3D-друку, але вони стосуються більше проєктування самих матеріалів. З іншого боку, і в наявному програмному забезпеченні 3D-друку також поки що неможливо пророчити границю текучості, пористість і інші механічні характеристики надрукованого виробу. Навпаки, заздалегідь установлюються певні властивості для кожного матеріалу, які використовуються надалі для моделювання процесу. Це зворотний процес, тобто проєктувалькам виробничих процесів та їх продукції необхідно знати властивості матеріалів для того, щоб спрогнозувати різні дефекти виробів.

Підводячи підсумок огляду цієї цифрової технології, робимо висновок, що здобувачі спеціальності 174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» обов'язково повинні вивчати на практиці способи використання 3D-друку і активно застосовувати його у своїх проєктах з цифрової трансформації виробництва.

1.4 Розробка концептуального рішення нового КНЗ

Згідно з індивідуальним завданням на МКР новий комп'ютеризований навчальний засіб має забезпечувати практичні та лабораторні курси двох дисциплін навчального плану підготовки фахівців спеціальності 174, а саме, «Кіберфізичні системи автоматизації виробництва» (бакалаврський рівень підготовки) та «Промисловий Інтернет речей (магістерський рівень підготовки). В рамках цих дисциплін здобувачі на практиці мають освоювати цифрову технологію 3D-друку, впроваджуючи її у свої проєкти з цифрової трансформації існуючого лабораторного АТП допоміжного віртуального виробництва.

Для розробки концептуального рішення такого КНЗ розглянемо детальніше недоліки реальний АТП допоміжного виробництва, який імітується в рамках лабораторного віртуального виробництва. По-перше, будемо розглядати ці недоліки у порівнянні зі стандартною архітектурою цифрового виробництва, яка означається у моделі «RAMI4.0» [21-23]. Ця модель буде детально розглянута у наступному розділі, де буде проєктуватися інформаційна інтеграція КНЗ на основі 3D-принтера у інформаційне середовище існуючої ІСУ віртуальним виробництвом. Але тут можна відзначити, що модель є тривимірною, дві осі якої відображають фізичну сутність системи управління цифровим виробництвом, а третя вісь – відображає інформаційну (кібернетичну) її сутність. Однією з фізичних вісей є вісь життєвого циклу елементів системи та системи в цілому. На цій вісі відмічаються стадії життя або їх типу (Type), або їх окремих екземплярів

(Entyty). Ось по відношенню до цієї осі і розглянемо недоліки існуючого реального АТП допоміжного виробництва.

Так, для стадії використання (Usage) життєвого циклу та у порівнянні з властивістю/ознакою I4.0 «Абсолютна гнучкість виробничих процесів» даний АТП має такий суттєвий недолік, що при необхідності зміни типу тари, в яку наливається готова хімічна продукція, треба буде знову розробляти інструменти та оснастку всіх верстатів, щоб вони могли виготовляти як напівфабрикати, так і саму тару нового типу, проте, якщо зміна типу напівфабрикатів та самої тари буде кардинальною, то може статися, що взагалі для даних верстатів неможливо буде створити відповідний інструмент та оснастку, що поставить питання або про придбання нових верстатів, або взагалі про відмову від запланованого оновлення типу тари. У певній мірі цей недолік є і наслідком того, що на стадії проєктування реального АТП допоміжного виробництва не використовуються цифрові моделі його компонентів, а це не дає змоги виконувати попереднє імітаційне моделювання технологічних операцій, виконуваних наявними верстатами при виготовленні нових типів напівфабрикатів та тари.

Також можна відмітити, що у існуючому реальному АТП допоміжного виробництва використовуються дві автоматизовані виробничі лінії, які отримують різні рецепти від ІСУ на виготовлення партії комплектів тари одного з двох типів (банки та кришки до них). Для забезпечення даного технологічного процесу вихідними матеріалами на виробничому складі має створюватися необхідний їх запас. Після закінчення процесу виготовлення партії комплектів тари заданого типу, ця готова продукція у вигляді окремого матеріального потоку, реалізованого окремим промисловим конвеєром, переміщується або на виробничий склад для створення там потрібних запасів пустої тари даного типу, або на наступний технологічний процес дозування, де зразу використовується для розливу готової хімічної рідини.

Тому у новому КНЗ вивчається спосіб вдосконалення описаного реального АТП допоміжного виробництва шляхом впровадження 3D-друку. Як правило, 3D-друк на виробництві не замінює лиття або інші класичні процеси, а переважно допомагає вирішувати специфічні виробничі задачі, які нездійсненні або занадто трудомісткі при використанні традиційних технологій механічної обробки.

Зміст цих виробничих задач адитивного виробництва на основі 3D-принтерів та проведений вище аналіз загальної схеми існуючого реального АТП дозволяє зробити висновок, що використання 3D-принтера в рамках даного виробничого процесу допоможе вирішити багато корисних задач, наприклад:

- виготовлення деталей для ремонту технологічного обладнання, встановленого на даному промисловому підприємстві;
- виготовлення прототипів нової продукції, наприклад, пустої тари покращеного дизайну для розливу готової хімічної рідини;
- виготовлення прототипів нової оснастки для технологічного обладнання для випуску нових видів продукції;
- виготовлення форм для лиття під тиском елементів готової продукції або нових деталей оснастки технологічного обладнання.

Для прикладу розглянемо концепцію реалізації в ході цифрової трансформації існуючого реального АТП допоміжного виробництва кількох з цих практичних задач (рисунок 1.15).

По-перше, можна поставити задачу замінити існуючу пусту тару для хімічної рідини на новий її тип, який буде мати більш сучасний дизайн. Тоді на стадії проектування виробничого процесу («Development») треба спроектувати цей новий тип тари, використовуючи відповідний програмний інструмент 3D-моделювання, щоб ця тара була не тільки зручна для користувача продукції, але і була максимально пристосованою для процесу її виготовлення на існуючому технологічному обладнанні (задача №1 на

рисунок 1.15). На рисунку показана не тільки нова форма тари у вигляді пляшки, яка має замінити існуючу на виробництві традиційну металеву банку, але і те, що разом з новим типом тари виникає необхідність пошуку і інших проєктних рішень, наприклад, способу, як ця нова тара за допомогою технологічного обладнання буде щільно закриватися зверху кришкою – або міцно закручуватися, або закорковуватися зверху з фіксацією кришки.

По-друге, на існуючому реальному АТП допоміжного виробництва матеріальні потоки організовані у вигляді конвеєрів, за допомогою яких різні

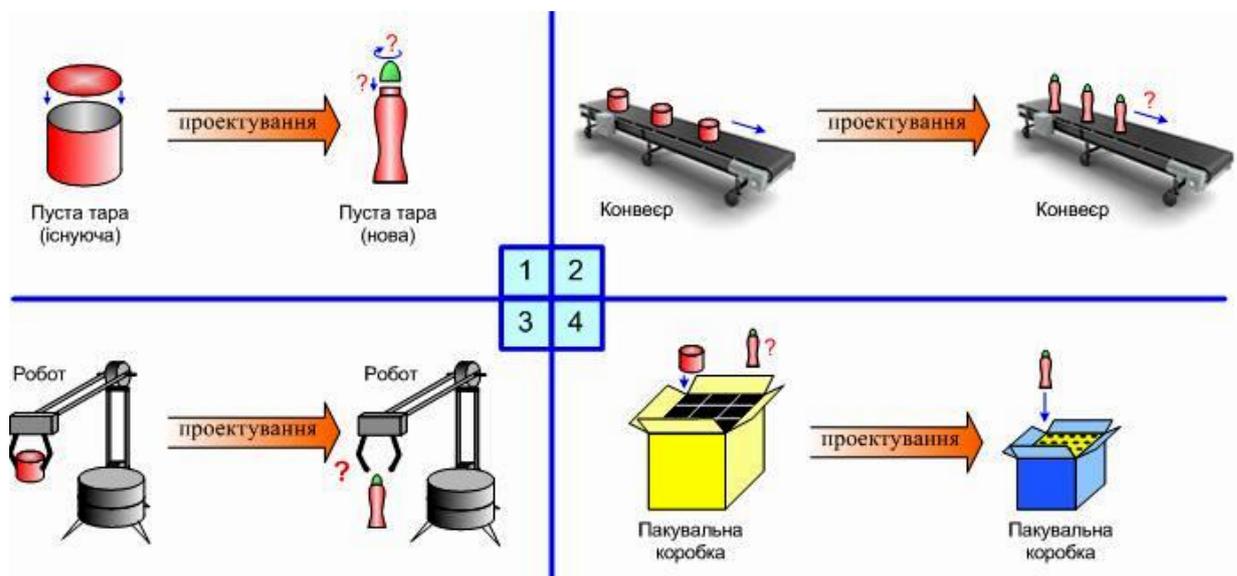


Рисунок 1.15 – Концепція процесу цифрової трансформації АТП віртуального допоміжного виробництва

матеріальні ресурси переміщуються як всередині даного АТП, так і ззовні між іншими АТП. Зокрема, заповнені хімічною рідиною банки переміщуються від АТП дозування до АТП пакування готової продукції, де вони пакувальним роботом знімаються з конвеєра і поміщуються у картонні коробки. Але якщо буде впроваджений новий тип тари, то виникне необхідність проектування і нової оснастки для конвеєра, яка буде забезпечувати надійне (без падіння) переміщення конвеєром заповнених

хімічною рідиною нових пляшок без зменшення швидкості його руху, а краще і з її збільшенням (задача №2 на рисунку 1.15).

По-третє, при автоматичному пакуванні готової продукції у коробки на існуючому реальному АТП пакування застосовується спеціальний промисловий робот, який за допомогою комп'ютерного зору визначає наявність одиниці готової продукції на вхідному конвеєрі (банка одного з двох типів, що наповнена хімічною рідиною та закрита зверху кришкою), знімає її зі стрічки конвеєра і переносить у вільну комірку пакувальної коробки. Якщо ж впроваджувати новий тип тари у вигляді, наприклад, пляшки, то виникне необхідність проєктування і нової оснастки для пакувального робота, яка дозволить йому надійно захоплювати цю заповнену рідиною пляшку і переносити її у комірку пакувальної коробки (задача №3 на рисунку 1.15).

По-четверте, пакування готової продукції на існуючому реальному АТП пакування, як зазначено вище, виконується спеціальним пакувальним роботом у картонні коробки відповідної конструкції. Якщо ж треба буде впроваджувати новий тип тари, наприклад, у вигляді пляшок, то виникне необхідність проєктування і нової конструкції пакувальної коробки, габаритні розміри та внутрішня комірчаста структура якої будуть сумісні з розмірам та формою нової тари (задача №4 на рисунку 1.15).

Об'єднавши усі зазначені вище практичні задачі, можна отримати концептуальне рішення щодо використання 3D-принтера у новому КНЗ для практичного вивчення процесу цифрової трансформації віртуального допоміжного виробництва (рисунок 1.16 та додаток Б).

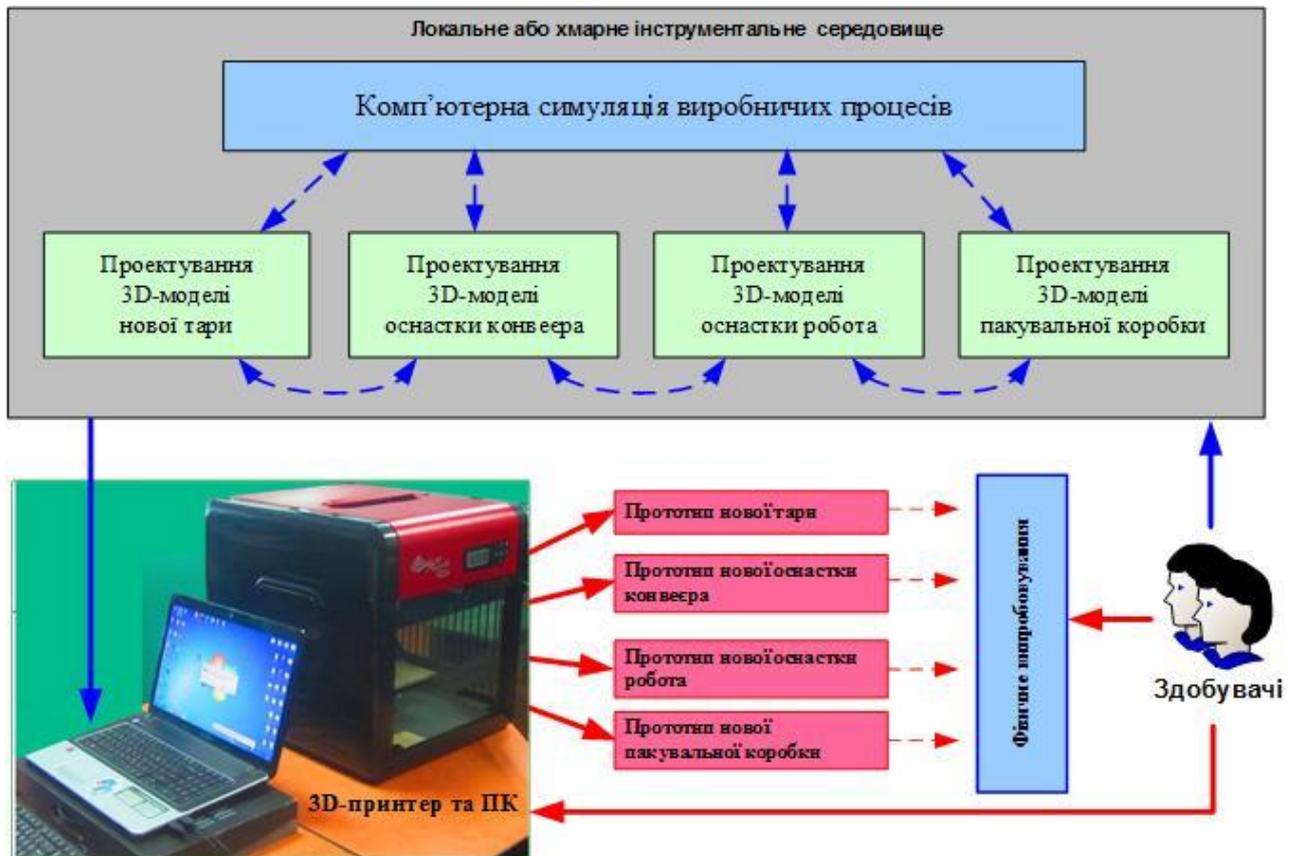


Рисунок 1.16 – Концептуальне використання 3D-принтера у новому КНЗ

Як видно з рисунку, від час практичних або лабораторних занять застосовується спеціальне віртуальне інструментальне середовище, яке містить не тільки засоби 3D-моделювання нового типу тари, пакувальної коробки та оснастки технологічного обладнання, але і засоби симуляції виробничих процесів, на яких здобувачі за допомогою цифрових моделей технологічного обладнання та технічної анімації можуть наочно перевірити правильність взаємодії нової оснастки обладнання з новою тарою та новою пакувальною коробкою. Після того, як перевірка дасть позитивний результат, цифрові дані 3D-моделей передаються на 3D-принтер, який створює відповідні фізичні прототипи. За їх допомогою здобувачі зможуть фізично випробувати їх реальну взаємодію між собою, а у разі виявлення помилок, знову повернутися до процесу їх проектування. Це і є ціллю дослідження концептуального рішення поглибленої цифрової трансформації існуючого

реального АТП допоміжного виробництва, що можуть виконувати здобувачі за допомогою нового КНЗ.

Для того, щоб описане концептуальне рішення нового КНЗ можна було впровадити у навчальний процес кількох дисциплін підготовки фахівців спеціальності 174, треба ретельно спроектувати інформаційну інтеграцію цього нового навчального засобу у існуюче інформаційне середовище ІСУ віртуальним виробництвом в цілому та його окремим допоміжним ТП. На рисунку 1.17 та в додатку Б показана ця концепція інформаційної інтеграції. Крім того, одним з головних навчальних завдань для здобувачів в ході лабораторних чи практичних занять може також бути практичне вивчення такої інформаційної інтеграції, наприклад здобувачі можуть:

- досліджувати методи та засоби цифрової трансформації існуючого промислового виробництва у перспективне цифрове виробництво шляхом впровадження на ньому 3D-принтерів (цифрове адитивне виробництво);

- реалізовувати на практиці стадію «Development» життєвого циклу нового типу (Type) напівфабрикату цифрового виробництва (пуста тара для хімічної рідини) та нових типів елементів виробничої системи (оснастка конвеєрів та пакувального робота, пристосовані для нового типу пустої тари);

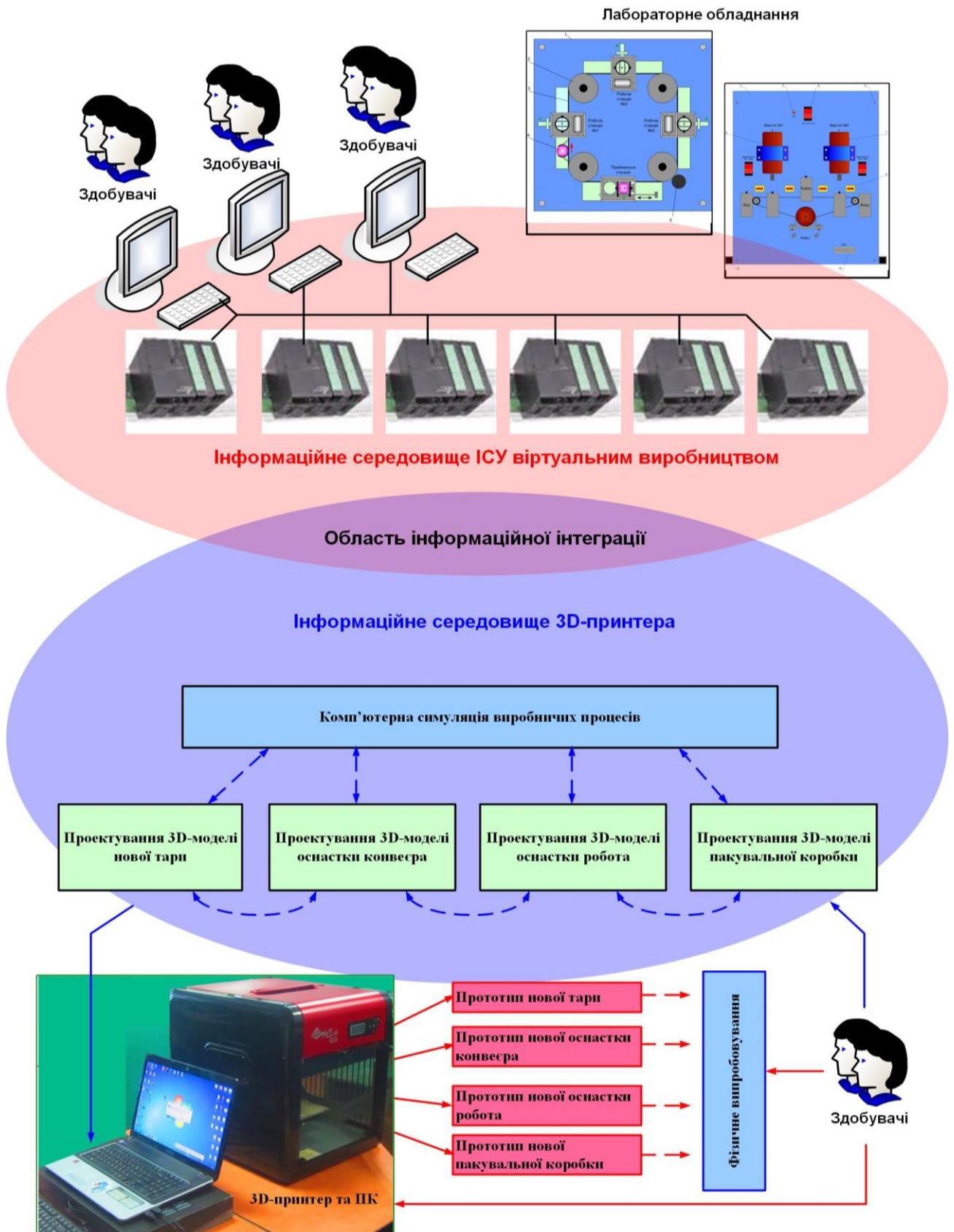


Рисунок 1.17 – Концептуальне рішення нового КНЗ

– реалізовувати на практиці стадію «Maintenance/Usage» життєвого циклу нового типу напівфабрикату цифрового виробництва (пуста тара для хімічної рідини) та нових типів елементів виробничої системи (оснастка конвеєрів та пакувального робота, пристосовані для нового типу пустої тари);

– реалізовувати на практиці стадію «Production» життєвого циклу нового екземпляру (Entity) напівфабрикату цифрового виробництва (пуста тара для хімічної рідини) та нових екземплярів елементів виробничої системи (оснастка конвеєрів та пакувального робота, пристосовані для нового типу пустої тари);

– реалізовувати на практиці стадію «Maintenance/Usage» життєвого циклу нового екземпляру (Entity) напівфабрикату цифрового виробництва (пуста тара для хімічної рідини) та нових екземплярів елементів виробничої системи (оснастка конвеєрів та пакувального робота, пристосовані для нового типу пустої тари).

На основі такого концептуального рішення нового лабораторного навчального засобу було розроблене технічне завдання на науково-дослідну роботу, яке наведене у додатку А.

1.5 Висновки до розділу

В результаті виконання досліджень в рамках даного розділу зроблений аналіз існуючого лабораторного віртуального виробництва, яке має бути основою нового КНЗ. Проведене дослідження предметної області автоматизованого виробництва та вибрана оптимальна методика його цифрової трансформації. Досліджені особливості автоматизованого адитивного виробництва на основі 3D-принтерів як способу цифрової

трансформації допоміжного віртуального виробництва, що дало змогу розробити концептуальне рішення нового КНЗ.

2 ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ІНТЕГРАЦІЇ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАСОБУ

2.1 Стандартна архітектурна модель цифрового виробництва

Проєктування інформаційної інтеграції нового КНЗ з інформаційним середовищем існуючої ІСУ віртуального виробництва при його трансформації у цифрове адитивне виробництво, будемо здійснювати на основі діючої стандартної архітектурної моделі «RAMI4.0», яка відображає основні ідеї концепції розумного цифрового підприємства I4.0 [40-43]. Така 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 орієнтація на референтну модель є дуже корисною, бо вона надає каркас для стандартизації відповідних технічних систем, від їх розробки, подальшої інтеграції і до їх дії.

Референтні моделі для побудови систем управління розумним цифровим підприємством за концепцією «Industry 4.0» (I4.0) є новою областю дослідження, яка вимагає зараз особливої уваги, враховуючи нові парадигми Інтернету та кіберфізичних систем для промисловості. Загалом, референтні моделі для I4.0 у певній мірі базуються на Computer Integrated Manufacturing Open System Architecture (CIMOSA) та стандарті ISA-95 [24].

Архітектурна модель «Reference Model for Industrie 4.0» (RAMI 4.0) [22] забезпечує колективне розуміння стандартів, що створені для реалізації концепції I4.0. Дана модель може бути інструментом для означення різних концепцій в рамках I4.0, так і їх практичних використань. В цій моделі окремі компоненти I4.0 описуються на рівні їх структури та функцій. Модель вимагає формулювання вимог щодо конкретного застосування з метою опису та подальшої розробки I4.0 концепцій та продуктів. Модель RAMI 4.0

базується також на Smart Grid Architecture Model (SGAM), яка була розроблена у свій час для комунікацій у мережах джерел відновлюваної енергії, але стала корисною і для I4.0.

Референтна модель «RAMI 4.0», що показана на рисунку 2.1, базується на тривимірній системі координат – «Життєвий цикл та потік формування цінності» (Life Cycle & Value Stream), «Шари» (Layers) та «Ієрархічні рівні» (Hierarchy Levels). Вона призначена для використання при системній організації та подальшій розробці концепцій та технологій в рамках I4.0. Проте, в окремих випадках використання моделі «RAMI 4.0» виявляється непростим завданням через її складність і незвичність тривимірного подання.

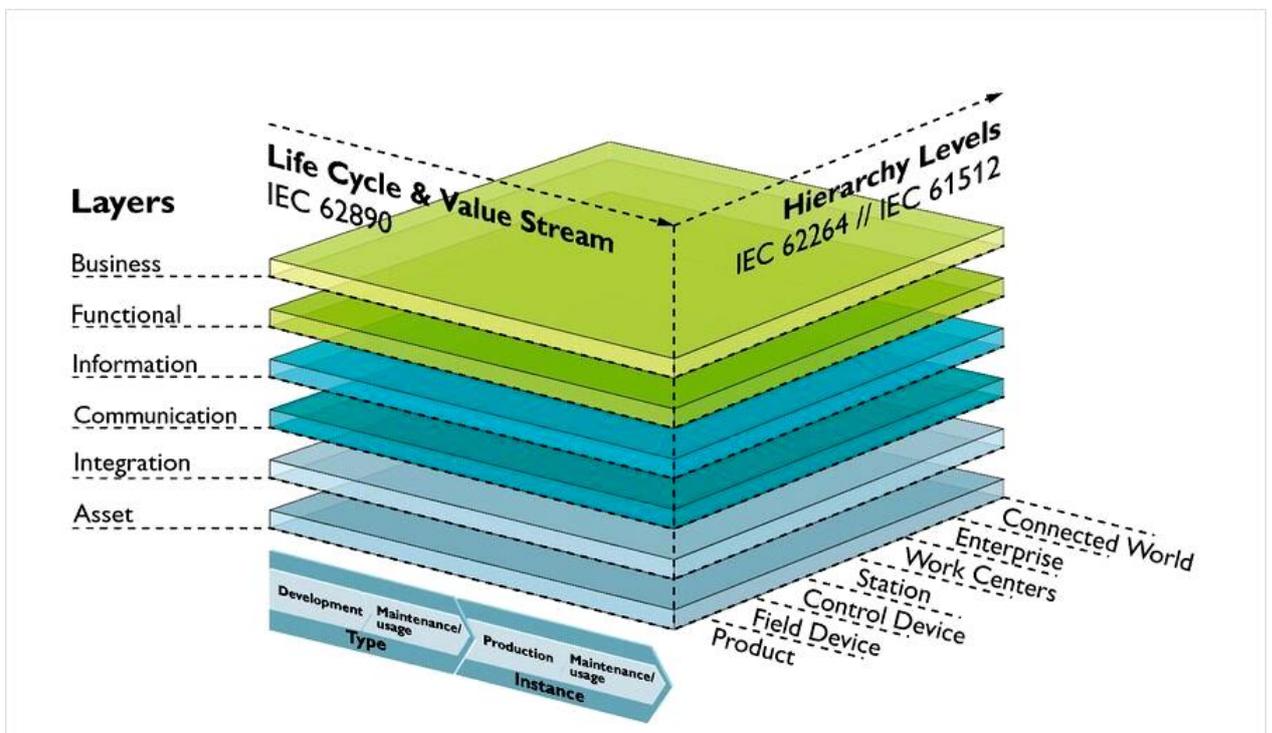


Рисунок 2.1 - Референтна архітектурна модель «RAMI 4.0»

Треба відмітити, що при розробці архітектурної моделі «RAMI 4.0» як основна область застосування розглядалося саме промислове виробництво. При цьому спектр цього виробництва простирається від дискретного до

безпервного його типів. Фокус на промисловому виробництві відрізняє проєкт майбутнього I4.0 від сформульованих у більш широкому контексті принципів IoT (Internet of Things) Міжнародного консорціуму промислового Інтернету (ІІС). Архітектурна модель I4.0 вимагала тільки тривимірного зображення, бо треба обов'язково описати, по-перше, ієрархічні рівні виробничої установки, об'єднаної в мережу за допомогою Інтернет, по-друге, життєвий цикл установки й її продукції, по-третє, ІТ-представлення компонентів I4.0. Такі описи і проводяться саме на відповідних трьох вісях моделі «RAMI 4.0». При цьому ієрархічні рівні в основному збігаються з рівнями піраміди автоматизації стандартів ISA 95 та ISA 88 [24].

Опис життєвого циклу установок і продукції з відповідними ланцюжками створення вартості (цінності) орієнтується на структуру стандарту MEK 62890 [25], що робить різницю між типом (Type) і екземпляром (Instance), як це показано на рисунку 2.2.

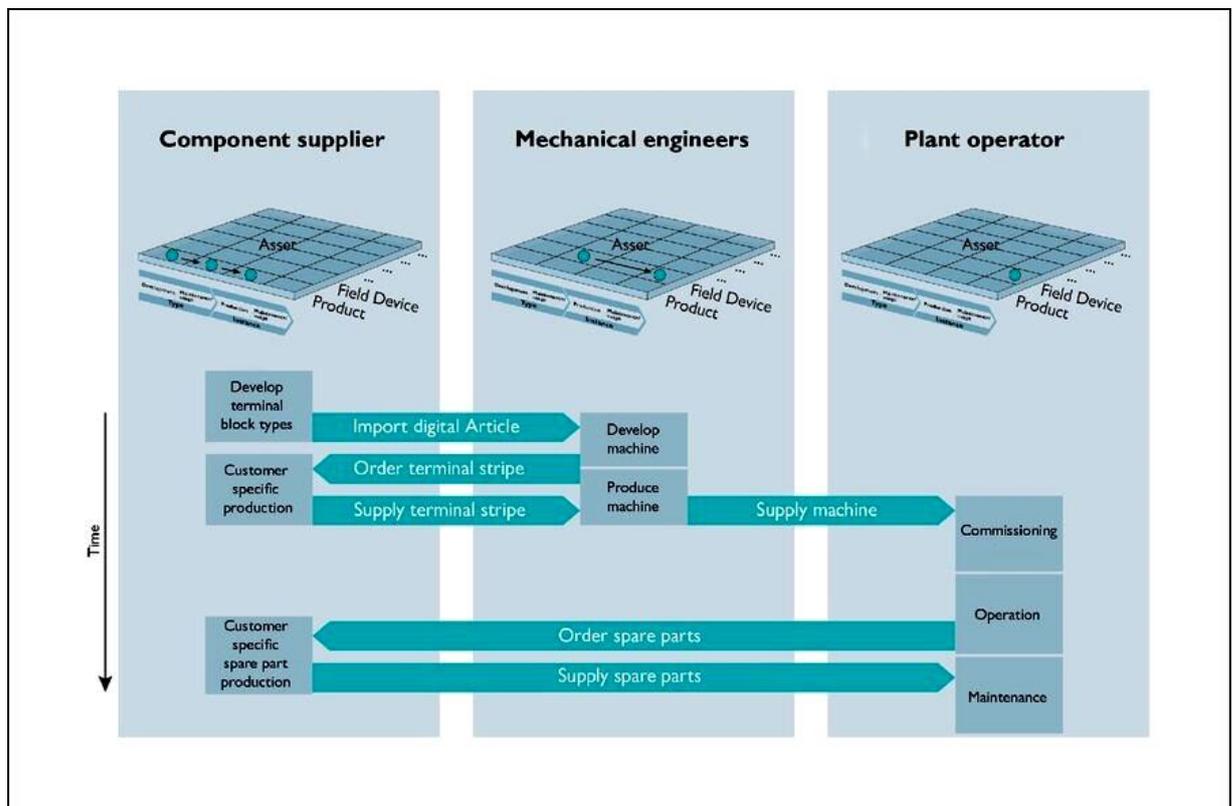


Рисунок 2.2 – Рольове представлення в моделі RAMI 4.0

Тип продукту створюється на декількох етапах у процесі розробки. Процес розробки завершується після затвердження спеціальної версії виробу. На основі типу, затвердженого для серійного виробництва, установка створює потім вироби, які є екземплярами даного типу. Припинення випуску компонентів або модернізація можуть зажадати внесення змін у продукцію. Зміни вносяться в тип, і, після завершення й затвердження коректування, на виробництво надходить уже нова версія виробу.

Уже сьогодні численні дані, що створюються (генеруються) в рамках трьох ланцюгів процесу, надаються в цифровому вигляді. Потім вони обробляються в системах PLM і ERP. Виробництво індивідуальних виробів вимагає можливості зберігання даних, які замовник передав виробникові для виготовлення своїх екземплярів, у відповідній формі й в електронному вигляді в IT-системах разом з даними, що стосуються до екземплярів. Вони повинні бути доступні протягом усього життєвого циклу екземпляра й прив'язані до відповідного типу.

Візуалізація IT-представлення компонента I4.0 провадиться на вертикальній осі за допомогою шести згрупованих один над іншим шарів (Layer). Шари відображають підхід до розуміння бізнес-процесів, функціональних описів, образів даних, параметрів зв'язку, включаючи Quality of Service (QoS), а також залученню ресурсів за допомогою шару інтеграції (Integration Layer). Крім таких фізичних елементів, як компоненти, машини, установки й кабелі, шар ресурсів (Asset Layer) охоплює також дані, отримані в процесі розробки. Як ресурс можна також розглядати дані по конкретному екземпляру, отримані в процесі виробництва й частково є унікальними для кожного клієнта.

Розподіл всіх ресурсів забезпечує додаткові можливості в області менеджменту ресурсів (Asset Management) за рахунок унікальної

ідентифікації всіх компонентів I4.0. Крім того, подібний сценарій спрощує аналіз загроз для виробничої установки, який варто виконувати для забезпечення інформаційної безпеки.

Також в архітектурній моделі присутні і інші шари IT-представлення розумного цифрового підприємства. Шар бізнесу (Business) означає бізнес модель, загальний процес та правила, яким система повинна слідувати. Він гарантує інтеграцію функцій у потоці формування цінності. Він також забезпечує регуляторні та легальні умови каркасу. Бізнес шар також організує дію сервісів функціонального шару та аналізує події, що інформують про прогрес у виконанні бізнес процесу.

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

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

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

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

В процесі проєктування інформаційної інтеграції нового КНЗ, який призначений для вивчення процесу цифрової трансформації реального АТП допоміжного виробництва, ми повинні використовувати усі архітектурні компоненти, які відображаються 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.).

2.2 Проєктування концепції кіберфізичної системи для

адитивного

допоміжного виробництва

Перед тим, як виконувати архітектурне проєктування інформаційної інтеграції нового КНЗ з інформаційним середовищем лабораторної ІСУ віртуальним виробництвом, що призведе до утворення віртуального

адитивного виробництва та відповідної кіберфізичної системи управління, означимо концепцію побудови цієї цифрової системи.

Складовими частинами такої системи повинні бути:

- продукти (тип та екземпляр комплекту тари для хімічної рідини);
- польові пристрої (якщо мова йде про обладнання автоматичного виробничого устаткування)
 - пристрої управління (будь-який обчислювач, що реалізує програмну обробку інформації з метою подальшого управління);
 - робочі станції (промисловий робот, 3D-принтер, конвеєр тощо);
 - дані, що використовуються в процесі роботи системи;
 - комунікації, що здійснюють на фізичному рівні передавання цифрових даних;
 - інформаційні обміни (структура інформаційних взаємодій між функціями системи та задіяні сховища цифрових даних);
 - функції системи управління (функціональна структура системи з визначенням компонентів, що їх виконують);
 - бізнес-задачі (перелік та взаємні зв'язки головних бізнес-задач, для вирішення яких і створюється дана система).

Зрозуміло, що усі ці компоненти відносяться до різних бачень системи управління, тому для розробки концепції кіберфізичної системи ми застосуємо тільки обмежену кількість вказаних компонентів, що дозволить у загальному вигляді описати бачення цієї системи. На рисунку 2.3 наведений розроблений варіант такої концепції.

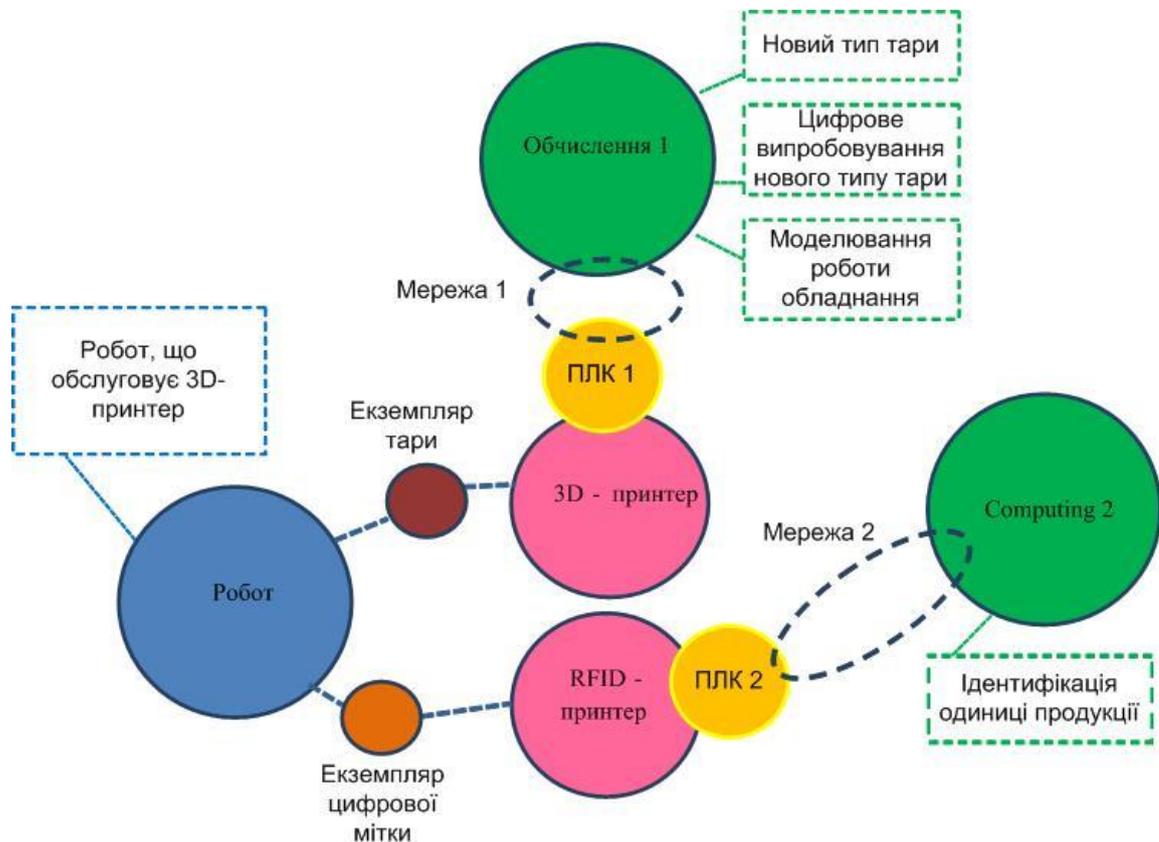


Рисунок 2.3 – Концепція побудови КФСА допоміжного виробництва

Основою кіберфізичної системи є 3D-принтер (компонент «Робоча станція» ієрархічної вісі архітектурної моделі «RAMI4.0»). Цей компонент через цифрову мережу «Мережа 1» (компонент шару «Communication» осі «Layers» архітектурної моделі «RAMI4.0») обмінюється даними з обчислювачем «Обчислення 1», який реалізований на базі ПК або сервера (компонент «Control Device» вісі «Hierarchy Levels» архітектурної моделі «RAMI4.0»), в якому виконується проєктування 3D-моделі нового типу тари, цифрове моделювання поведінки цієї моделі у різних умовах (випробовування) та моделювання дій виробничого обладнання з тарою).

Результати розробки нового типу тари через мережу «Мережа 1» завантажуються до вбудованого пристрою управління 3D-принтера «ПЛК 1» (компонент «Control Device» вісі «Hierarchy Levels» архітектурної моделі

«RAMI4.0»), який керує роботою принтера з виготовлення екземплярів нового типу тари.

Для того, щоб у майбутньому можна було реалізувати виробництво продукції по індивідуальним замовленням, що є однією з переваг цифрового виробництва, у концепцію КФСА введений додатковий принтер RFID-міток (компонент «Робоча станція» ієрархічної вісі архітектурної моделі «RAMI4.0»), який друкує такі мітки для кожного окремого екземпляру нового типу тари. Для того, щоб формувати завдання для даного принтера в систему введений «Обчислювач 2», який реалізований на базі ПК або сервера (компонент «Control Device» вісі «Hierarchy Levels» архітектурної моделі «RAMI4.0»). У цьому обчислювачі здійснюється програмна ідентифікація кожного екземпляру нового типу тари, тобто формується для нього оригінальний ID, який і передається по мережі «Мережа 2» (компонент шару «Communication» вісі «Layers» архітектурної моделі «RAMI4.0») до вбудованого пристрою управління RFID-принтера «ПЛК 2» (компонент «Control Device» вісі «Hierarchy Levels» архітектурної моделі «RAMI4.0»).

Екземпляр цифрової мітки закріплюється на екземплярі нового типу тари за допомогою промислового робота «Робот» (компонент «Робоча станція» ієрархічної осі архітектурної моделі «RAMI4.0»), який обслуговує 3D-принтер.

Ось саме на основі цього загального бачення КФСА реального допоміжного виробництва почнемо виконувати проєктування інформаційної інтеграції нового КНЗ, що використовує промисловий 3D-принтер, у інформаційне середовище ІСУ віртуальним виробництвом з метою його перетворення у віртуальне цифрове виробництво.

2.3 Архітектурне проєктування інформаційної інтеграції

На рисунках, що наведені нижче, показані результати архітектурного проектування з застосуванням моделі «RAMI4.0» інформаційної інтеграції 3D-принтера нового КНЗ у віртуальне цифрове виробництво.

Таке проектування виконуємо за принципом «зверху – донизу» стосовно шарів (Layers) інформаційного представлення моделі «RAMI4.0». На рисунку 2.4 показаний шар «Business», де вказана та бізнес-задача, вирішення якої і призвело до впровадження 3D-принтера у віртуальне виробництво.

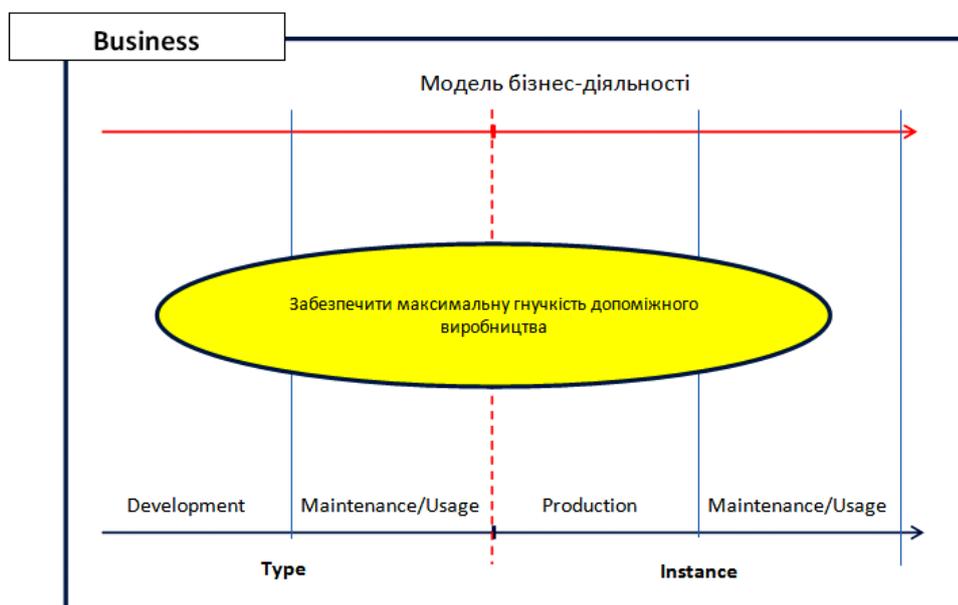


Рисунок 2.4 – Проект архітектури у шарі «Business»

Для вирішення цієї бізнес-задачі шляхом її функціональної декомпозиції були визначені основні функції, які необхідно виконати у інформаційному середовищі цифрового виробництва. На рисунку 2.5 вони показані у шарі «Functional» моделі «RAMI4.0».

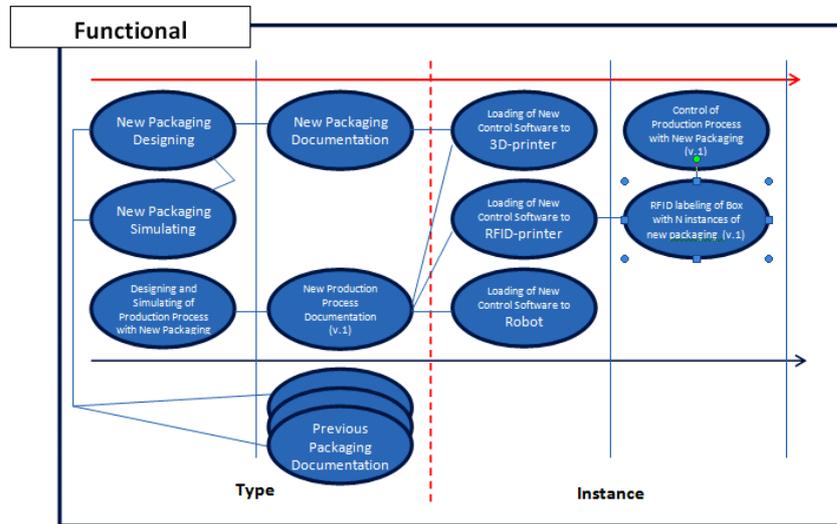


Рисунок 2.5 – Проект архітектури у шарі «Functional»

На рисунку 2.6 показаний шар «Information», де означені основні види цифрової інформації, з якою оперують функції з рисунку 2.5.

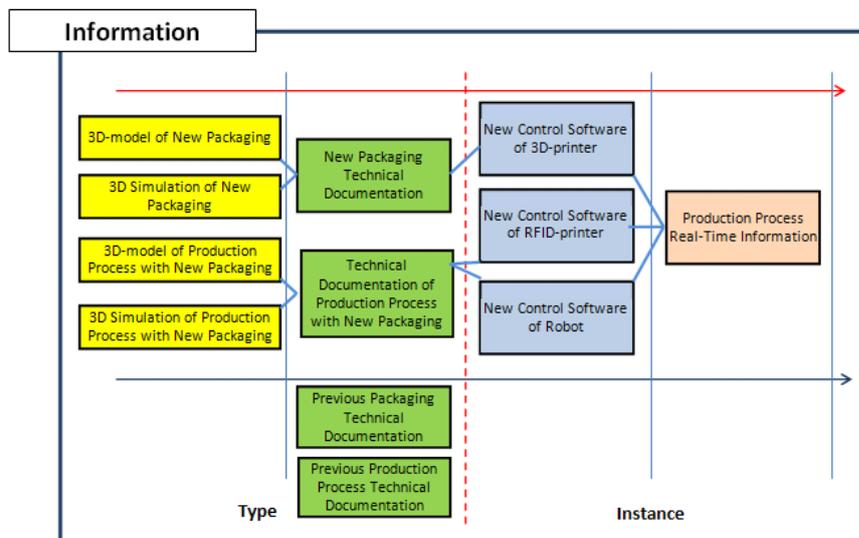


Рисунок 2.6 – Проект архітектури у шарі «Information»

На рисунку 2.7 показаний шар «Communication» моделі «RAMI4.0» з означенням основних фізичних комунікацій цифрового виробництва для передавання тієї інформації, яка визначена у шарі «Information» (див. рисунок 2.6).

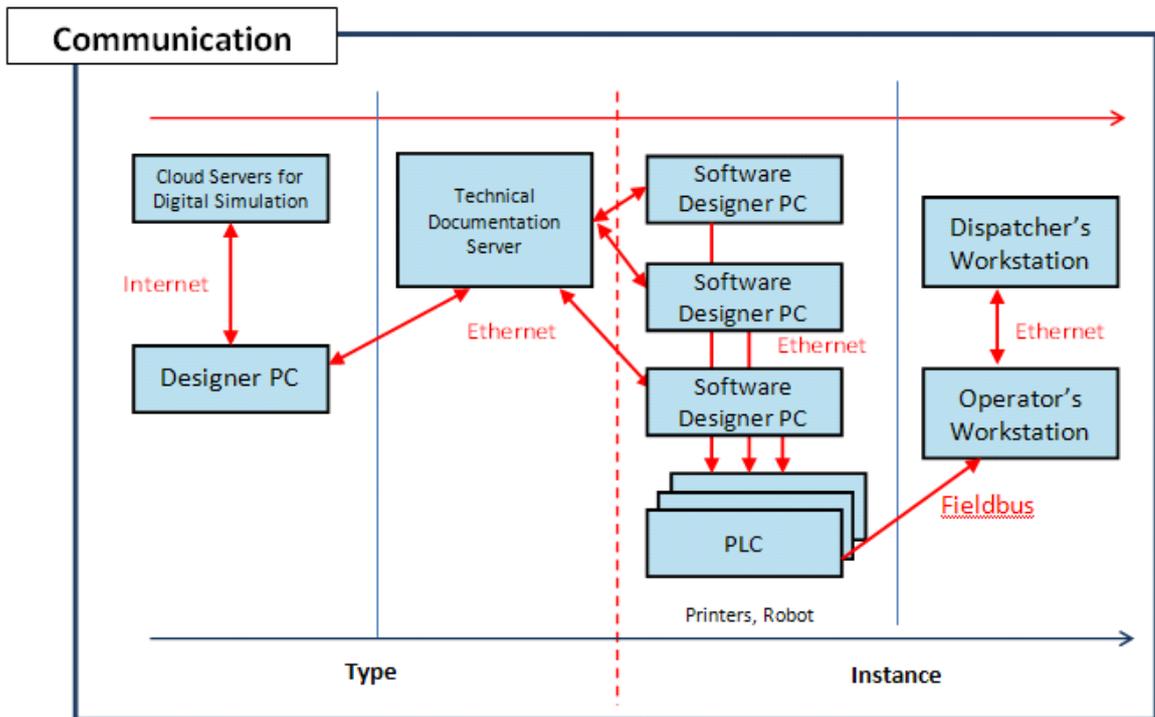


Рисунок 2.7 – Проект архітектури у шарі «Communication»

Враховуючи те, що для виконання функцій «New Packaging Simulating» та «Simulating of Production Process with New Packaging» (див. рисунок 2.5) передбачено застосування зовнішніх хмарних сервісів моделювання «Cloud Servers for Digital Simulation» (див. рисунок 2.7), то треба передбачити в архітектурі цифрового виробництва відповідний комунікаційний інтерфейс для обміну інформацією з цими віддаленими серверами. Крім того, в системі передбачена людська праця, яка є зовнішньою по відношенню до системи. Тому треба у архітектурі передбачити відповідні графічні НМІ (Human Machine Interface) для тих працівників цифрового виробництва, які цього вимагають. На рисунку 2.8 показаний відповідний архітектурний проект у шарі «Integration» моделі «RAMI4.0».

Тепер на основі даної архітектурної моделі інформаційної інтеграції нового КНЗ з 3D-принтером у інформаційне середовище ІСУ віртуальним виробництвом, в результаті чого воно перетворюється у цифрове, можна розробити відповідну схему інформаційних потоків, яка відобразить інформаційні зв'язки між автоматизованими функціями виробничих служб такого цифрового виробництва

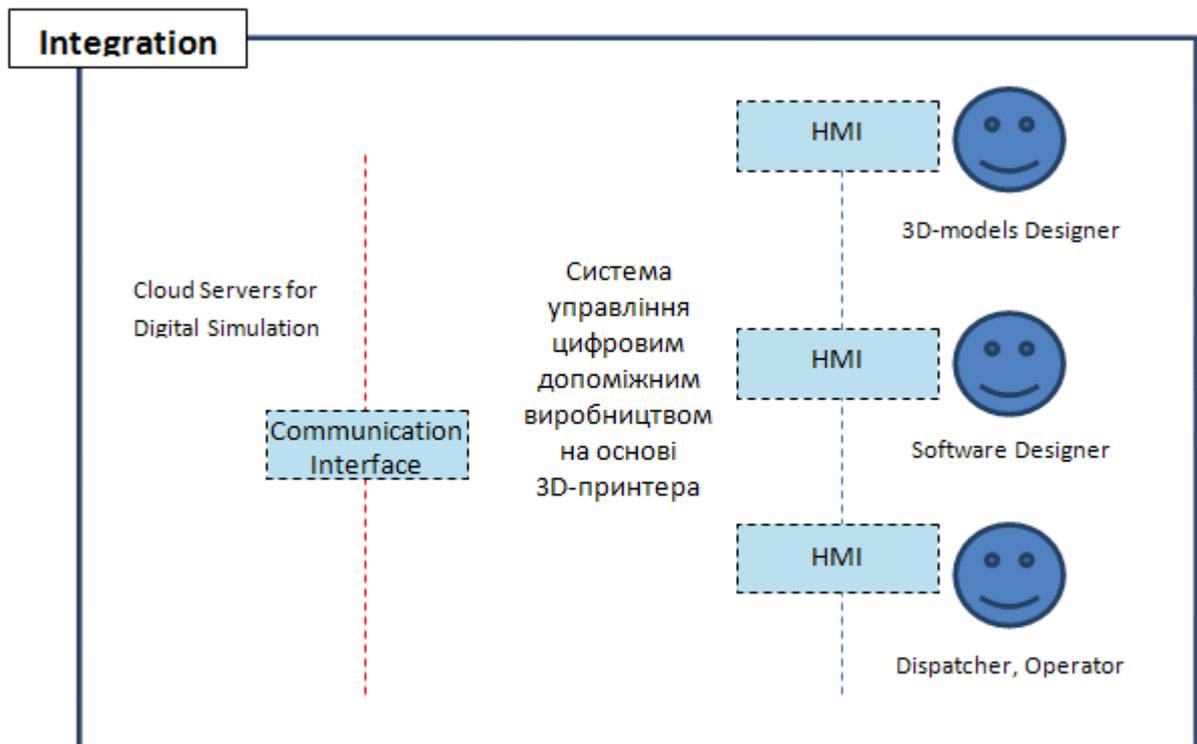


Рисунок 2.8 – Проект архітектури у шарі «Integration»

Розроблена схема інформаційних потоків наведена у додатку Б. На схемі показані такі основні автоматизовані служби віртуального цифрового виробництва:

- «Служба підготовки виробництва» (розробляє новий тип тари та нові типи виробничого процесу для цієї нової тари);
- «Виробнича служба» (збирає технічну документацію на нові типи

тари та виробничого процесу, зберігає та використовує її, формуючи відповідні види технічної документації для інших служб виробництва);

– «Служба автоматизації виробництва» (розробляє та підтримує усе програмне забезпечення як інтегрованої системи управління віртуальним виробництвом в цілому, так і її окремих складових частин);

– «Диспетчерська служба» (здійснює управління всім віртуальним виробництвом);

– «Допоміжне виробництво» (на ньому здійснюється автоматизоване управління допоміжним технологічним процесом та автоматичне управління його окремими робочими станціями).

На цій же схемі показані і усі види цифрової інформації, яка відповідними потоками передається між функціями автоматизованих служб.

2.4 Висновки до розділу

В результаті виконання досліджень в рамках даного розділу розглянута та проаналізована стандартна архітектурна модель цифрового виробництва, яку доцільно застосувати у новому КНЗ при проектуванні здобувачами кіберфізичних систем автоматизації адитивного виробництва, що працює за ідеями четвертої промислової революції «Індустрія 4.0». Для прикладу на основі цієї архітектури спроектована концепція кіберфізичної системи для адитивного допоміжного виробництва, яке реалізується на існуючому віртуальному виробництві. Для такої архітектури кіберфізичної системи була розроблена відповідна інформаційна інтеграція усіх основних функцій системи для управління автоматизованим адитивним виробництвом.

3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАСОБУ

3.1 Розробка технічного забезпечення КНЗ

Реалізація інформаційної інтеграції 3D-принтера у віртуальне цифрове виробництво повинна забезпечуватися в лабораторії відповідними технічними засобами. Загальний склад таких технічних засобів та їх взаємні зв'язки можна відобразити у вигляді електричної структурної схеми КНЗ.

На рисунку 3.1 показаний існуючий варіант технічного рішення системи світлових імітаційних моделей конвеєрів, які зв'язують між собою існуючі в лабораторії моделі технологічних/технічних процесів віртуального виробництва [5].

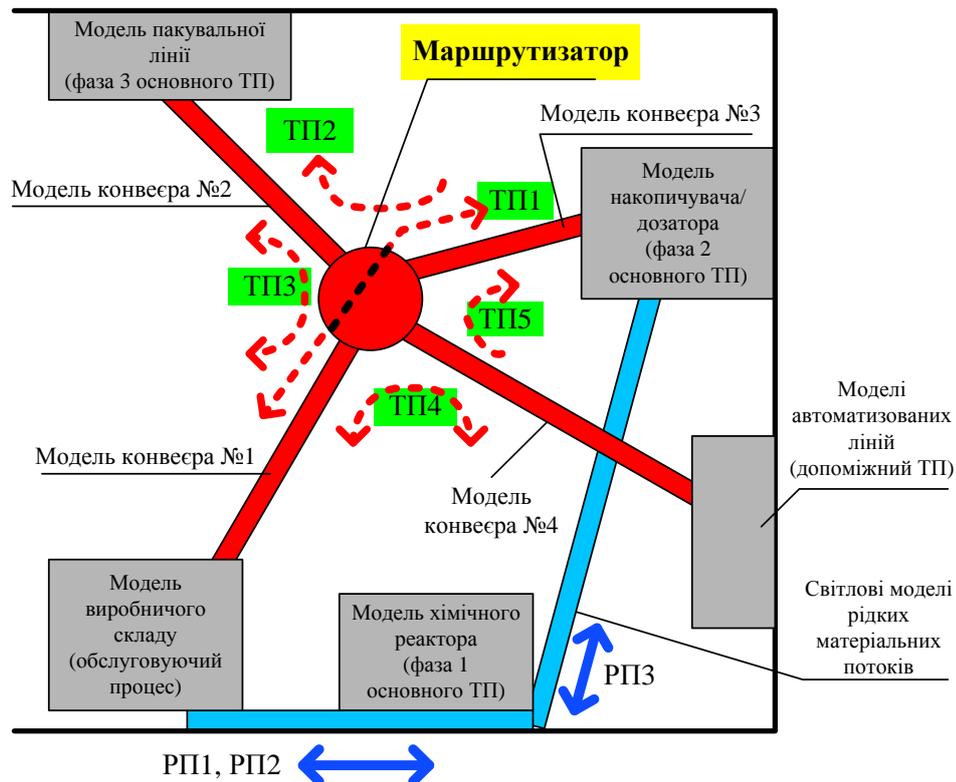


Рисунок 3.1 – Існуюче технічне рішення системи світлових

імітаційних моделей конвеєрів

На рисунку показаний план приміщення лабораторії та місця встановлення в ній п'яти лабораторних моделей технологічних/технічних процесів, які об'єднані у віртуальне виробництво (фізичні та електромеханічні моделі хімічного реактора, накопичувача/дозатора, роботизованої пакувальної лінії, автоматизованих ліній допоміжного виробництва та виробничого складу). Ці світлові імітаційні моделі встановлені на стійках висотою 2,5 метри. При цьому в модель конвеєрної транспортної системи введений додатковий її елемент – маршрутизатор. На реальному виробництві такий технічний пристрій використовується для переключення маршрутів конвеєрних матеріальних потоків. Лабораторна модель маршрутизатора об'єднує чотири світлові імітаційні моделі конвеєрів №1-№4 в єдину транспортну систему, дозволяючи шляхом програмної комбінації цих світлових імітаційних моделей формувати п'ять конвеєрних матеріальних потоків віртуального виробництва:

- ТП1 (комбінація моделей конвеєрів №1 та №3);
- ТП2 (комбінація моделей конвеєрів №2 та №3);
- ТП3 (комбінація моделей конвеєрів №1 та №2);
- ТП4 (комбінація моделей конвеєрів №1 та №4);
- ТП5 (комбінація моделей конвеєрів №3 та №4).

На рисунку 3.2 показаний існуючий спосіб управління даною системою світлових імітаційних моделей конвеєрів віртуального виробництва.

Зокрема, на рисунку показані промислові контролери лабораторії (ПЛК1-ПЛК4), програми яких керують як роботою відповідних світлових імітаційних моделей конвеєрів, так і роботою відповідних моделей технологічних/технічних процесів віртуального виробництва. На АРМ диспетчера ІСУ віртуального виробництва виконується автоматизована

функція «Маршрутизатор», яка узгоджує роботу програмних та світлових імітаційних моделей конвеєрів.

З урахуванням описаного способу управління світловими імітаційними моделями конвеєрів віртуального виробництва, а також на основі вимог технічного завдання на науково-дослідну роботу (додаток А), загальної конфігурації нового КНЗ (див. розділ 1) та його інформаційного середовища (див. розділ 2), була розроблена електрична структурна схема нового комп'ютеризованого навчального засобу, яка наведена в додатку Б.

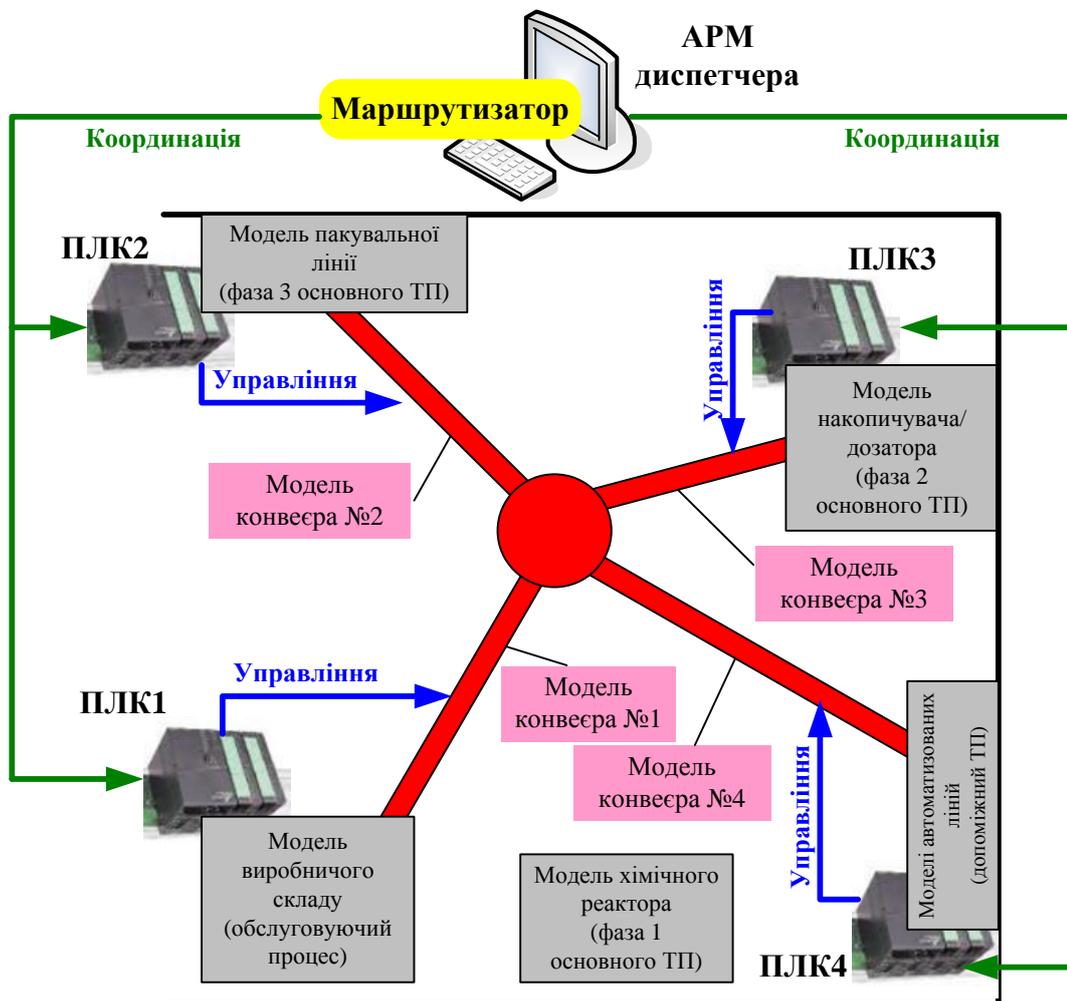


Рисунок 3.2 – Спосіб координованого управління моделями конвеєрів віртуального виробництва

Ця схема дозволяє здобувачам в ході лабораторних та практичних занять з кількох професійно-орієнтованих дисциплін («Кіберфізичні системи автоматизації виробництва», «Промисловий Інтернет речей»):

- досліджувати методи та засоби цифрової трансформації існуючого промислового виробництва у перспективне цифрове виробництво шляхом впровадження на ньому 3D-принтерів (цифрове адитивне виробництво);

- реалізовувати на практиці стадію «Development» життєвого циклу нового типу (Type) напівфабрикату цифрового виробництва (пуста тара для хімічної рідини) та нових типів елементів виробничої системи (оснастка конвеєрів та пакувального робота, пристосовані для нового типу пустої тари);

- реалізовувати на практиці стадію «Maintenance/Usage» життєвого циклу нового типу напівфабрикату цифрового виробництва (пуста тара для хімічної рідини) та нових типів елементів виробничої системи (оснастка конвеєрів та пакувального робота, пристосовані для нового типу пустої тари);

- реалізовувати на практиці стадію «Production» життєвого циклу нового екземпляру (Entity) напівфабрикату цифрового виробництва (пуста тара для хімічної рідини) та нових екземплярів елементів виробничої системи (оснастка конвеєрів та пакувального робота, пристосовані для нового типу пустої тари);

- реалізовувати на практиці стадію «Maintenance/Usage» життєвого циклу нового екземпляру (Entity) напівфабрикату цифрового виробництва (пуста тара для хімічної рідини) та нових екземплярів елементів виробничої системи (оснастка конвеєрів та пакувального робота, пристосовані для нового типу пустої тари).

Пристрої електричної структурної схеми нового КНЗ згруповані таким чином:

- пристрої, що утворюють ділянку цифрового віртуального допоміжного виробництва;

- комп'ютер, що виконує функцію АРМ диспетчера віртуального виробництва;
- комп'ютер, що виконує функцію сервера виробничих даних;
- пристрої, якими обладнаний універсальний лабораторний стіл №1;
- пристрої, що утворюють електричну імітаційну модель конвеєра №3;
- пристрої, які змонтовані на фізичній моделі промислового накопичувача/дозатора;
- пристрої, якими обладнаний універсальний лабораторний стіл №3;
- пристрої, що утворюють електричну імітаційну модель конвеєра №1;
- пристрої, якими обладнана спеціалізована стійка №1;
- пристрої, що утворюють електричну імітаційну модель конвеєра №2;
- пристрої, якими обладнана спеціалізована стійка №2;
- пристрої, що утворюють електричну імітаційну модель конвеєра №4.

Персональний комп'ютер (блок 1) підключений одним спеціальним кабелем до 3D-принтера (блок 2), а іншим спеціальним кабелем до локальної цифрової мережі Ethernet лабораторії. Обидва ці пристрої утворюють ділянку цифрового віртуального допоміжного виробництва, яке інформаційно інтегроване до існуючого віртуального виробництва, реалізованого рештою технічних пристроїв даної схеми. За допомогою персональний комп'ютер (блок 1) здобувач має змогу розробляти тривимірні моделі напівфабрикатів та виробничої оснастки віртуального виробництва, виконувати оптимізацію їх конструкцій та завантажувати кінцеві варіанти 3D-моделей у принтер (блок 2) для їх друку у зменшеному масштабі.

3D-принтер (блок 2), який застосований в цій схемі, є «da Vinci 1.0 Pro» виробництва Китаю (рисунок 3.3) і призначений для професійного друку, що



Рисунок 3.3 - Зовнішній вигляд 3D-принтеру «da Vinci 1.0 Pro»

підтримує пластикові смоли різних виробників і може управлятися G-кодами [26]. Цей пристрій дозволяє робити великі партії виробів практично з будь-якого матеріалу. Нещодавно саме цей пристрій був встановлений в навчальній лабораторії. Міняючи налаштування друку в основному ПЗ принтера «XYZware Pro» і в програмних утилітах, можна використовувати для друку самі різні матеріали - нитки з ABS, PLA, PETG, HIPS. Основні технічні характеристики принтера такі:

- технологія друку – FFF (виробництво шляхом наплавлення нитки);
- максимальна робоча площа: 200 x 200 x 200 мм;
- розрізнявальна здатність шару: 20 - 400 мікрон;
- точність позиціонування по X/Y: 12.5 мікрон;
- точність позиціонування по Z: 0.0004 мм;
- максимальна швидкість переміщення: 150 мм/с;
- діаметр сопла: 0.4 мм;

- температура сопла: максимальна плюс 240 °С;
- ПЗ для друку «XYZmaker Suite» (для 3D-дизайну) та «XYZprint Hub» (для виконання друку);
- підтримуються формати файлів: .stl, .3mf, .obj, .igs, .stp, .ply, .amf, XYZ Format (.3w), .nkg (.stl,.3w), G-code;
- є підтримка «3D Builder»;

Персональний комп'ютер робочого місця викладача (блок 3) застосовується в складі КНЗ для реалізації на його основі автоматизованого робочого місця (АРМ) диспетчера віртуального виробництва хімічної продукції з управлінськими функціями рівня MES/MOM, що покладені на нього:

- управління означенням хімічної продукції;
- диспетчерування основного виробництва;
- управління виконанням основного виробництва;
- контроль ресурсів.

Персональний комп'ютер лабораторії (блок 4) виконує функцію серверу

виробничих даних реального часу ІСУ періодичним віртуальним виробництвом

хімічної продукції. Для цього на ньому встановлена відповідна промислова система управління базою даних (СУБД) реального часу «KEPServerEX». На цей сервер в ІСУ періодичним віртуальним виробництвом покладені такі управлінські функції рівня MES/MOM:

- збір даних основного виробництва;
- стеження за основним виробництвом;
- аналіз ефективності основного виробництва.

Універсальний лабораторний стіл №1 оснащений ПК (блок 5), промисловим контролером (блок 6) та засобами електричної комутації, що

вимагають виконання ручних операцій (блоки 7, 8). Через перший пристрій електричної комутації (блок 7) контролер (блок 6) з'єднується з пристроями електричної імітаційної моделі конвеєру №3 (блоки 9, 10). Через другий пристрій електричної комутації (блок 8) контролер (блок 6) з'єднується з пристроями фізичної моделі промислового накопичувача/дозатора (фаза 2 основного ТП). Контролер (блок 6) та ПК (блок 5) обмінюються між собою цифровими даними через локальну мережу Ethernet лабораторії.

Електричну імітаційну модель конвеєра №3 утворюють такі пристрої структурної схеми: пристрій управління роботою моделі (блок 9) та багатоканальний пристрій світлової індикації (блок 10).

Спеціалізована стійка №1 оснащена ПК (блок 12), контролером (блок 11) та засобами електричної комутації, що вимагають виконання ручних операцій (блоки 13, 14). Через пристрій електричної комутації (блок 14) контролер (блок 11) з'єднується з пристроями електромеханічної моделі роботизованої пакувальної лінії (фаза 3 основного ТП). Через пристрій електричної комутації (блок 13) контролер (блок 11) з'єднується з пристроями електричної імітаційної моделі конвеєру №2. Контролер (блок 11) та персональний комп'ютер (блок 12) обмінюються між собою цифровими даними через локальну мережу Ethernet лабораторії.

Електричну імітаційну модель конвеєра №2 утворюють такі пристрої структурної схеми: пристрій управління роботою моделі (блок 15) та багатоканальний пристрій світлової індикації (блок 16).

Спеціалізована стійка №2 оснащений ПК (блок 20), контролером (блок 21) та засобами електричної комутації, що вимагають виконання ручних операцій (блоки 17, 22). Через пристрій електричної комутації (блок 22) контролер (блок 21) з'єднується з пристроями електромеханічної моделі автоматизованих ліній допоміжного виробництва (допоміжний ТП). Через пристрій електричної комутації (блок 17) контролер (блок 21) з'єднується з пристроями електричної імітаційної моделі конвеєру №4. Контролер (блок

21) та ПК (блок 20) обмінюються між собою цифровими даними через локальну мережу Ethernet лабораторії.

Електричну імітаційну модель конвеєра №4 утворюють такі пристрої структурної схеми: пристрій управління роботою моделі (блок 18) та багатоканальний пристрій світлової індикації (блок 19).

Універсальний лабораторний стіл №3 оснащений ПК (блок 24), контролером (блок 23) та засобами електричної комутації, що вимагають виконання ручних операцій (блоки 25, 26). Через пристрій електричної комутації (блок 26) контролер (блок 23) з'єднується з пристроями фізичної моделі складського робота (обслуговуючий ТП). Через пристрій електричної комутації (блок 25) контролер (блок 23) з'єднується з пристроями електричної імітаційної моделі конвеєру №1. Контролер (блок 23) та ПК (блок 24) обмінюються між собою цифровими даними через локальну мережу Ethernet лабораторії.

Електричну імітаційну модель конвеєра №1 утворюють такі пристрої структурної схеми: пристрій управління роботою моделі (блок 27) та багатоканальний пристрій світлової індикації (блок 28).

3.2 Практичне реалізація стадії «Development» ЖЦ типу нової тари

Як було зазначено в розділі 2, існуючий реальний допоміжний автоматизований ТП гірший за свій адитивний аналог тим, що на стадії «Development» життєвого циклу як самої продукції даного ТП, так і його виробничого обладнання, зовсім не використовується цифрове моделювання. Проте на цифровому виробництві саме такий підхід дає змогу, наприклад, швидко створювати нові, більш привабливі, форми тари для хімічної рідини, а потім ще і легко перевіряти у відповідних інструментальних середовищах

спроможність існуючого технологічного обладнання здійснювати технологічні операції з цією новою тарою (пустою чи заповненою хімічною рідиною). Якщо ж з'ясується, що технологічне обладнання буде не ефективно у нових умовах, то можна буде також шляхом відповідного цифрового проєктування та моделювання розробити нову технологічну оснастку, яка буде максимально пристосована для роботи з новою тарою.

Такий підхід до стадії «Development» будь-якого з елементів виробничого процесу дозволяє досягнути на даному виробництві абсолютної гнучкості, бо цифрові проєктні моделі суттєво прискорюють перехід виробництва на нові види продукції. Забезпеченню абсолютної гнучкості виробничого процесу сприяє і те, що його активи (технологічне обладнання й його оснастка) мають модульну конструкцію, що значно полегшує і цифрове проєктування цих активів (проєктуються лише нові окремі модулі, а не все обладнання в цілому), і настройка фізичної виробничої системи до нового виду продукції (окремі модулі конструкції замінюються на нові).

Розглянемо можливість практичної реалізації на новому КНЗ цих основних принципів цифрової трансформації існуючого віртуального допоміжного виробництва.

Почнемо розгляд з продукції такого виробництва. Вище вказувалось, що на існуючому віртуальному допоміжному виробництві умовно виготовляються комплекти тари для хімічної рідини, тобто, металева банка та металева кришка до неї. Виготовлення здійснюється на двох автоматизованих виробничих лініях.

Також за розробленою вище загальною концепцією побудови КНЗ з метою вдосконалення існуючого виробництва треба його частину зробити адитивною, використавши 3D-принтер. Таке технологічне обладнання засноване на використанні сучасних цифрових технологій і тому вже передбачає обов'язкову роботу персоналу з цифровими моделями тієї продукції, яку планується друкувати.

В нашому КНЗ для розробки таких тривимірних моделей нового типу тари може бути використані різні інструментальні середовища – або штатне ПЗ даного принтера «XYZmaker Suite», або вільно розповсюджувана через Інтернет система «FreeCAD» [27], або будь-яке інше доступне локальне чи хмарне інструментальне середовище, яке на виході може формувати файли проєктів потрібного формату.

Для прикладу була застосована система «FreeCAD» для розробки тривимірної моделі типу нової тари (рисунок 3.4 та додаток Б). В цьому середовищі можна створювати досить просто такі моделі, а також здійснювати технічну анімацію їх поведінки за допомогою вбудованої мови програмування. В Інтернеті існують вже тривалий час професійна спільнота, яка готує та опубліковує різноманітні довідкові матеріали та відео з навчальними уроками, що значно прискорює процес практичного оволодіння даною системою.

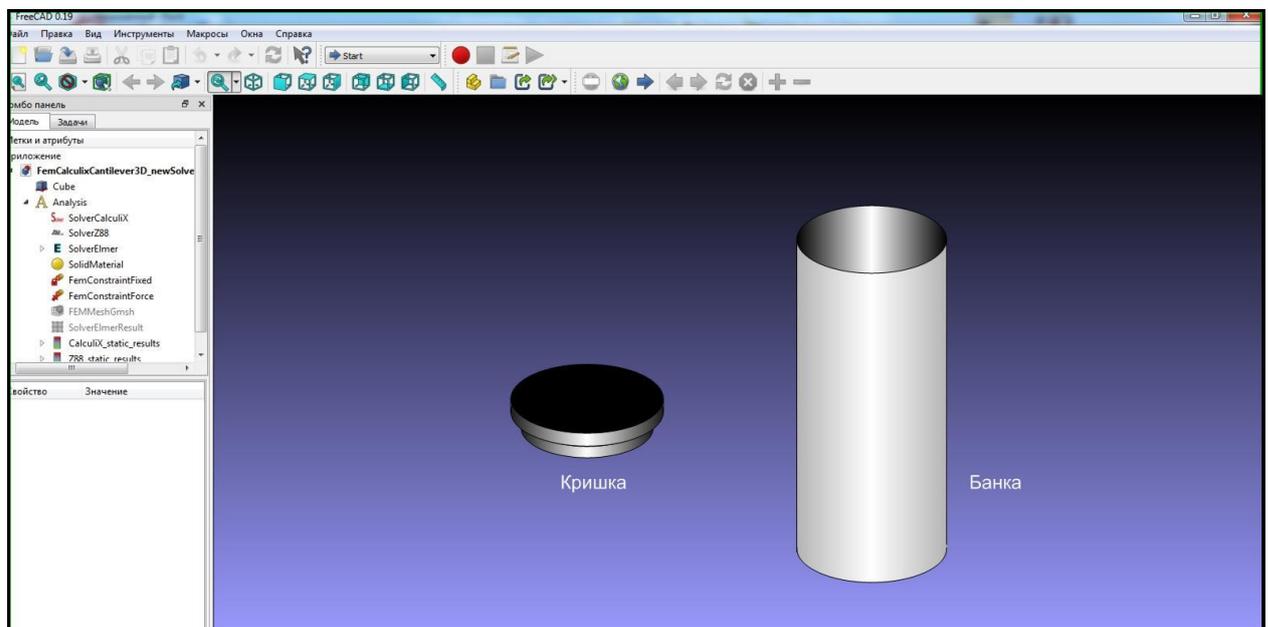


Рисунок 3.4 – Тривимірна модель типу нової тари

На даному рисунку показана дуже проста форма нової тари, але навіть у цьому випадку паралельно зі стадією «Development» життєвого циклу

даного нового типу тари треба обов'язково виконувати стадію «Development» життєвого циклу і технологічного обладнання віртуального допоміжного виробництва, і його існуючої технологічної оснастки.

Наприклад, на рисунку 3.5 та в додатку Б показаний результат цифрового моделювання процесу переміщення існуючого (попереднього) типу тари конвеєром допоміжного виробництва.

Цифрова симуляція даного процесу показує, що тара великих розмірів без жодних проблем переміщується існуючим конвеєром, крім того, ніякої додаткової оснастки конвеєра не потребується.

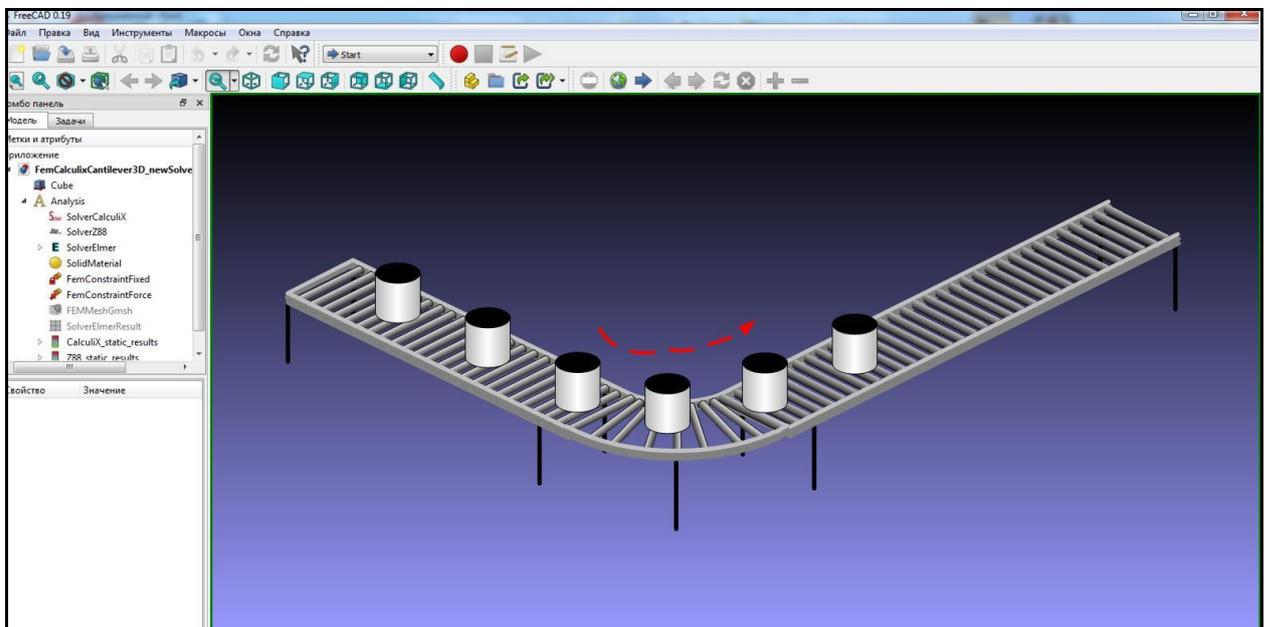


Рисунок 3.5 – Цифрове моделювання руху старого типу тари по конвеєру

Проте, якщо в результаті проектування була отримана менша за діаметром нова тара, то її рух по існуючому конвеєру вже буде проблемним (рисунок 3.6 та додаток Б). По-перше, на повороті конвеєра може статися падіння тари на бік, по-друге, за відсутності захисного екрану така тара на повороті конвеєра взагалі може впасти на підлогу і зігнутися.

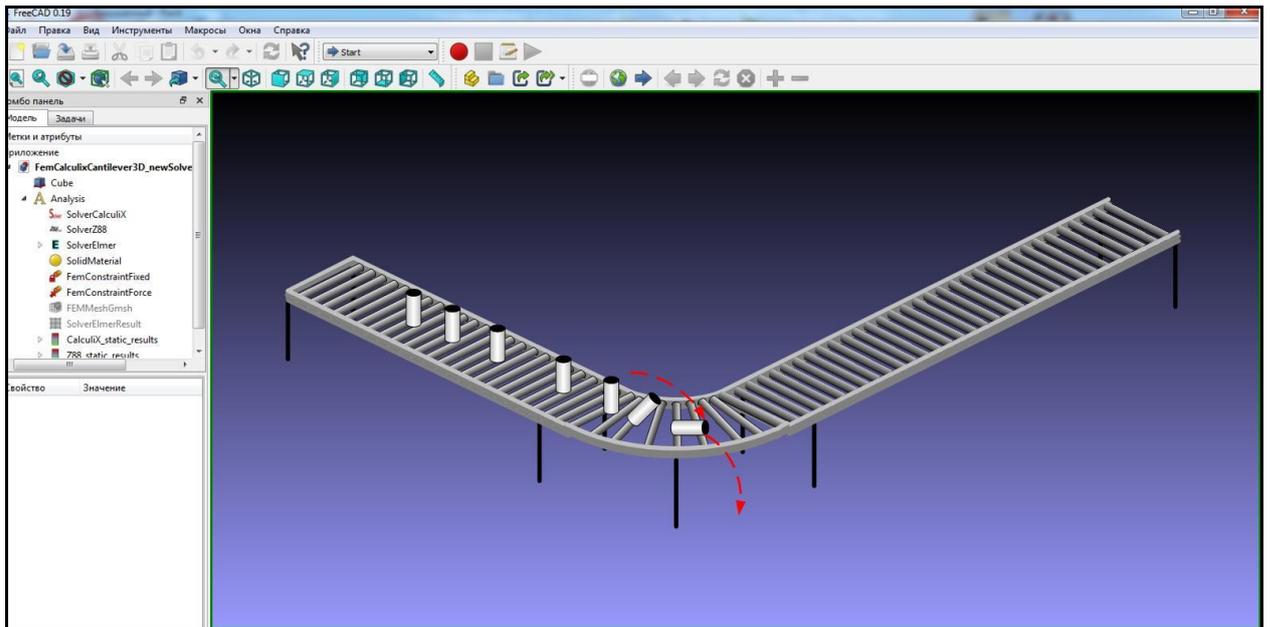


Рисунок 3.6 - Цифрове модулювання руху нового типу тари по конвеєру

У зв'язку з виявленою поведінкою нового типу тари при її переміщенні існуючим конвеєром можна в рамках нашого КНЗ реалізувати відповідну стадію «Development» життєвого циклу або для нового типу технологічного обладнання віртуального допоміжного виробництва, тобто для конвеєра, або для нового типу технологічної оснастки для нього. Вибираємо другий варіант.

На рисунках 3.7 та 3.8 (додаток Б) показане концептуальне рішення вдосконалення існуючого віртуального виробництва шляхом застосування в ньому модульної конструкції додаткової технологічної оснастки (механічного фіксатора для тари), що, по-перше, полегшує процес адаптації існуючого технологічного обладнання до нових типів застосовуваної тари, по-друге, виключає можливі зсуви, перекидання чи падіння будь-якої тари при її переміщенні конвеєром, по-третє, збільшує продуктивність декількох

існуючих технологічних/технічних процесів (розлив хімічної рідини у
пусту тару,
транспортування конвеєрами, роботизоване пакування у картонні коробки).

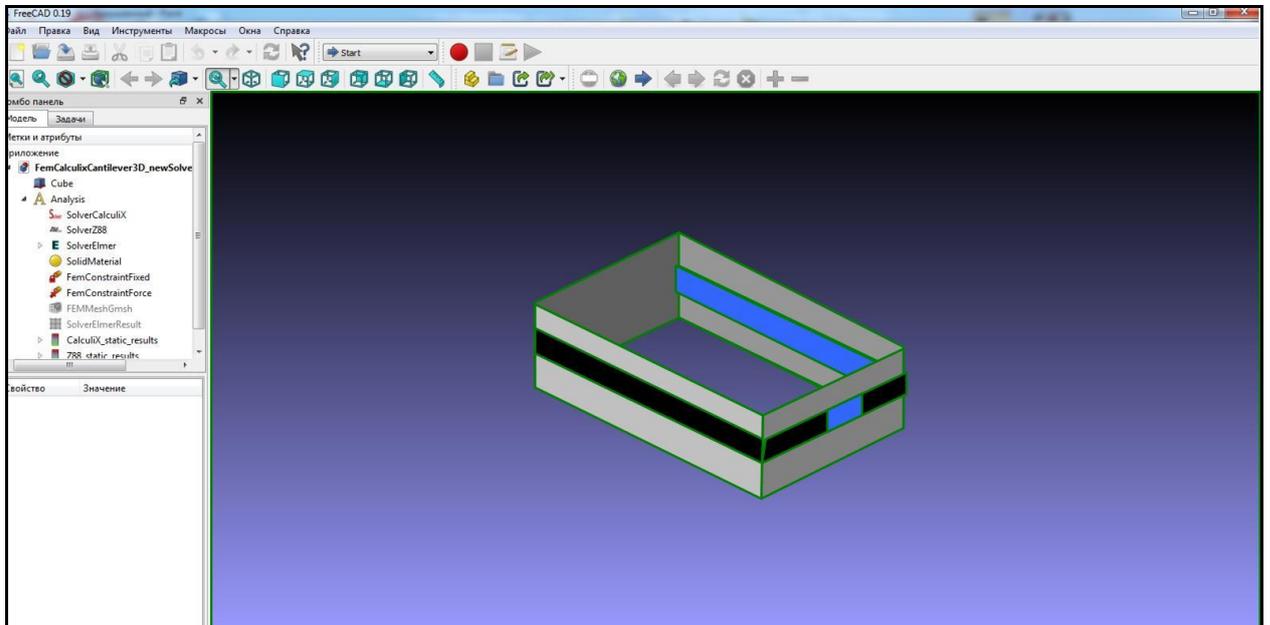


Рисунок 3.7 – Тривимірна модель механічного фіксатора для тари

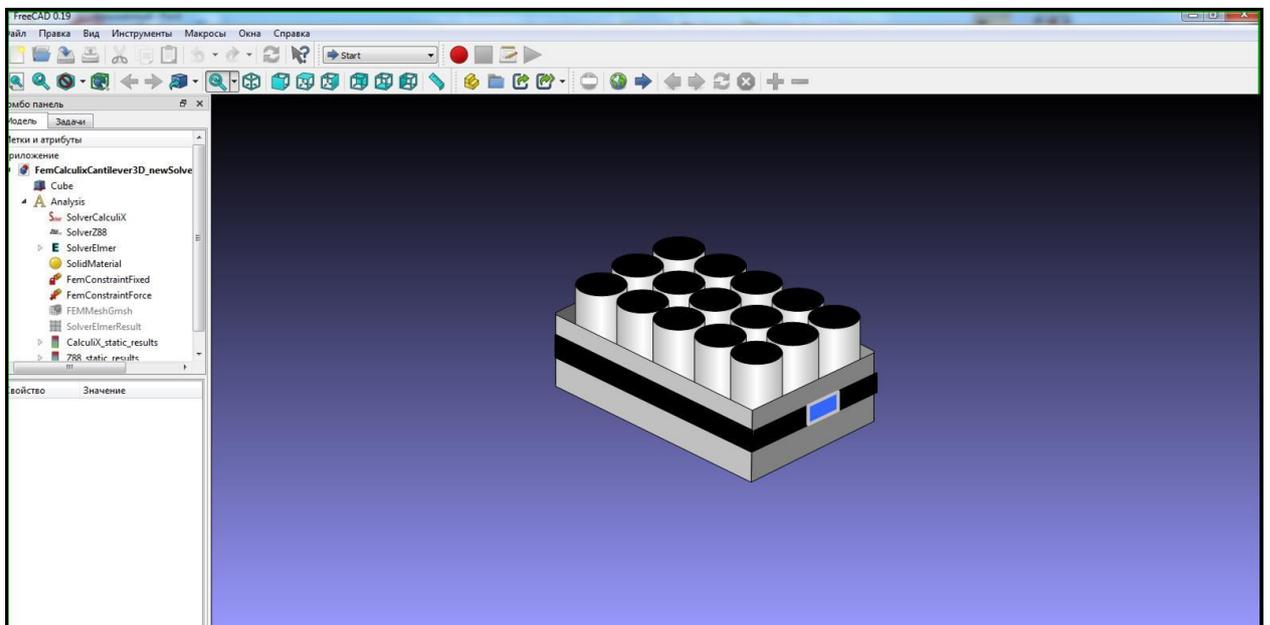


Рисунок 3.8 – Тривимірна модель механічного фіксатора з тарою

Як видно з цих рисунків, пропонується впровадити в рамках цифрової трансформації віртуального допоміжного виробництва спеціальний прямокутний механічний фіксатор для тари, який виготовляється з пластмаси на тому ж самому 3D-принтері. Всередині його конструкції вмонтований спеціальний планковий затискувач, який міцно тримає цілу групу пустої чи наповненої тари при її пакуванні у картонні коробки. При цьому затискувач приводиться у дію шляхом натискання на зовнішній важіль, розміщений з торця прямокутного фіксатора. Таким чином, якщо натиснути ззовні на цей важіль, то група пустої чи заповненої тари всередині фіксатора міцно притискається одна до одної, що не дозволяє їм випасти при підйомі фіксатора разом з тарою догори (наприклад для їх переміщенні на конвеєр або при їх зніманні з конвеєра).

Описане технічне рішення дозволяє, як було зазначено вище, і надійно переміщувати пусту чи заповнену тару нового типу існуючим конвеєром, без її падіння та пошкодження (рисунок 3.9 та додаток Б).

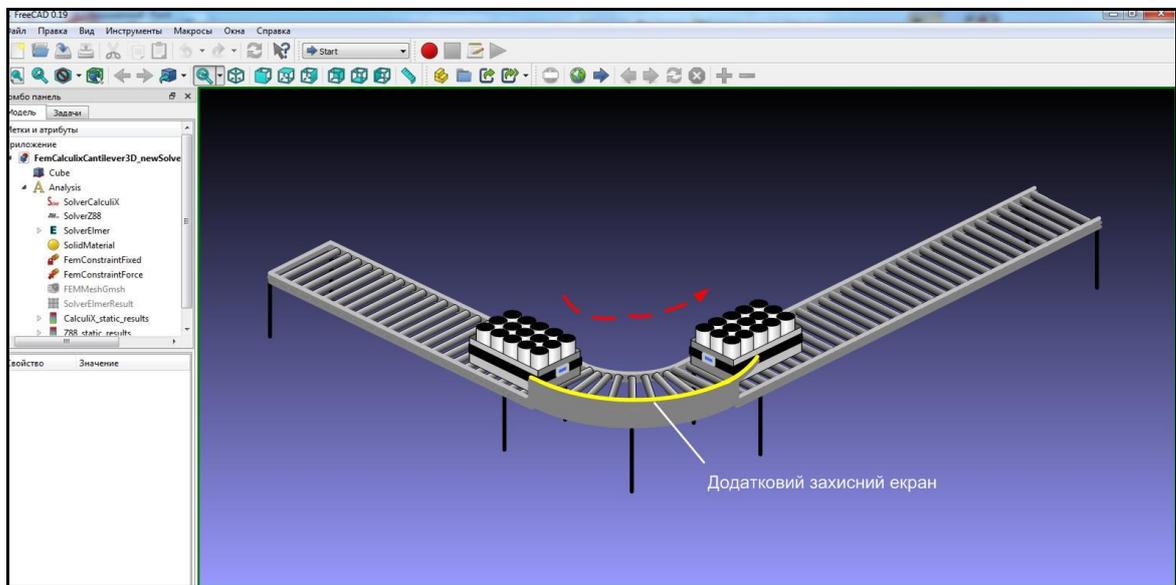


Рисунок 3.9 – Тривимірне моделювання переміщення фіксатора з

тарою по вдосконаленому конвеєру

На рисунку показане також оснащення існуючого конвеєра додатковим захисним екраном, який дозволяє фіксатору з тарою, який їде по конвеєру, без проблем проходити його поворот. На вихідному кінці даного екрану є спеціальна направляюча, яка посуває фіксатор з тарою після повороту на середину конвеєра.

У всіх описаних вище реалізаціях стадії «Development» життєвого циклу нового типу тари та стадії «Development» життєвого циклу або технологічного обладнання віртуального допоміжного виробництва (конвеєра), або його нової технологічної оснастки, використовувалась локальна інструментальна система «FreeCAD». Проте, в Інтернеті зараз доступні різні хмарні інструментальні середовища, які спеціалізуються на моделюванні окремих видів технологічного обладнання. Наприклад, можна використати доступний хмарний сервіс орієнтований на тривимірне моделювання роботи різних систем конвеєрного транспорту для будь-якого матеріального ресурсу, що ними переміщується. В цьому середовищі можна застосовувати користувальницькі тривимірні моделі матеріального ресурсу, програмувати різні схеми маршрутів та режими роботи конвеєрів. Однак недоліком таких хмарних сервісів для здобувачів, що працюватимуть з новим КНЗ, є необхідність витратити багато часу на освоєння практичних прийомів розробки та налаштування цифрових моделей конвеєрних систем, так як ці сервіси переважно розраховані на професійне використання.

3.3 Практичне реалізація стадії «Development» ЖЦ нового типу технологічного обладнання

Тепер розглянемо випадок застосування проектованого КНЗ для реалізації стадії «Development» ЖЦ нового типу технологічного обладнання, яке повинно оперувати спроектованими вище типами нової тари та нової оснастки для неї. Наприклад, таким технологічним обладнанням може бути пакувальний робот, який вже згадувався вище. На віртуальному виробництві цей робот виконує пакування тари, наповненої хімічною рідиною і щільно закритої кришкою, у картонні коробки. У зв'язку з переходом віртуального виробництва на новий тип тари та новий тип технологічної оснастки для неї (механічний фіксатор для певної кількості цієї тари), треба вдосконалити і пакувальний робот, щоб він був спроможний виконувати свої функції.

Тому пропонуємо виконати цей робот модульним, зокрема, оснастити його модульним пристроєм схоплення фіксатора з заповненою тарою всередині, що рухається конвеєром, для переносу цієї тари у картонну коробку. На рисунку 3.10 показана спрощена тривимірна модель (без деталізації) такого модульного вузла. Він має чотири «лапи» та окремий натискач важеля для приведення у дію механічного фіксатора тари, що виведений з його торця. За допомогою механічних «лап», що приводяться у дію електроприводом, робот захоплює фіксатор з наповненою тарою, який був поданий до робота конвеєром, натискач через важіль стискає тару всередині фіксатора, після чого маніпулятор робота піднімає фіксатор з тарою і переносить його до пустої коробки (вона знаходиться на сусідньому конвеєрі).

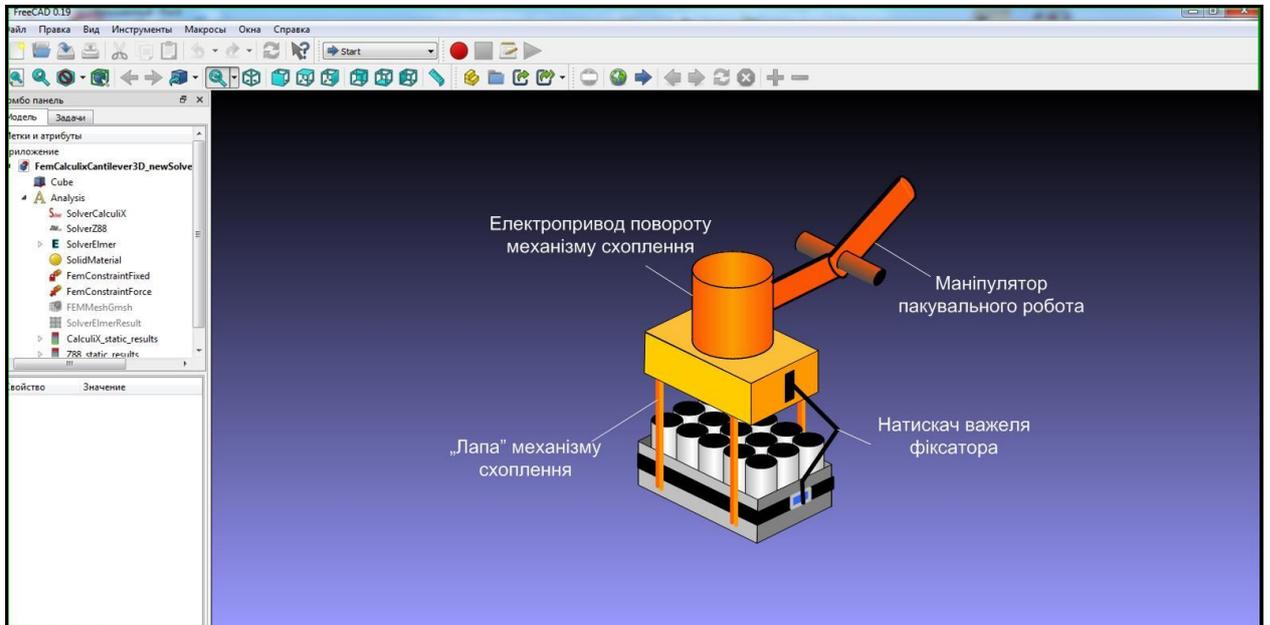


Рисунок 3.10 – Тривимірна модель пристрою схоплення пакувального робота

Коли банки будуть знаходитись точно над відкритою пустою коробкою, робот відпускає затискувач, який розблоковує затиснену наповнену тару і вони скочає всередину картонної коробки (рисунок 3.11 та додаток Б).

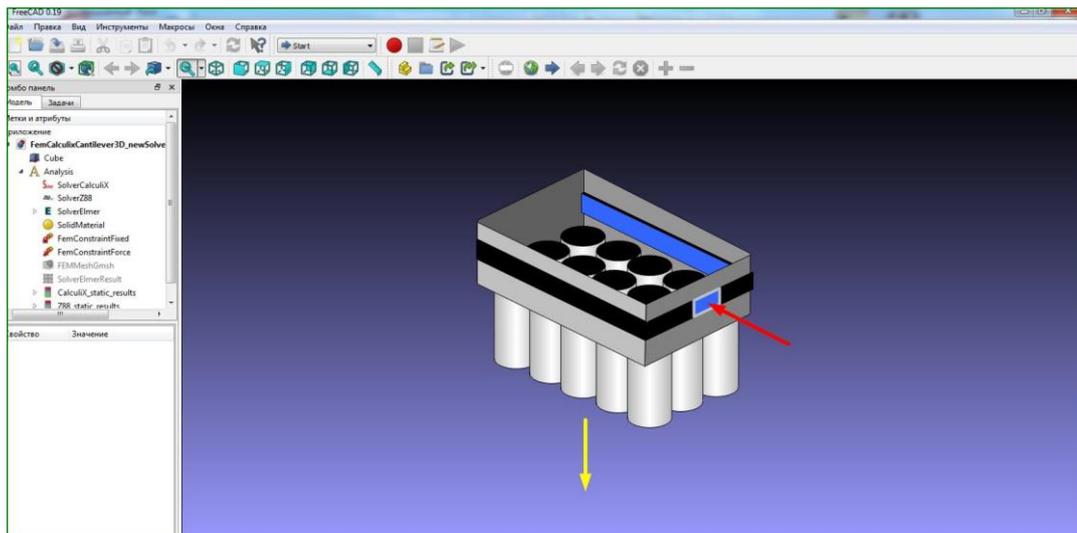


Рисунок 3.11 – Моделювання сковзання наповненої тари у коробку

Для уповільнення процесу сковзання наповненої тари у коробку робот повинен повільно відпускати затискувач фіксатора, тому банки будуть під дією своєї ваги повільніше сковзати усередину коробки.

Весь процес пакування продукції з новим типом тари та за допомогою спроектованого нового типу оснастки можна також здійснити за допомогою інструментальної системи «FreeCAD», як це показано на рисунку 3.12.

Запропоноване в ході реалізації стадії «Development» технічне рішення модульного виконання технологічної оснастки, а саме, механічного фіксатора для тари, у подальшій роботі в рамках КНЗ може значно спростити здобувачам черговий перехід віртуального виробництва на ще один новий тип тари. Для цього треба буде спроектувати новий тип фіксатора, який буде краще пристосований до нового типу тари. Крім того, запропоноване рішення технологічної оснастки різко збільшує продуктивність ТП пакування – пакування кожної коробки відбувається цілими шарами, а не поштучно.

Подальша практична робота здобувачів на новому КНЗ може продовжитись, наприклад, виконанням необхідних змін в технологічне обладнання, яке ще є на віртуальному виробництві. Так, наповнена тара поступає до робота-пакувальника з попереднього віртуального ТП дозування. Тому здобувачі можуть в подальшій роботі вдосконалити саме цей ТП для одночасної обробки групи пустої тари, поміщеної у фіксатор.

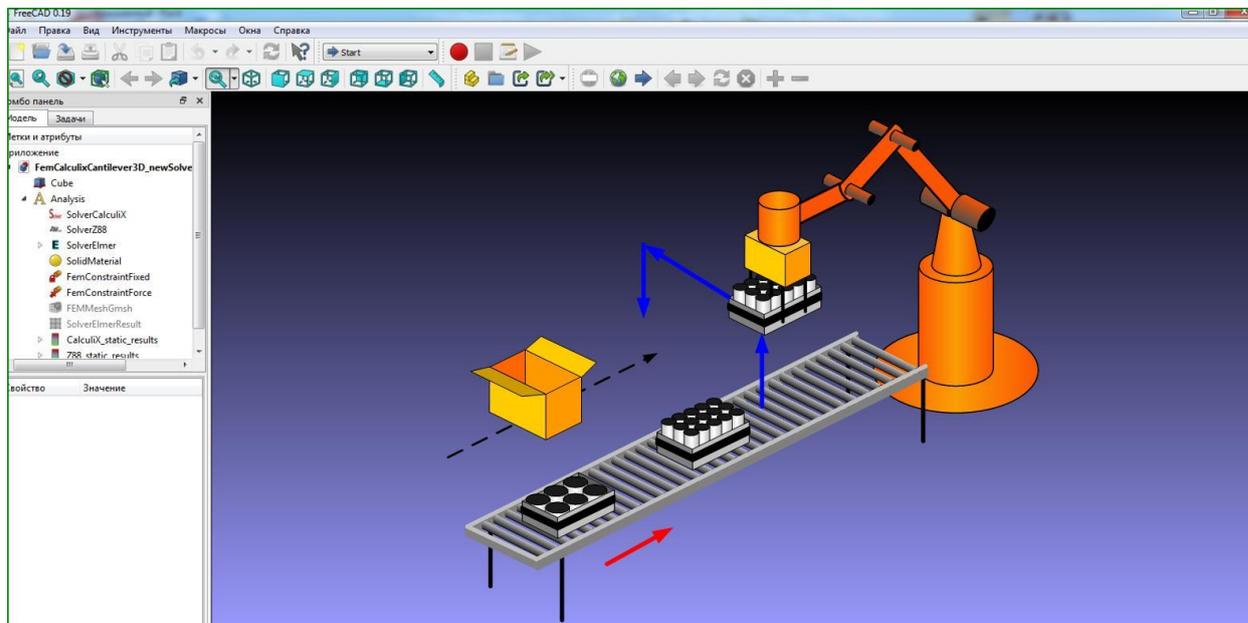


Рисунок 3.12 – Тривимірне моделювання процесу пакування продукції з новим типом тари

На рисунку 3.13 показаний можливий варіант такого вдосконалення автоматизованого ТП дозування. По-перше, в існуючому дозаторі можна встановити тільки один наливний кран, а замість двох існуючих конвеєрів поштучної подачі тари встановити єдиний транспортний стіл з рейками, по яких фіксатор з пустою тарою буде автоматично переміщатися з його входу на платформу позиціонування, яка розміщена під єдиним краном дозатора.

Для контролю за процесом переміщення фіксатора з пустою тарою під наливним краном дозатора використовується промислова відеокамера «Cam_1», яка формує високоякісне зображення робочої зони дозатора. Крім функції позиціонування окремої пустої тари точно під наливним краном, ця система може виконувати і додаткову функцію – контроль процесу наповнення тари хімічною рідиною. Це, без сумніву, підвищує цінність (Value) даного ТП, бо усуває брак, пов'язаний з недоливом або взагалі пропуском окремої тари.

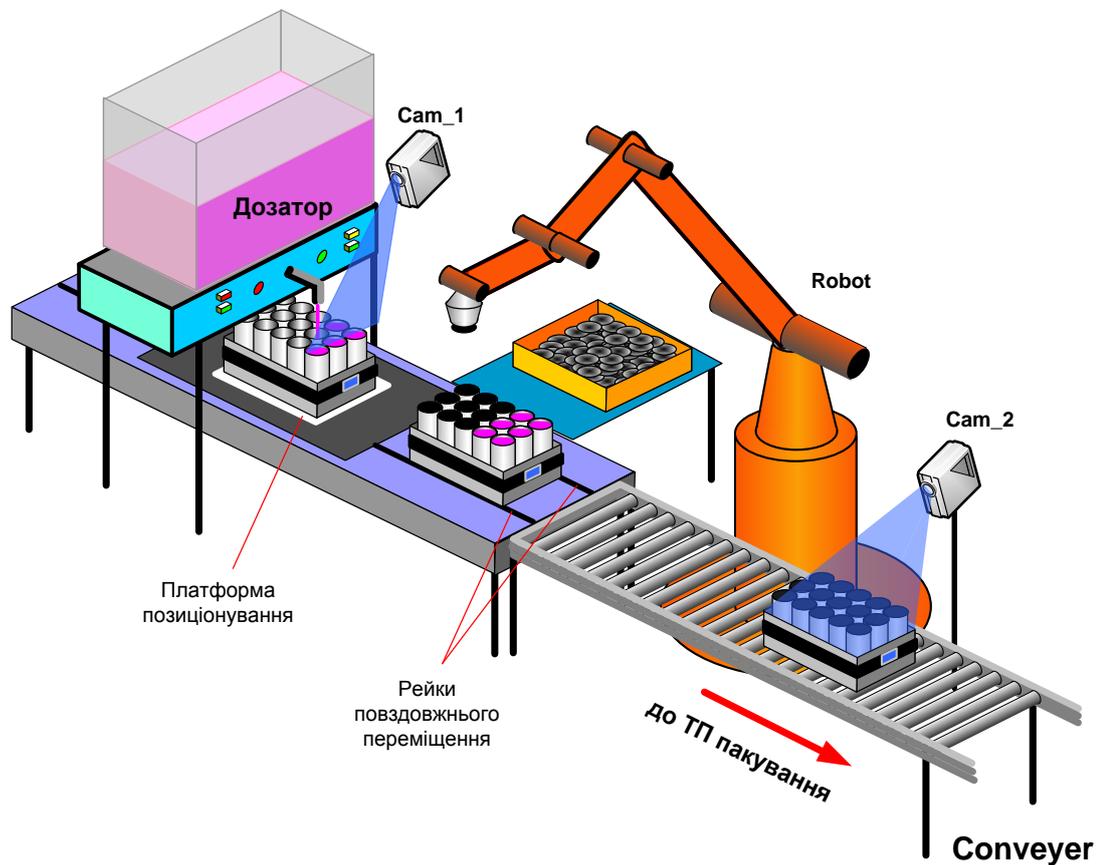


Рисунок 3.13 – Концептуальне рішення вдосконаленого АТП дозування

Крім того, в запропонованій концепції цифровізації АТП дозування використовується промисловий робот («Robot») на технологічній операції закривання наповненої тари кришками. Цей робот за допомогою спеціального вакуумного захоплювача бере поштучно кришки з коробки та з закриває по черзі усю наповнену тару, що знаходяться у фіксаторі. На цій операції можна також використати машинний зір для контролю процесу та управління промисловим роботом, але він не показаний на рисунку. Проте в концепції використовується друга промислова відеокамера «Cam_2», яка встановлена на виході процесу дозування. Вона сканує закриту тару (готову продукцію) всередині фіксатора, що їде по конвеєру. За отриманим зображенням можна програмним шляхом виявити брак, наприклад, тару, що не закрита кришкою, і зреагувати відповідним чином.

3.4 Реалізація фізичного випробовування результатів цифрової трансформації віртуального виробництва

Наявність в складі КНЗ реального 3D-принтера дозволяє реалізувати здобувачам і дві інші стадії життєвого циклу екземплярів нових типів тари, технологічної оснастки та технологічного обладнання – стадію «Production» та стадію «Maintenance/Usage». Тобто можна на стадіях «Development» вказаних елементів віртуального виробництва спочатку розробити їх більш складні тривимірні моделі, що складатимуться з окремих деталей, а потім, перейшовши до виконання стадії «Production» кожного з цих елементів надрукувати на реальному 3D-принтері усі потрібні деталі та зібрати з них діючі фізичні моделі у потрібному масштабі даних елементів віртуального виробництва. Наприклад, на рисунку 3.14 (додаток Б) показаний зовнішній вигляд надрукованих та зібраних

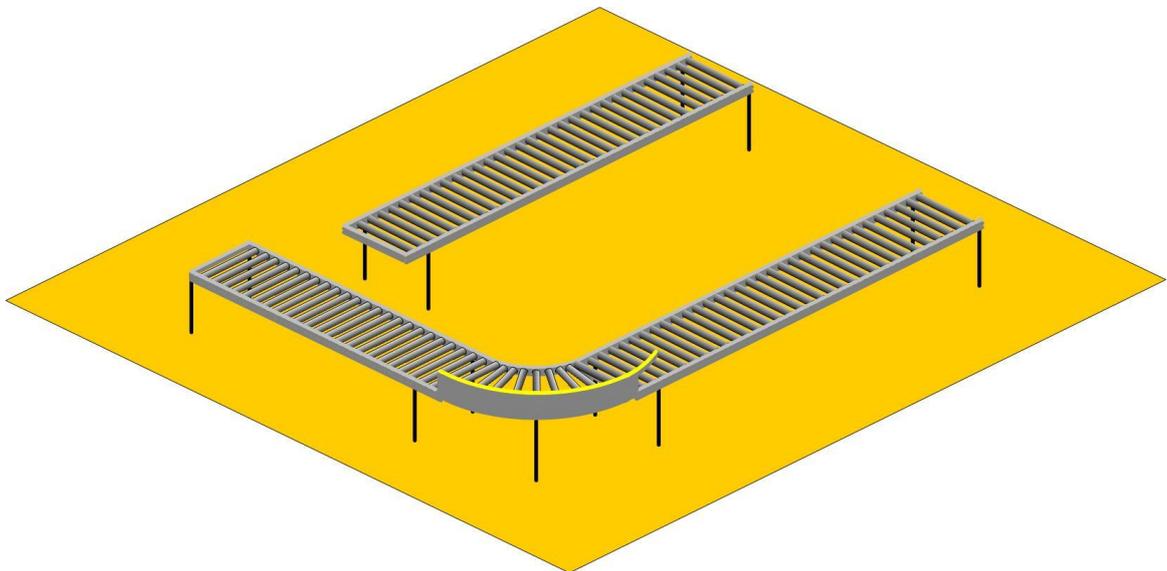


Рисунок 3.14 – Надруковані та зібрані масштабні моделі конвеєрів

тривимірних масштабних моделей частин конвеєра віртуального виробництва.

Таким же чином можна поступити з масштабними моделями пустої тари та механічного фіксатора для неї (рисунок 3.15).

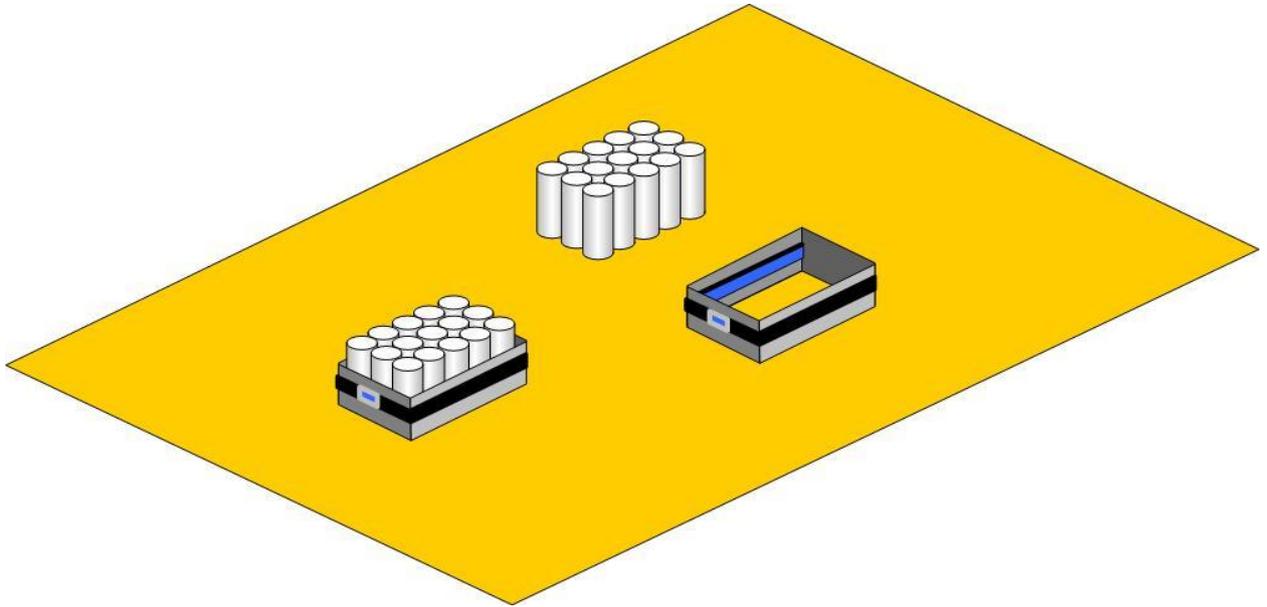


Рисунок 3.15 – Надруковані та зібрані масштабні моделі нової тари та нового механічного фіксатора для неї

Самим складним елементом виробничої системи, що був запропонований вище, є пакувальний робот з новим типом модуля схоплення. Проте ця задача також повністю вирішувана у рамках нового КНЗ. На рисунку 3.16 (додаток Б) показаний можливий вигляд такої роздрукованої масштабної моделі. Після виготовлення та збирання усіх окремих масштабних моделей елементів віртуального виробництва здобувачі зможуть на столі скласти масштабну модель частини виробничого процесу та випробувати її дію, самостійно приводячи окремі моделі у рух (рисунок 3.17 та додаток Б).

Виконання такого фізичного випробовування вдосконаленого виробничого процесу відноситься до стадії «Maintenance/Usage» життєвого циклу як окремих екземплярів його елементів, так і екземпляру даного виробничого процесу в цілому.

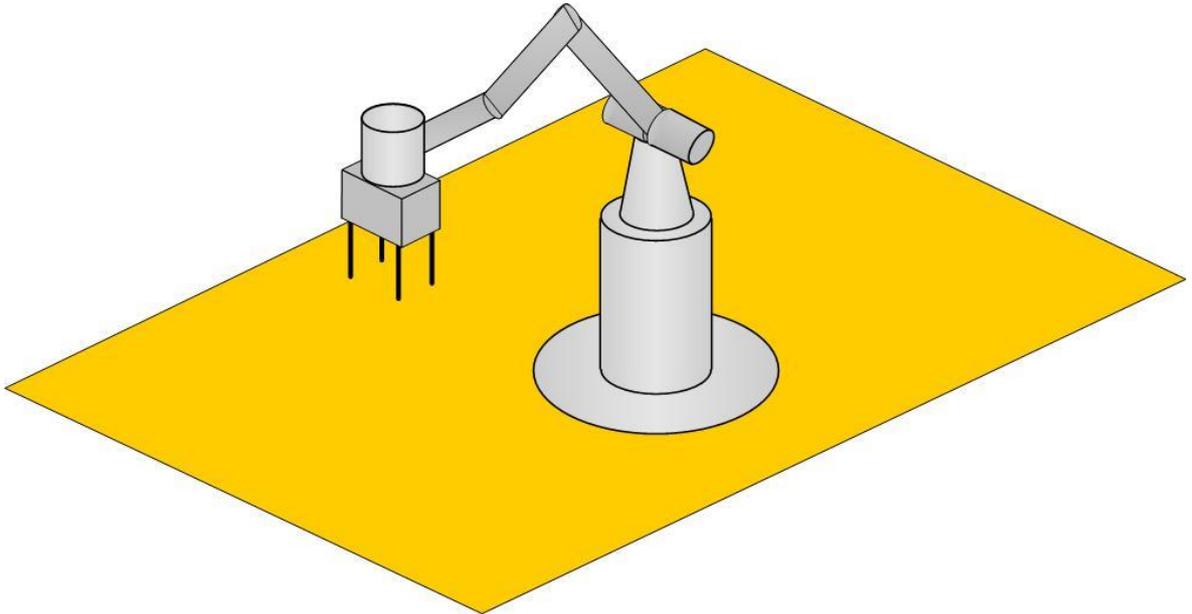


Рисунок 3.16 – Надрукована та зібрана масштабна модель пакувального робота

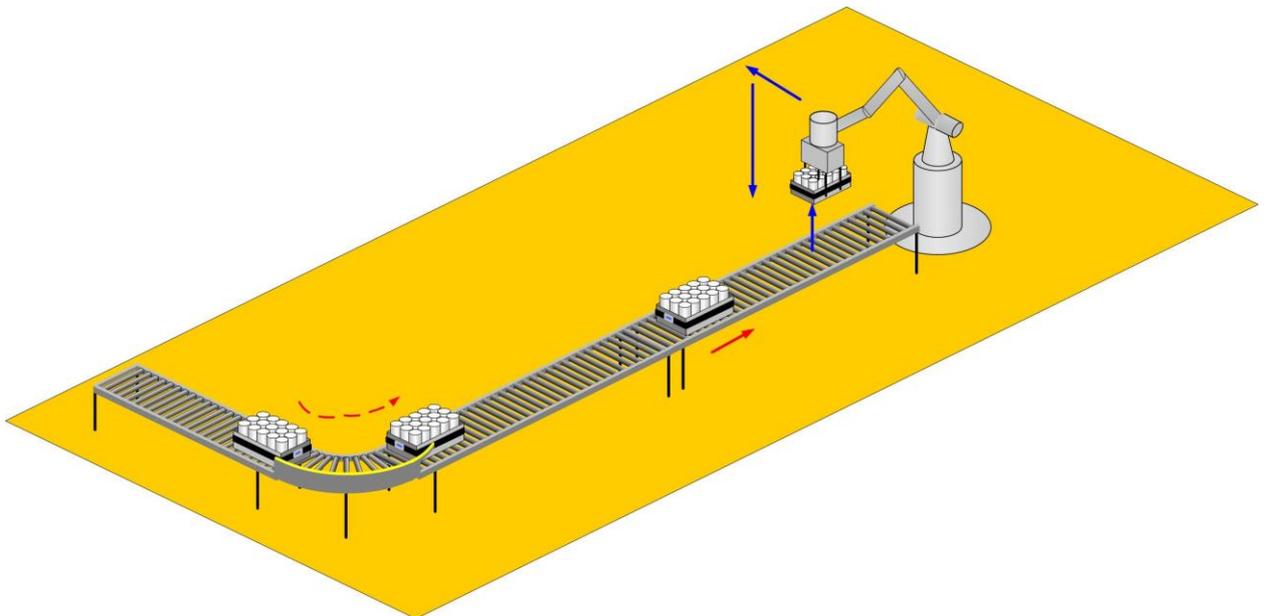


Рисунок 3.17 – Складена масштабна модель частини виробничого процесу для фізичного випробовування його дії

На завершення треба відмітити, що фізичне виготовлення екземплярів спроектованих нових типів елементів виробничої системи, без сумніву, є досить тривалим процесом і тому навряд чи буде застосоване у навчальному процесі. Проте, для випробовування даного процесу можна використати доступні в Інтернеті хмарні сервіси з тривимірною моделювання різних виробничих систем. Про такі сервіси для моделювання конвеєрних систем вже згадувалось вище, а от що стосується моделювання поведінки промислових роботів, то для них також існує багато хмарних інструментів, наприклад «KUKASim» [28]. В цьому середовищі можна також використовувати свої власні тривимірні моделі виробничих елементів, наприклад модуля схоплення пакувального робота чи механічного фіксатора для тари, поведінку яких треба описати на вбудованій мові, а також вибирати будь-які тривимірні моделі промислових роботів, які випускає компанія «KUKA» (Німеччина).

Останній варіант виконання стадії «Maintenance/Usage» для екземпляру виробничого процесу може теж зайняти багато часу, але йому здобувачі можуть приділити і додатковий час в рамках своєї самостійної роботи, використовуючи або домашні комп'ютери, або комп'ютери обчислювального центру, що мають вихід в Інтернет.

3.5 Висновки до розділу

В результаті виконання досліджень в рамках даного розділу роботи була вибрана технічна основа реалізації нового КНЗ, а саме, технічні засоби комп'ютеризованої лабораторії ФІТА. Зокрема, детально розглянуті

лабораторні технічні пристрої моделювання конвеєрної системи цього виробництва. Крім того, новий КНЗ має забезпечуватися реальним 3D-принтером, наприклад, типу «da Vinci 1.0 Pro» виробництва Китаю. Детально розглянута також практична реалізація стадії «Development» ЖЦ типу нової тари для віртуального виробництва та стадії «Development» ЖЦ його нового типу технологічного обладнання. Запропоновано спосіб реалізації фізичного моделювання виробничого обладнання в рамках нового КНЗ.

4 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Технологічний аудит розробленого комп'ютеризованого навчального засобу

Відомо, що сучасні системи управління в будь-якій області науки, техніки та виробництва, як правило, являють собою комп'ютеризовані системи управління. Тому вивчення усіх областей знань, що пов'язані з сучасною комп'ютерною автоматизацією, є актуальною задачею і основним змістом навчального плану підготовки здобувачів, що здійснює кафедра АІТ ВНТУ.

Сьогодні у світовій освітній практиці при підготовці фахівців спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» все ширше застосовується така форма організації навчального процесу як «навчальна фабрика».

Застосування цієї форми дозволяє максимально зблизити наукові розробки, новітнє навчальне обладнання та реальне виробництво. В ході такого навчання ідеї здобувачів, які були успішно реалізовані на такій «навчальній фабриці», впроваджуються в реальне виробництво.

Тому метою магістерської кваліфікаційної роботи було створення на основі лабораторної імітації «навчальної фабрики» нового

комп'ютеризованого навчального засобу для практичного вивчення студентами спеціальності 174 методів та засобів цифрової трансформації її автоматизованого виробництва у автоматизоване адитивне виробництво у відповідності до вимог концепції «Індустрія 4.0».

Для реалізації поставленої мети було досліджено «віртуальне» хімічне виробництво та виявлено його недоліки порівняно з вимогами концепції «Індустрія 4.0»; досліджено існуючі методи та засоби цифрової трансформації промислового виробництва у «розумне» цифрового адитивне виробництво; зроблено науково-технічне обґрунтування загальної концепції нового комп'ютеризованого навчального засобу; спроектовано інформаційне та технічне забезпечення нового навчального засобу.

В результаті було розроблено новий комп'ютеризований навчальний засіб, використання якого в освітньому процесі має сприяти формуванню у здобувачів практичних навичок і умінь у здійсненні цифрової трансформації існуючих на виробництві технологічних/технічних процесів.

Для встановлення комерційного потенціалу розробленого комп'ютеризованого навчального засобу було проведено його технологічний аудит, для чого було запрошено 3-х відомих експертів: к.т.н., доцента Р.В. Маслія, к.т.н., доцента В.В. Кабачого та к.т.н., професора В.М. Мізерного.

Визначення комерційного потенціалу нашої розробки було здійснено за критеріями, наведеними в таблиці 4.1.

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

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

2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів

Продовження таблиці 4.1

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
Ринкові перспективи					
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкуренція немає
Практична здійсненність					

8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років

Продовження таблиці 4.1

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів	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 обмеження на виробництво та реалізацію продукту

	продукту	та часу			
--	----------	---------	--	--	--

Запрошені експерти оцінили розроблений нами комп'ютеризований навчальний засіб таким чином (див. табл. 4.2):

Таблиця 4.2 – Результати технологічного аудиту розробленого навчального засобу (за шкалою оцінювання 0-1-2-3-4)

Критерії	Прізвище, ініціали експертів		
	Р.В. Маслій	В.В. Кабачій	В.М. Мізерний
	Бали, що їх виставили експерти:		
1	3	3	4
2	3	3	3
3	3	3	3
4	3	3	3
5	3	3	3
6	3	3	4
7	3	4	3
8	3	4	3
9	4	3	3
10	3	3	3
11	3	3	4
12	3	3	3
Сума балів	СБ ₁ = 37	СБ ₂ = 37	СБ ₃ = 39
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{37 + 38 + 39}{3} = \frac{114}{3} = 38$		

Далі, звернувшись до рекомендацій щодо встановлення рівня комерційного потенціалу будь-якої розробки (див. таблицю 4.3), нами було зроблено висновок, що, 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», наближаючись при цьому до «високого» рівня.

Таблиця 4.3 – Рівні комерційного потенціалу будь-якої наукової розробки

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

Це пояснюється тим, що створений нами новий комп'ютеризований навчальний засіб, відміну від існуючих комп'ютеризованих навчальних засобів будується на основі лабораторної імітації «навчальної фабрики», що дозволяє підвищити ефективність практичної підготовки здобувачів за рахунок використання доступних технічних та програмних інструментів проєктування цифрової трансформації віртуального хімічного виробництва.

4.2 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:

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

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

$$M = (8000 \dots 35000) \text{ грн/місяць};$$

T_p – число робочих днів в місяці; прийmemo T_p дорівнює 22 дні;

t – число днів роботи розробників.

Зроблені розрахунки зведемо до таблиці 4.4:

Таблиця 4.4 – 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	24500	1113,64	20 годин	≈ 3712 (при 6-годинному робочому дні)
2. Магістрант-студент-виконавець	Беремо мінімальну оплату 8000	363,64	82	≈ 29819
3. Консультант з економічної частини	20000	909,09	1,5 години	≈ 228 (при 6-годинному робочому дні)
4. Консультант з хімічного підприємства	18000	818,18	2	≈ 1637
Загалом				$Z_o = 35396$ грн

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

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

(4.2)

Прийmemo, що $\alpha = 0,1$. Тоді для нашого випадку отримаємо:

$$Z_d = 0,1 \times 35396 = 3539,6 \approx 3540 \text{ (грн.)}$$

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

$$НЗП_{зп} = (З_о + З_д) \cdot \frac{\beta}{100}, [\text{грн.}], \quad (4.3)$$

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

$$НЗН_{зп} = (35396 + 3540) \times 0,22 = 8565,92 \approx 8566 \text{ (грн.)}.$$

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

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

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

$Н_a$ – річна норма амортизаційних відрахувань; для нашого випадку можна прийняти, що $Н_a$ дорівнює (5...25)%;

T – термін використання основних засобів, місяці.

Зроблені розрахунки зведено в таблицю 4.5.

Таблиця 4.5 – Розрахунок амортизаційних відрахувань

Найменування обладнання, приміщень тощо	Балансова вартість, грн.	Норма амортизації, %	Термін використання, міс.	Величина амортизаційних відрахувань, грн
1. Комп'ютерна техніка, обладнання тощо	60000	20,0	3,0 (при 50% використанні)	1500

2. Приміщення університету, кафедри	18000	5,0	3,0 при 80% використанні	180
Всього				A = 1680 грн

Витрати на матеріали M розраховуються за формулою:

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

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

Витрати на комплектуючі K розраховуються за формулою:

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

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

Під час виконання роботи загальні витрати на матеріали та комплектуючі склали приблизно 4000 грн.

Витрати на силову електроенергію V_e розраховуються за формулою:

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

де B – вартість 1 кВт-год. електроенергії, в 2025 р. $B \approx 4,5$ грн/кВт;

Π – установлена потужність обладнання, кВт; $\Pi = 0,9$ кВт;

Φ – фактична кількість годин роботи обладнання, годин.

Прийmemo, що $\Phi = 350$ годин;

K_{Π} – коефіцієнт використання потужності; $K_{\Pi} < 1 = 0,72$.

$K_{\text{д}}$ – коефіцієнт корисної дії, $K_{\text{д}} = 0,62$.

Тоді витрати на електроенергію будуть дорівнювати:

$$B_e = \frac{B \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}}{K_{\text{д}}} = \frac{4,5 \cdot 0,9 \cdot 350 \cdot 0,72}{0,62} = 1646,13 \approx 1647$$

(грн.).

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

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

Для нашого випадку отримаємо:

$$B_{\text{інш}} = 1,0 \times 35396 = 35396 \text{ (грн.)}$$

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

$$B = 35396 + 3540 + 8566 + 1680 + 4000 + 1647 + 35396 = 90225 \text{ (грн.)}$$

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

$$B_{\text{заг}} = \frac{B}{\beta}, [\text{грн.}],$$

(4.9)

де β – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання цієї роботи. Можна прийняти, що, $\beta \approx 0,85$ [28], оскільки робота майже повністю виконана і готова до можливого впровадження. Тоді:

$$B_{\text{заг}} = \frac{90225}{0,85} = 106147,05 \text{ (грн.)},$$

або приблизно 107 тисяч грн.

Тобто прогнозовані загальні витрати на розробку розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу становлять приблизно 107 тисяч грн.

4.3 Розрахунок економічного ефекту від можливої комерціалізації нашої розробки

Економічний ефект від 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 2025 році коштували на ринку приблизно 25 тисяч доларів США (або приблизно 1000 тисяч грн при курсі $\$1 \approx 40$ грн), то нашу найновішу, ефективнішу та актуальнішу розробку можна буде реалізовувати на ринку дещо дорожче, наприклад, за 1100 тисяч грн, або на 100 тисяч грн дорожче.

Аналіз ринку показує, що сьогодні в Україні зацікавленими користувачами подібних комп'ютерних засобів можуть бути вищі навчальні заклади (університети, технічні інститути), які мають відповідні факультети та кафедри; коледжі і технікуми, що готують фахівців середньої ланки у сфері автоматизації та ком-п'ютерно-інтегрованих технологій; підприємства та компанії, які впроваджують концепцію «Індустрія 4.0» і потребують фахівців з новітніми знаннями та навичками; фірми, що займаються розробкою та впровадженням автоматизованих систем управління технологічними процесами тощо.

Аналіз місткості ринку показує, що на сьогодні кількість реальних користувачів подібних комп'ютеризованих навчальних засобів становить приблизно 20 осіб. Але оскільки наш комп'ютеризований навчальний засіб має значно кращі функціональні характеристики, то можна очікувати зростання попиту на нашу розробку принаймні протягом 3-х років після її впровадження.

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

Прогноз зростання попиту на нашу розробку складає по роках:

- а) 2026 р. – приблизно +3 шт. до базового року;
- б) 2027 р. – +5 шт. до базового року;
- в) 2028 р. – +8 шт. до базового року.

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

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta\Pi_{i0} \cdot N + \Pi_{i0} \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{v}{100}\right), [\text{Грн.}],$$

(4.10)

де ΔC_0 – покращення основного якісного показника від впровадження результатів розробки у цьому році. Для нашого випадку це є збільшення ціни реалізації нового навчального засобу $\Delta C_0 = (1100 - 1000) = 100$ тисяч грн;

N – основний кількісний показник, який визначає обсяг діяльності у році до впровадження результатів розробки; $N = 20$ шт.;

ΔN – покращення (збільшення) основного кількісного показника від впровадження результатів розробки. Таке покращення становитиме по роках, відповідно: +3, +5, +8 шт. (до базового 2024 року);

C_0 – основний якісний показник, який визначає обсяг діяльності у році після впровадження результатів розробки, грн; $C_0 = 1100$ тисяч грн;

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

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

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати $\rho = (0,2 \dots 0,5)$; візьмемо $\rho = 0,35$;

v – ставка податку на прибуток. У 2024 та наступних роках $v = 18\%$.

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

$$\Delta \Pi_1 = [100 \cdot 20 + 1100 \cdot 3] \cdot 0,8333 \cdot 0,35 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 1267,53 \approx 1268 \text{ (тис. грн.)}.$$

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

$$\Delta\Pi_2 = [100 \cdot 20 + 1100 \cdot 5] \cdot 0,8333 \cdot 0,35 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 1793,67 \approx 1794 \text{ (тис. грн.)}.$$

Можливе зростання чистого прибутку $\Delta\Pi_3$ для потенційного інвестора від можливого впровадження нашої розробки протягом третього 2028 року становитиме:

$$\Delta\Pi_3 = [100 \cdot 20 + 1100 \cdot 8] \cdot 0,8333 \cdot 0,35 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 2582,89 \approx 2583 \text{ (тис. грн.)}.$$

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

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

(4.11)

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

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

τ – ставка дисконтування. Прийmemo $\tau = 0,10$ (10%), яка прогнозується в 2024 році та наступних роках;

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

Тоді приведена вартість зростання всіх можливих чистих прибутків $\text{ПП}^{10\%}$ (при 10% інфляції), що їх може отримати потенційний інвестор від комерціалізації нашої розробки, складе:

$$\text{ПП}^{10\%} = \frac{1268}{(1+0,1)^1} + \frac{1794}{(1+0,1)^2} + \frac{2583}{(1+0,1)^3} \approx 1048 + 1348 + 1764 = 4160 \text{ (тисяч грн.)}.$$

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

$$PV = (1,0\dots5) \times V_{\text{заг.}} [\text{грн.}] \quad (4.12)$$

Для нашого випадку

$$PV = (1,0\dots5) \times 107 = 5 \times 107 = 535 \text{ (тисяч грн.)}.$$

Тоді абсолютний ефект від можливих вкладених інвестицій $E_{\text{абс}}$ становитиме:

$$E_{\text{абс}} = \text{ПП} - PV [\text{грн.}], \quad (4.13)$$

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

PV – теперішня вартість інвестицій (PV = 535 тисяч грн.).

Тоді:

$$E_{\text{абс}} = 4160 - 535 = 3625 \text{ (тисяч грн.)}.$$

Оскільки $E_{\text{абс}}$ більший 0, то комерціалізація нашої розробки може бути доцільною. Далі розрахуємо внутрішню дохідність E_v вкладених інвестицій:

$$E_B = \sqrt[T_{ж}]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1 [\%], \quad (4.14)$$

де $E_{абс}$ – абсолютний ефект вкладених інвестицій; $E_{абс} = 3625$ тисяч грн;

PV –теперішня вартість початкових інвестицій $PV = 535$ тисяч грн;

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

$T_{ж} = 4$ років (2025, 2026, 2027, 2028 роки)

Для нашого випадку отримаємо:

$$E_B = \sqrt[4]{1 + \frac{3625}{535}} - 1 = \sqrt[4]{1 + 6,7757} - 1 = \sqrt[4]{7,7757} - 1 \approx 1,67 - 1 = 0,67 = 67,0\%.$$

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 $\tau_{мін}$ визначається за формулою:

$$\tau_{мін} = d + f, \quad (4.15)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2024 році в Україні $d = (0,15...0,18)$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина

$$f = (0,05...0,40).$$

Для нашого випадку отримаємо:

$$\tau_{мін} = 0,15 + 0,35 = 0,50,$$

або $\tau_{\text{мін}} = 50\%$.

Оскільки величина $E_b = 67,0\%$, що більше $\tau_{\text{мін}} = 50\%$, то потенційний інвестор у принципі може бути зацікавлений у фінансуванні та комерціалізації розробленого нами комп'ютеризованого навчального засобу.

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

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

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{E_b} [\text{років}]. \quad (4.16)$$

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

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{0,67} = 1,49 \text{ (років)},$$

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

Далі проведено моделювання залежності величини внутрішньої дохідності вкладених інвестицій від рівня інфляції в країні.

При рівні інфляції у 20% отримаємо:

$$\text{ПП}^{20\%} = \frac{1268}{(1+0,2)^1} + \frac{1794}{(1+0,2)^2} + \frac{2583}{(1+0,2)^3} \approx 881 + 1038 + 1246 = 3165 \text{ (тисяч грн.)}.$$

Тоді абсолютний ефект від можливого впровадження нашої розробки складе:

$$E_{\text{абс}} = 3165 - 535 = 2630 \text{ (тисяч грн.)}$$

Внутрішня дохідність $E_{\text{в}}$ вкладених інвестицій становитиме:

$$E_{\text{в}} = \sqrt[4]{1 + \frac{E_{\text{абс}}}{PV}} - 1, \quad (4.17)$$

де $E_{\text{абс}}$ – абсолютний ефект вкладених інвестицій; $E_{\text{абс}} = 2630$ тисяч грн;

PV –теперішня вартість початкових інвестицій $PV = 535$ тисяч грн.

Для нашого випадку отримаємо:

$$E_{\text{в}} = \sqrt[4]{1 + \frac{2630}{535}} - 1 = \sqrt[4]{1 + 4,9159} - 1 = \sqrt[4]{5,9159} - 1 \approx 1,56 - 1 = 0,56 = 56,0\%.$$

При рівні інфляції у 30% отримаємо:

$$\text{ПП}^{30\%} = \frac{1268}{(1+0,3)^1} + \frac{1794}{(1+0,3)^2} + \frac{2583}{(1+0,3)^3} \approx 750 + 817 + 905 = 2472 \text{ (тисяч грн.)}$$

Тоді абсолютний ефект від можливого впровадження нашої розробки складе:

$$E_{\text{абс}} = 2472 - 535 = 1937 \text{ (тисяч грн.)}$$

Внутрішня дохідність $E_{\text{в}}$ вкладених інвестицій становитиме:

$$E_{\text{в}} = \sqrt[4]{1 + \frac{E_{\text{абс}}}{PV}} - 1,$$

де $E_{\text{абс}}$ – абсолютний ефект вкладених інвестицій; $E_{\text{абс}} = 1937$ тисяч грн;

PV –теперішня вартість початкових інвестицій $PV = 535$ тисяч грн.

Для нашого випадку отримаємо:

$$E_v = \sqrt[4]{1 + \frac{1937}{535}} - 1 = \sqrt[4]{1 + 3,6206} - 1 = \sqrt[4]{4,6206} - 1 \approx 1,46,7 - 1 = 0,467 = 46,7\%.$$

4.4 Висновки до розділу

Результати виконаної економічного розділу магістерської кваліфікаційної роботи зведено у таблицю 4.6.

Таблиця 4.6 - Результати виконаної економічного розділу

Показники	Задані	Досягнуті у магістерській кваліфікаційній роботі	Висновок
1. Витрати на розробку	Не більше 110 тис. грн	107 тис. грн.	Досягнуто
2. Абсолютний ефект від впровадження розробки, тис. грн	Не менше 3000 тисяч грн (за три роки)	3625 тисяч грн	Виконано
3. Внутрішня дохідність потенційних інвестицій, %	не менше 50%	67,0%	Досягнуто
Показники	Задані у ТЗ	Досягнуті у магістерській кваліфікаційній роботі	Висновок
4. Термін окупності інвестицій, роки	до 3-ти років	1,49 років	Виконано

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

ВИСНОВКИ

В результаті виконання даної МКР був розроблений комп'ютеризований навчальний засіб для дослідження здобувачами спеціальності 174 практичних методів інформаційної інтеграції 3D-принтера, як способу цифрової трансформації допоміжного виробництва у цифрове адитивне виробництво, що функціонує за концепцією «Індустрія 4.0»

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що на відміну від існуючих лабораторних навчальних засобів, новий засіб будується на основі інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне виробництво», що дозволяє за рахунок використання додаткових локальних віртуальних інструментальних середовищ підвищити ефективність практичної підготовки здобувачів шляхом виконання ескізного проекту цифрової трансформації існуючого допоміжного «віртуального виробництва» (адитивне виробництво на основі 3D-принтера [9, 10]).

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що їх можна легко застосувати при створенні аналогічних лабораторних навчальних засобів для підготовки фахівців споріднених галузей знань та спеціальностей.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Лопухов І. Комунікаційні технології розумного підприємства у рамках концепції Індустрія 4.0 та Інтернету речей // Сучасні технології автоматизації. – 2017. - №2. – С. 36-44.

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 (<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 (<https://oeipt.vntu.edu.ua/index.php/oeipt/article/view/581>).

6. Як створити цифрове підприємство: 6 етапів на шляху до Індустрії 4.0 [Електронний ресурс] . – Режим доступу : <https://www.tadviser.com/index.php>.

7. Лабораторна модель автоматизованої виробничої лінії з конвеєром (допоміжний технологічний процес №1) / Укладач: Папінов В.М. – Вінниця,

ВНТУ, 2020. – 13 с.

8. Лабораторна модель автоматизованої виробничої лінії з роботом (допоміжний технологічний процес №2) / Укладач: Папінов В.М. – Вінниця, ВНТУ, 2020. – 11 с.

9. 3D-принтери сьогодні: Porsche інвестує у 3D-технології Intamsys [Електронний ресурс] . – Режим доступу : <https://3dtoday.com/blogs/news3dtoday/porsche-investiruet-v-3d-technologie-intamsys>.

10. 3D-друк металами: короткі відповіді великі питання, частина 1 [Електронний ресурс] . – Режим доступу : <https://habr.com/ua/post/587382/>.

11. Затайдух Л.А., Папінов В.М. Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення автоматизованого адитивного виробництва // Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)», Вінниця, ВНТУ, 2025 [Електронний ресурс]/URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/paper/view/25033/20713> .

12. Olsson, G., Piany, J.. Computer systems for automation and control [Електронний ресурс] / URL : <http://www.philadelphia.edu.jo/newlibrary/pdf/file095f62f119bb471591fd8f273ac06353.pdf>. 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.

13. Overview of digital transformation: market size, benefits and trends [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.analyticsinsight.net/overview-of-digital-transformation-market-size-benefits-and-trends/>.

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

15. Nathan Furr, Andrew Shipilov, Didier Rouillard, Antoine Hemon-Laurens. The 4 Pillars of Successful Digital Transformations [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://hbr.org/2022/01/the-4-pillars-of-successful-digital-transformations>.

16. Mohan Subramaniam. The 4 Tiers of Digital Transformation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://hbr.org/2021/09/the-4-tiers-of-digital-transformation?ab=at_art_art_1x4_s02.

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

18. Папінов В.М. Цифрова трансформація виробництва: практичне вивчення на базі комп'ютеризованої навчальної лабораторії // XVI Міжнародної конференції «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2022)», Вінниця, 15-17 листопада 2022 року [Електронний ресурс] / URL: : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mccs/mccs2022/paper/view/16444>.

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

20. Reference Models for Digital Manufacturing Platforms/ Francisco Fraile, Raquel Sanchis, Raul Poler, Angel Ortiz// MDPI: Appl. Sci. 2019, 9, 4433; doi:10.3390/app9204433 [Електронний ресурс]. URL : www.mdpi.com/journal/applsci.

21. Peter Adolphs. RAMI 4.0: An architectural Model for Industrie 4.0/URL: www.plattform-i40.de.

22. Тривимірний еталонний архітектурний 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-dbc8-47c8-8f1a-dc915d263cd3/605016fb-ed97-4b22-a6fb-de1f93556226/605016fb-ed97-4b22-a6fb-de1f93556226.

23. 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.

24. 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.

25. da Vinci 1.0 Pro [Електронний ресурс]./ URL :<https://www.xyzprinting.com/ru-RU/product/da-vinci-pro>.

26. FreeCAD [Електронний ресурс]./ URL : <https://www.freecad.com>.

27. KUKA.Sim 4.1 конфігурація SafeOperation : Місця моніторингу, базова позиція, контроль швидкості. [Електронний ресурс]. URL: <https://youtu.be/mv2YGEcy5sg>.

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

ДОДАТКИ

Додаток А
(обов'язковий)

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

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри АІТ

_____ Олег БІСІКАЛО

«__» _____ 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

«Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення
автоматизованого адитивного виробництва»

08-31.МКР.001.02.000 ТЗ

Керівник роботи:

к.т.н., проф. кафедри АІТ

Володимир ПАПІНОВ

“__” _____ 2025 р.

Здобувач:

ст.. гр. АКІТР-23мз

Любомир ЗАТАЙДУХ

“__” _____ 2025 р.

Вінниця – 2025 рік

1 Назва і галузь застосування

Комп'ютеризований навчальний засіб (КНЗ) для практичного вивчення автоматизованого адитивного виробництва.

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

2 Підстава для виконання роботи

Робота виконується на підставі наказу по університету № 96 від 20.03. 2025 р. та індивідуального завдання, складеного та затвердженого кафедрою АІТ ВНТУ.

3 Мета та призначення роботи

Метою магістерської кваліфікаційної роботи (МКР) є створення на основі існуючого інформаційно-освітнього середовища типу «віртуальне виробництво» комп'ютеризованого навчального засобу для дослідження здобувачами спеціальності 174 - «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» практичних методів його цифрової трансформації в рамках концепції «Індустрія 4.0» шляхом інформаційної інтеграції реального 3D-принтера у допоміжне виробництво.

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

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

4 Джерела проєкту

Джерелами розробки є такі:

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

автоматизовані системи управління " денної та заочної форм навчання / О.М. Пупена, Р.М. Міркевич. - К.: НУХТ, 2016. -135 с.

5 Показники призначення

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

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

Задачі, що вирішуються в ході виконання роботи:

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

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

9. Науково-технічне обґрунтування концептуального рішення КНЗ.

10. Проектування інформаційної інтеграції КНЗ.

11. Розробка технічного забезпечення КНЗ.

12. Практична реалізація елементів інформаційної інтеграції КНЗ.

Новий КНЗ має будуватися за концепцією, яка описана в розділі 1 та показана на рисунку 1.17. Це концептуальне рішення КНЗ дозволяє здобувачам:

– досліджувати методи та засоби цифрової трансформації існуючого промислового виробництва у перспективне цифрове виробництво шляхом впровадження на ньому 3D-принтерів (цифрове адитивне виробництво);

– реалізовувати на практиці стадію «Development» життєвого циклу нового типу (Type) напівфабрикату цифрового виробництва (пуста тара для

хімічної рідини) та нових типів елементів виробничої системи (оснастка конвеєрів та пакувального робота, пристосовані для нового типу пустої тари);

– реалізовувати на практиці стадію «Maintenance/Usage» життєвого циклу нового типу напівфабрикату цифрового виробництва (пуста тара для хімічної рідини) та нових типів елементів виробничої системи (оснастка конвеєрів та пакувального робота, пристосовані для нового типу пустої тари);

– реалізовувати на практиці стадію «Production» життєвого циклу нового екземпляру (Entity) напівфабрикату цифрового виробництва (пуста тара для хімічної рідини) та нових екземплярів елементів виробничої системи (оснастка конвеєрів та пакувального робота, пристосовані для нового типу пустої тари);

– реалізовувати на практиці стадію «Maintenance/Usage» життєвого циклу нового екземпляру (Entity) напівфабрикату цифрового виробництва (пуста тара для хімічної рідини) та нових екземплярів елементів виробничої системи (оснастка конвеєрів та пакувального робота, пристосовані для нового типу пустої тари).

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

Умови експлуатації ЛНЗ:

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

6 Стадії розробки

6.1. Розділ «Науково-технічне обґрунтування роботи» та розробка концепції нового КНЗ мають бути виконані до 26.05.25 р.

6.2. Розділ «Проектування інформаційної інтеграції КНЗ» має бути виконаний до 26.05.25 р.

6.3. Розділ «Практична реалізація КНЗ» має бути виконаний до 10.06.25

р.

6.4. Економічний розділ має бути виконаний до 10.06.25 р.

7 Порядок контролю та приймання

7.1 Рубіжний контроль – 10.06.25 р.

7.2 Попередній захист – 13.06.25 р.

7.3 Захист БКП – в період з 16.06.25 по 30.06.25 р. за графіком, встановленим кафедрою АПТ.

Додаток Б

(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАСІБ ДЛЯ ПРАКТИЧНОГО
ВИВЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО АДИТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА

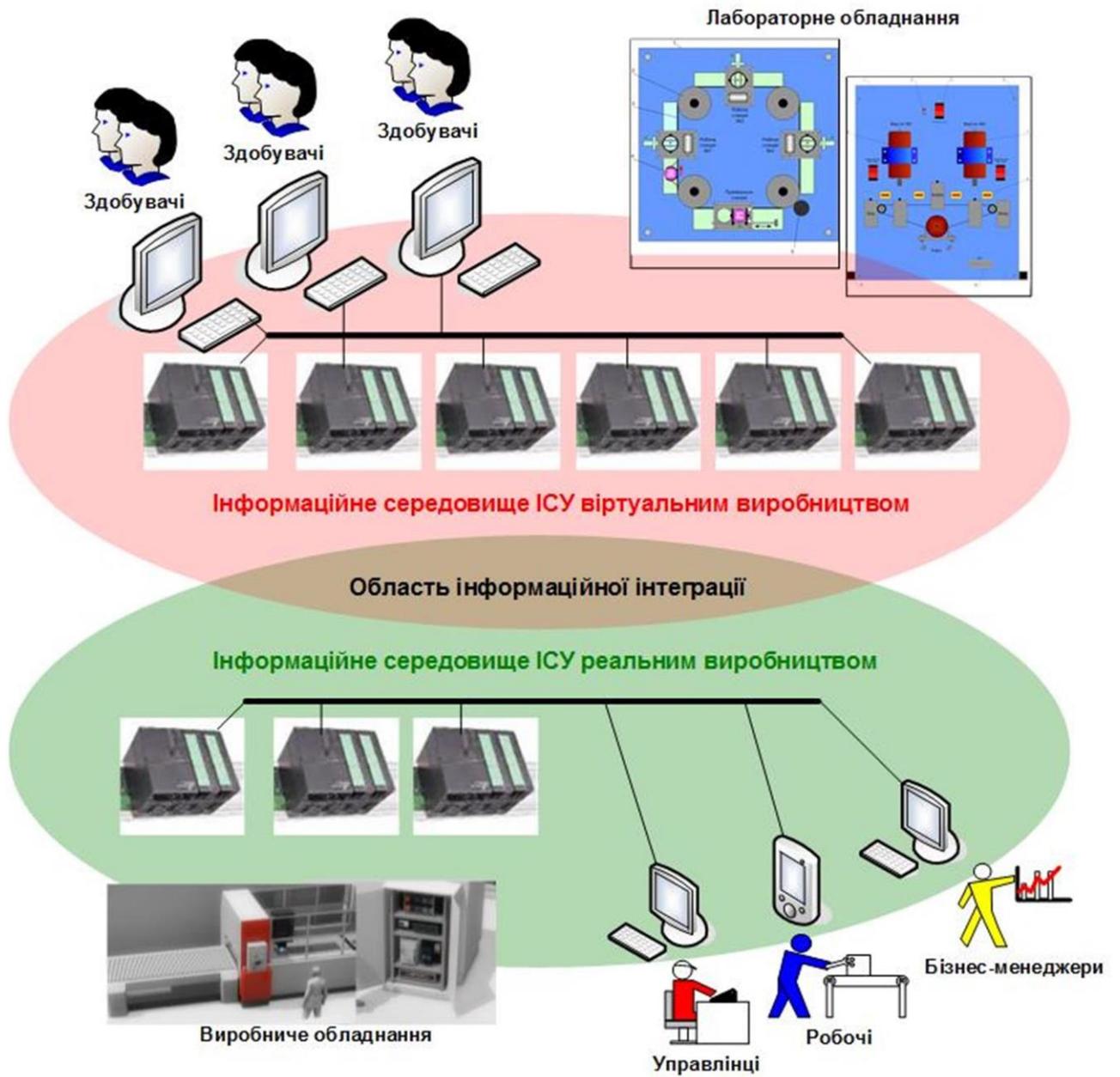
Зав. кафедри АІТ _____ д-р техн. наук, професор каф. АІТ
Олег БІСІКАЛО

Керівник роботи _____ канд. техн. наук, проф. каф. АІТ
Володимир ПАПІНОВ

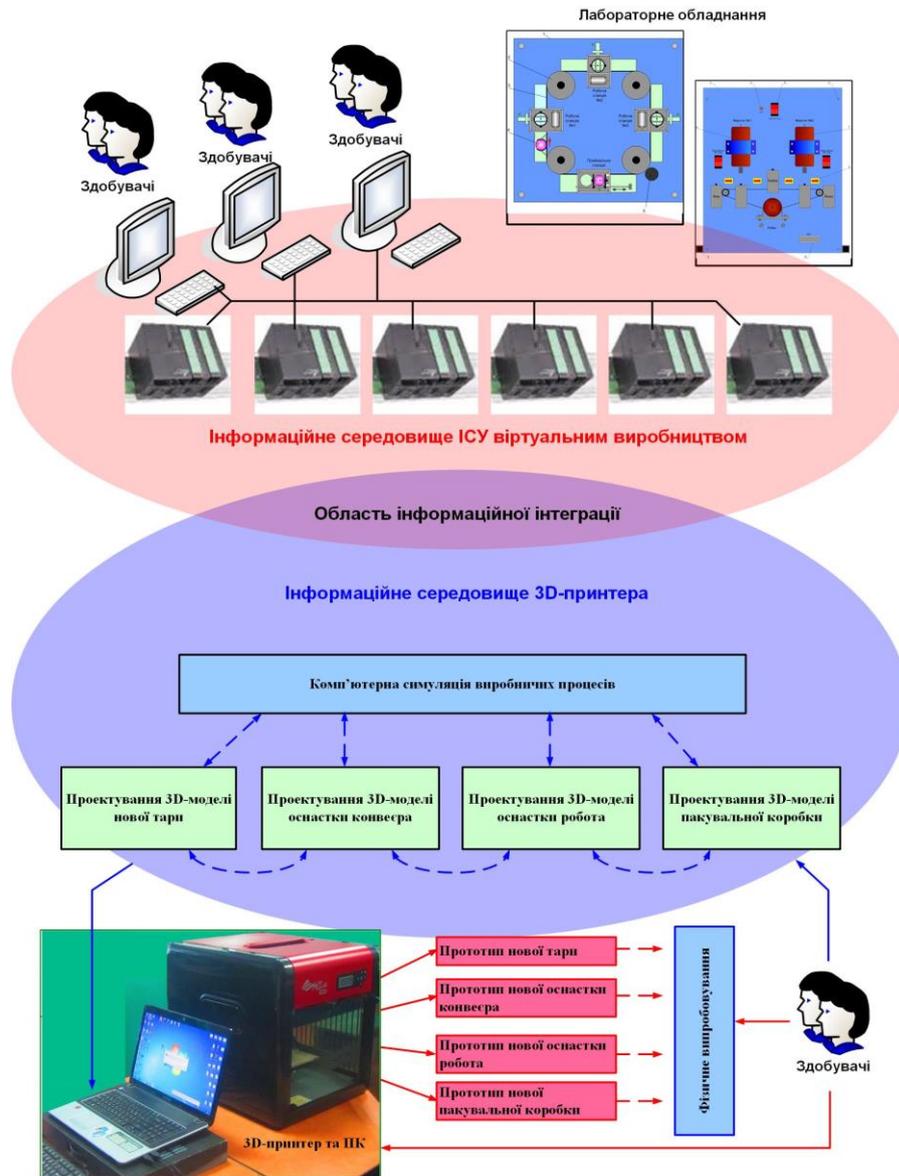
Опонент _____ канд. техн. наук, професор каф. КСУ
Микола БИКОВ

Здобувач
гр. АКІТР-23мз _____ Любомир ЗАТАЙДУХ

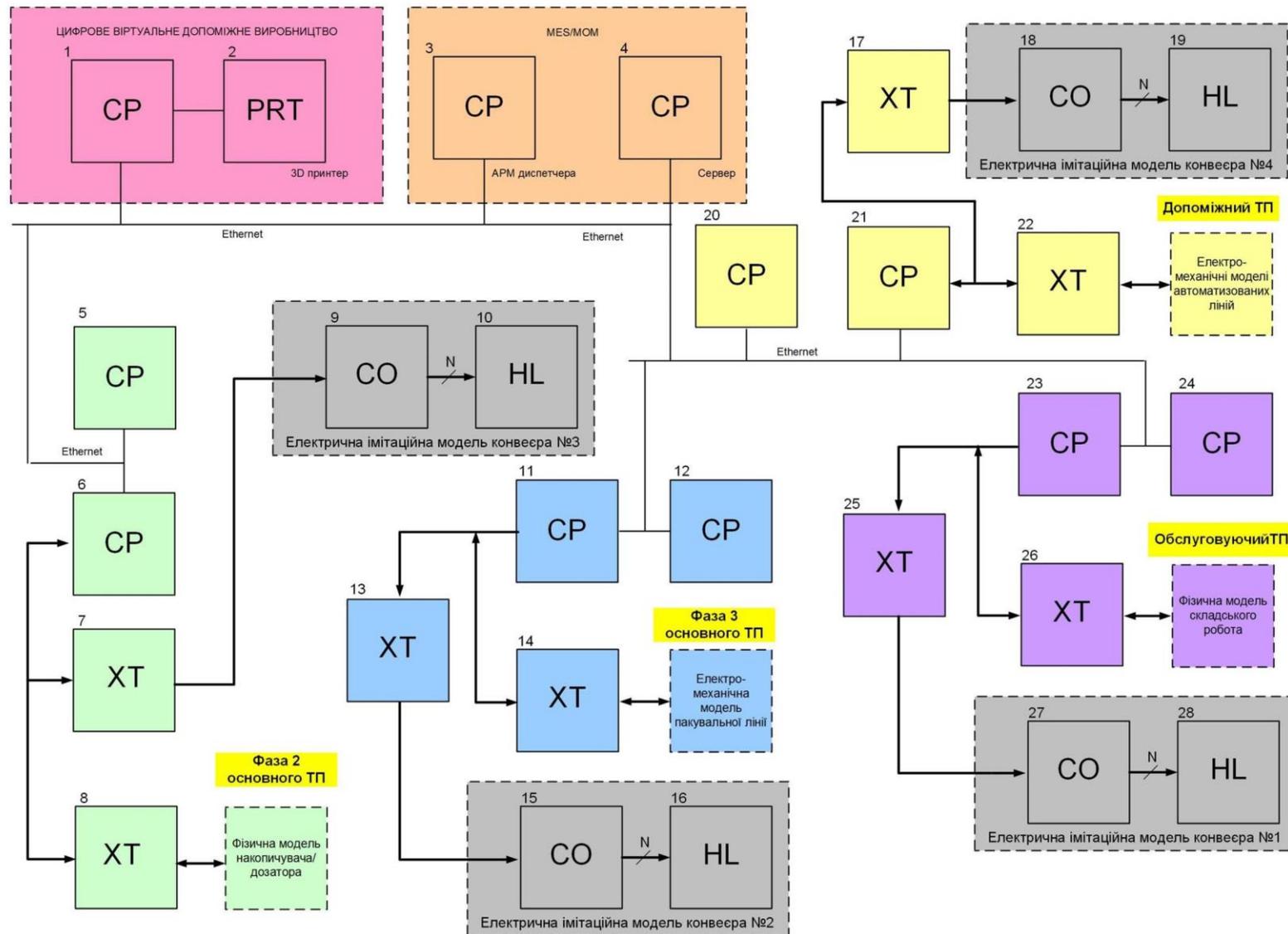
ІНФОРМАЦІЙНИЙ ПЕРЕХІД ВІД ІСУ ВІРТУАЛЬНИМ ВИРОБНИЦТВОМ ДО ІСУ РЕАЛЬНИМ ВИРОБНИЦТВОМ



КОНЦЕПТУАЛЬНЕ РІШЕННЯ НОВОГО КНЗ

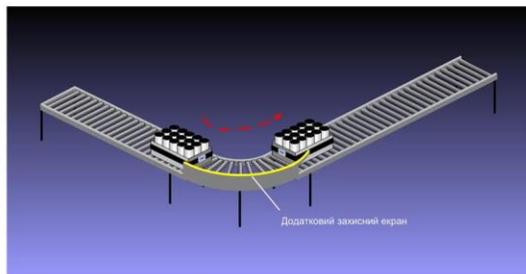
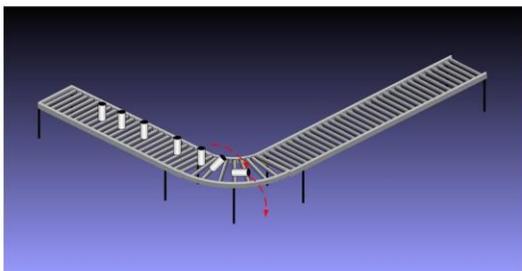
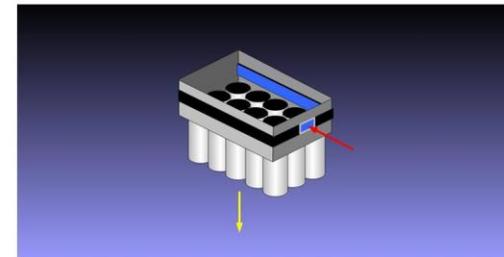
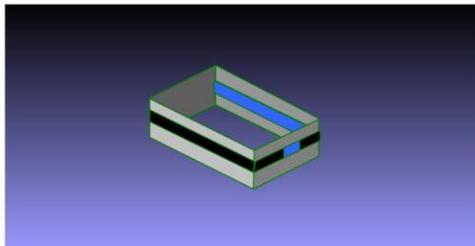
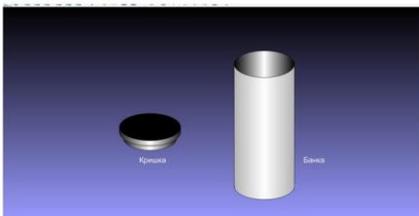


КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАСІБ. СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА СТРУКТУРНА

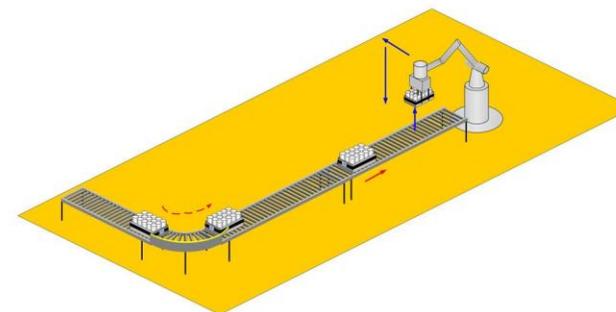
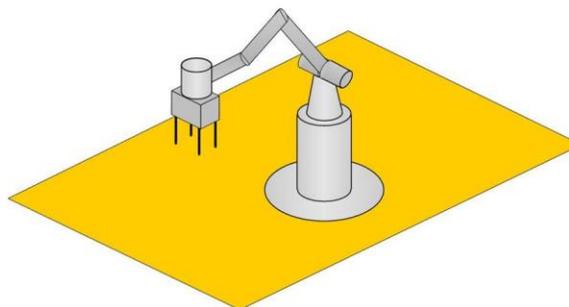
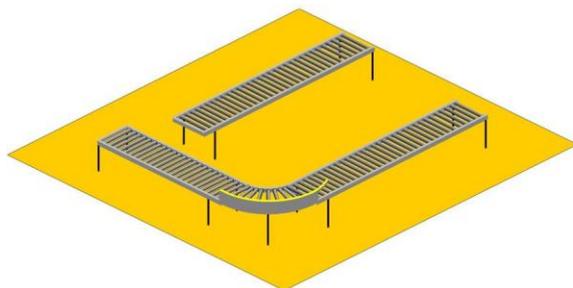


МОДЕЛЮВАННЯ НА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОМУ НАВЧАЛЬНОМУ ЗАСОБІ ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА

ЦИФРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ



ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ



Додаток В
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Комп'ютеризований навчальний засіб для практичного вивчення автоматизованого адитивного виробництва

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

Підрозділ кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій ФІТА ВНТУ
(кафедра, факультет, навчальна група)

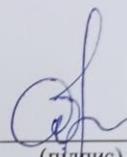
Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 10,93 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

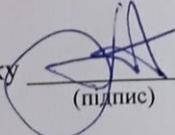
Експертна комісія:

Олег БІСІКАЛО, зав. кафедри АІТ
(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)

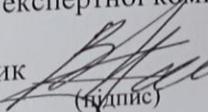
Любов ЯНЧУК, секретар кафедри АІТ
(прізвище, ініціали, посада)

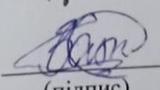

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку 
(підпис)

Роман МАСЛІЙ
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник 
(підпис) Володимир ПАПІНОВ, проф. кафедри АІТ
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач 
(підпис)

Любомир ЗАТАЙДУХ
(прізвище, ініціали)