

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна  
Факультет комп'ютерних наук  
Кафедра теоретичної та прикладної системотехніки

«Затверджую»  
Зав. кафедри теоретичної та  
прикладної системотехніки  
\_\_\_\_\_ д.т.н., проф. С. І. Шматков  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р

**Пояснювальна записка**  
до кваліфікаційної роботи  
бакалавра

на тему: **«Модель промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі впровадження технології Індустрії 4.0»**

Захищено на засіданні  
Атестаційної комісії № 42  
протокол № \_\_ від \_\_.06.2024 р.  
Оцінка \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
Голова Атестаційної комісії  
\_\_\_\_\_ **СКОБ Ю. О.**  
( підпис) (прізвище та ініціали)

Виконав:  
студент 4 курсу, групи КУ– 41  
Галузь знань: 15 – Автоматизація та  
приладобудування  
Спеціальність: 151 – «Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології»  
**ХАЧИКЯН Арман Рубенович** \_\_\_\_\_

**Керівник:** PhD, ст.викл.ЗВО кафедри  
теоретичної та прикладної  
системотехніки  
**МОРОЗ Ольга Юріївна** \_\_\_\_\_

**Рецензент:** к.т.н., доцент,  
доцент кафедри моделювання систем і  
технологій факультету  
комп'ютерних наук  
**ГАМЗАЄВ Рустам Олександрович** \_\_\_\_\_

Харків – 2024

## АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи складає 65 сторінок, із яких 49 сторінок основної частини з 9 рисунками. Список використаних джерел містить 56 найменувань.

**Метою кваліфікаційної роботи** є підвищення продуктивності, якості та екологічності промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі впровадження технологій Індустрії 4.0.

**Об'єктом дослідження** є процес промислового виробництва гофрованого паперу та картону.

**Предметом дослідження** є технології Індустрії 4.0 та їх впровадження у виробничий процес гофрованого паперу та картону.

Проблема підвищення ефективності та якості промислового виробництва є надзвичайно важливою у зв'язку зі зростаючими вимогами до екологічності та конкурентоспроможності продукції. Впровадження технологій Індустрії 4.0 дозволяє значно оптимізувати виробничі процеси, покращити контроль якості та знизити негативний вплив на довкілля.

У роботі обґрунтовано можливість та доцільність використання технологій Індустрії 4.0 у виробництві гофрованого паперу та картону. Запропонована модель виробництва враховує сучасні тенденції автоматизації, використання великих даних (Big Data), інтернету речей (IoT), а також технології штучного інтелекту для аналізу та оптимізації виробничих процесів.

**Ключові слова:** ГОФРОВАНИЙ ПАПІР, КАРТОН, ІНДУСТРІЯ 4.0, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ІОТ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, BIG DATA, КІБЕРФІЗИЧНІ СИСТЕМИ, ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА, МОДЕЛЮВАННЯ.

## ABSTRACT

The explanatory note to the bachelor's qualification work consists of an introduction, three chapters, conclusions, a list of references, and appendices. The total volume of the work is 65 pages, including 49 pages of the main part with 9 figures. The list of references includes 56 titles.

The goal of the qualification work is to improve the productivity, quality, and environmental sustainability of industrial production of corrugated paper and cardboard based on the implementation of Industry 4.0 technologies.

The object of the research is the process of industrial production of corrugated paper and cardboard.

The subject of the research is Industry 4.0 technologies and their implementation in the production process of corrugated paper and cardboard.

The problem of improving the efficiency and quality of industrial production is extremely important due to the increasing demands for the environmental sustainability and competitiveness of products. The implementation of Industry 4.0 technologies allows for significant optimization of production processes, improved quality control, and reduced negative environmental impact.

The work substantiates the possibility and feasibility of using Industry 4.0 technologies in the production of corrugated paper and cardboard. The proposed production model takes into account modern trends in automation, the use of big data, the Internet of Things (IoT), and artificial intelligence technologies for the analysis and optimization of production processes.

**Keywords:** CORRUGATED PAPER, CARDBOARD, INDUSTRY 4.0, AUTOMATION, IOT, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, BIG DATA, CYBER-PHYSICAL SYSTEMS, PRODUCTION EFFICIENCY, MODELING.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА ГОФРОВАНОГО ПАПЕРУ ТА КАРТОНУ .....	9
1.1. Характеристика Індустрії 4.0: Основні принципи та технології у сфері впровадження Індустрії 4.0 у виробництві гофрованого паперу та картону, паперової та картонної тари.....	9
1.2. Поточний стан виробничих процесів на виробництві гофрованого паперу та картону, паперової та картонної тари.....	12
1.3. Потенційні можливості впровадження Індустрії 4.0 на виробництві гофрованого паперу та картону, паперової та картонної тари.....	14
1.4 Постановка задачі дослідження.....	16
Висновки до розділу 1 .....	19
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА ГОФРОВАНОГО ПАПЕРУ ТА КАРТОНУ НА БАЗІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ІНДУСТРІЇ 4.0.....	20
2.1. Обґрунтування вимог до моделі, її структури, вибір середовища моделювання.....	20
2.2. Опис функціоналу моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі впровадження технології Індустрії 4.0.....	24
2.3. Впровадження та тестування моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі впровадження технології Індустрії 4.0. .....	31
Висновки до розділу 2. ....	38
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛІ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА ГОФРОВАНОГО ПАПЕРУ ТА КАРТОНУ НА БАЗІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ІНДУСТРІЇ 4.0. НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ПОСЛУГ .....	40
3.1. Оцінка результатів та ефективності використання розробленої моделі ...	40

3.2. Рекомендації для впровадження моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі впровадження технології Індустрії 4.0. .....	45
Висновки до розділу 3. ....	49
ВИСНОВКИ.....	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ.....	52
ДОДАТКИ.....	59

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

IoT	–	Інтернет речей (Internet of Things)
AI	–	Штучний інтелект (Artificial Intelligence)
Big Data	–	Великі дані
CPS	–	Кіберфізична система (Cyber-Physical System)
KPI	–	Ключові показники ефективності (Key Performance Indicators)
ROI	–	Рентабельність інвестицій (Return on Investment)
RFID	–	Радіочастотна ідентифікація (Radio-Frequency Identification)
ERP	–	Система планування ресурсів підприємства (Enterprise Resource Planning)
MES	–	Система управління виробничими процесами (Manufacturing Execution System)
SCADA	–	Система диспетчерського контролю та збору даних (Supervisory Control and Data Acquisition)
PLC	–	Програмований логічний контролер (Programmable Logic Controller)
OEE	–	Загальна ефективність обладнання (Overall Equipment Effectiveness)
CAD	–	Система автоматизованого проектування (Computer-Aided Design)
CAM	–	Система автоматизованого виробництва (Computer-Aided Manufacturing)
WMS	–	Система управління складом (Warehouse Management System)
HMI	–	Людино-машинний інтерфейс (Human-Machine Interface)
AR	–	Доповнена реальність (Augmented Reality)
VR	–	Віртуальна реальність (Virtual Reality)
RFID	–	Радіочастотна ідентифікація (Radio-Frequency Identification)
IoT	–	Інтернет речей (Internet of Things)
SCM	–	Управління ланцюгом поставок (Supply Chain Management)

## ВСТУП

**Актуальність дослідження.** У сучасному світі промисловість стикається з численними викликами, серед яких підвищення конкурентоспроможності, зменшення витрат та підвищення якості продукції займають центральне місце. Останні тенденції розвитку промислових технологій, об'єднані під концепцією Індустрії 4.0, пропонують нові можливості для вдосконалення виробничих процесів. Індустрія 4.0 охоплює такі інноваційні технології, як Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (AI), великі дані (Big Data) та кіберфізичні системи (CPS), що дозволяють створювати інтелектуальні виробничі системи, здатні до саморегулювання та оптимізації процесів у реальному часі.

Впровадження технологій Індустрії 4.0 у виробництво гофрованого паперу та картону має значний потенціал для підвищення ефективності та якості продукції. Гофрований папір та картон є важливими матеріалами у пакувальній індустрії, де вимоги до міцності, екологічності та вартості постійно зростають. Традиційні методи виробництва, хоча і добре розвинені, не завжди відповідають сучасним викликам та потребують оновлення. Впровадження технологій Індустрії 4.0 у виробництво гофрованого паперу та картону має потенціал значно покращити цей процес, забезпечуючи конкурентні переваги та сприяючи сталому розвитку.

Таким чином, дослідження, спрямоване на підвищення продуктивності, якості та екологічності виробництва гофрованого паперу та картону за допомогою технологій Індустрії 4.0, є вкрай актуальним та відповідає сучасним вимогам розвитку промисловості. Впровадження таких технологій забезпечить конкурентоспроможність підприємств та сприятиме їх стійкому розвитку в майбутньому.

Основна задача роботи розробити моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі впровадження технологій Індустрії 4.0, що забезпечить підвищення продуктивності, якості продукції та зменшення витрат.

**Об'єктом дослідження** є процес промислового виробництва гофрованого паперу та картону.

**Предметом дослідження** є технології Індустрії 4.0 та їх впровадження у виробничий процес гофрованого паперу та картону.

**Метою кваліфікаційної роботи** є підвищення продуктивності, якості та екологічності промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі впровадження технологій Індустрії 4.0.

Відповідно до мети були визначені наступні **завдання**:

1. Провести огляд теоретичних основ концепції Індустрії 4.0 та її впливу на промислове виробництво.
2. Аналіз сучасного стану виробництва гофрованого паперу та картону, включаючи технологічні процеси, матеріали та обладнання.
3. Визначити основні проблеми та недоліки традиційних методів виробництва гофрованого паперу та картону.
4. Дослідити можливості та переваги впровадження технологій Індустрії 4.0 у виробництво гофрованого паперу та картону.

Для розв'язання поставлених завдань нами були використані такі **методи дослідження**: систематичний аналіз літератури з теми дослідження; визначення оптимальних параметрів виробництва, тестування нових технологій та матеріалів, використання програмного забезпечення для симуляцій виробничих сценаріїв, статистичний аналіз.

Робота може бути корисною для промислових підприємств, , екологічних організацій. Її впровадження сприятиме підвищенню ефективності виробничих процесів, зменшенню витрат та покращенню екологічної ситуації завдяки інтеграції автоматизації, IoT та AI у виробництво.

## РОЗДІЛ 1.

### ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА ГОФРОВАНОГО ПАПЕРУ ТА КАРТОНУ

#### 1.1. Характеристика Індустрії 4.0: Основні принципи та технології у сфері впровадження Індустрії 4.0 у виробництві гофрованого паперу та картону, паперової та картонної тари.

Світ стрімко змінюється, і складно уявити, яким він стане через сто років. Вже зараз ми використовуємо досягнення, про які ще нещодавно могли тільки мріяти. Багато з цих досягнень пов'язані з інформаційними технологіями, які стали однією з основних сил у глобальній економіці. Вони змінюють практично кожен аспект людського життя і бізнесу, зокрема процеси генерації, передачі, зберігання, управління та аналізу інформації. Ці зміни породжують нові форми економіки, такі як інформаційна, інноваційна, знань та інші, які радикально перетворюють бізнес-моделі конкурентоспроможних підприємств.

Однією з найбільш значущих концепцій є "Індустрія 4.0", яка була сформульована кілька років тому на промислових виставках та форумах. Це стратегічний план розвитку економіки, що передбачає глибоку інтеграцію інформаційних технологій у промисловість шляхом підключення всіх компонентів виробництва до загальної мережі обміну даними. Це передбачає перехід від автоматизації до об'єднання ресурсів, інформаційних потоків і людей у мережу [23 с. 56].

Індустрія 4.0 вже сьогодні перетворює найбільші економіки світу і визначається великими промисловими компаніями та науковими центрами.

Україна поки що мало звертає увагу на цю концепцію, проте, ігноруючи її, ризикує залишитися позаду світових трендів у економіці.

Термін "Індустрія 4.0" існує не так давно, але вже відзначається різноманітністю тлумачень. Деякі з них включають в себе поняття "Промисловий Інтернет Речей", "Четверта Промислова Революція", "Інтернет

Речей". У формуванні цього терміну ключову роль відіграють поняття "кіберфізичні системи", "промислове виробництво", "інтелектуальне виробництво", "віртуальна реальність", "самокерованість".

Зокрема, кіберфізичні системи -це злиття фізичних процесів з кібернетичними компонентами, які організують вимірювальні-обчислювальні процеси, захищене зберігання та обмін інформацією, а також вплив на фізичні процеси. Кіберфізичні системи -це сукупність "розумних деталей" та "розумного виробництва", де кожен робочий пристрій самостійно визначає свої дії під час виробництва. Згідно з думкою авторів, кіберфізичні системи -це інтелектуальні пристрої, які створюють модульні фабричні структури, які є частинами Інтернету Речей [40, с. 27].

Розумне виробництво (Інтелектуальне виробництво, Розумна Фабрика, англ. Smart Factory) -це інноваційне та гнучке промислове виробництво з модульністю, децентралізованою самоорганізацією та бездротовою системою комунікації. Це не тільки ідея, але і реальність, яку підтверджує ряд ініціатив, таких як SmartFactoryKL, де розроблено інноваційну виробничу лінію з можливістю самонастроювання та інтеграції нових виробничих модулів. Взаємодія між "розумними" компонентами Розумного виробництва дозволяє створювати рішення, які раніше були недосяжними за умов звичайної автоматизації виробництва.

Концепція Інтернету Речей з'явилася ще в 1999 році, але "офіційним" вважається її поява в 2008-2009 роках, коли кількість підключених пристроїв перевищила населення планети. Наразі кількість підключених пристроїв перевищує населення вдвічі, а до 2020 року може зрости в 10 разів. Промисловий Інтернет Речей (МІоТ або ІІоТ) -це використання Інтернету Речей у промисловому виробництві [31, с. 52].

Загалом, роблячи узагальнення поданих у таблиці 1 визначень та пояснень, можна зробити висновок, що Індустрія 4.0 є майбутнім інноваційним промисловим виробництвом, що використовує кіберфізичні системи за допомогою Промислового Інтернету Речей. Індустрія 4.0 відображає нове

науково-технічне середовище, де відбувається перехід до мехатронних систем, які поєднують у собі механічні та електронні компоненти, компоненти інформаційних технологій (ІТ) та компоненти інтелектуального керування.

Групою науковців та фахівців було зазначено дев'ять розробок науково-технічного прогресу (див. таблицю 1), які становлять основу Індустрії 4.0. Розглянемо їх докладніше.

1) Великі дані та їх аналіз (Big Data and Analytics). Завдяки інформаційно-комунікаційним засобам та технологіям обсяг структурованих і неструктурованих даних у бізнесі зростає, що вимагає ефективного збору та аналізу для управління. Процес пошуку та обробки великої кількості інформації отримав назву "Великі дані". Також актуальним залишається інтелектуальний аналіз даних (Data Mining).

2) Автономні роботи (Autonomous Robots) -це роботи, що можуть виконувати завдання без втручання людини. Вони є важливим компонентом Індустрії 4.0, яка базується на кіберфізичних системах.

3) Моделювання (Simulation) використовується не лише на етапі проектування, але й у процесі виробництва. Виртуальна модель виробництва та реальне виробництво будуть тісно пов'язані, що дозволить економити час та кошти на тестуванні та оптимізації.

4) Горизонтальна та Вертикальна Системна Інтеграція (Horizontal and Vertical System Integration). У Індустрії 4.0 всі підрозділи підприємства та ланцюг постачання повинні бути інтегровані в єдиний інформаційний простір. Ієрархічна система доступу до інформації буде розірвана, а об'єкти, підключені до Промислового Інтернету Речей, матимуть доступ до необхідної інформації незалежно від рівня.

5) Промисловий Інтернет Речей (Industrial Internet of Things) планує об'єднати всі виробничі компоненти в єдину мережу для обміну інформацією в режимі реального часу. Це стане ключовим елементом майбутнього виробництва.

б) Кібербезпека (Cybersecurity) включає заходи щодо захисту місць зберігання та обробки даних, а також мереж передачі. На сьогодні підприємства можуть захищати себе від шкідливого програмного забезпечення та кібератак, обмежуючи доступ до Інтернету та перевіряючи вхідні інформаційні потоки. Проте в епоху Індустрії 4.0 ця проблема стане ще актуальнішою, оскільки всі аспекти будуть постійно підключені до Промислового Інтернету Речей. Разом з технологічними рішеннями, важливу роль відіграють організаційні заходи з кібербезпеки [28, с. 65].

Інноваційність Індустрії 4.0 потребує проведення різноманітних фундаментальних та практичних наукових досліджень. Окрім технічних аспектів, необхідно досліджувати економічні виміри. Зокрема, слід досліджувати вплив Індустрії 4.0 на зайнятість населення, населення, навколишнє середовище, енергозбереження та інші суттєві аспекти.

## **1.2. Поточний стан виробничих процесів на виробництві гофрованого паперу та картону, паперової та картонної тари.**

Виробництво гофрованого паперу та картону, а також паперової та картонної тари, включає кілька ключових етапів, які забезпечують перетворення сировини у готову продукцію. Сучасні виробничі процеси на підприємствах цієї галузі характеризуються високим ступенем автоматизації, використанням сучасних технологій контролю якості та управління виробництвом.

Підготовка сировини включає розпушування целюлозних волокон та їх очищення від домішок. Цей процес здійснюється у спеціальних млинах, де волокна змішуються з водою та перетираються до необхідної консистенції.

Виробництво паперу включає формування паперового полотна з суспензії волокон, його сушіння та намотування на рулони. Цей етап є одним з найважливіших, оскільки від якості паперового полотна залежить якість кінцевої продукції [24, с. 78].

Таблиця 1.1.

## Основні етапи виробничого процесу

Етап	Опис
Підготовка сировини	Розпушування та очищення целюлозних волокон
Виробництво паперу	Формування паперового полотна, сушіння та намотування на рулони
Гофрування	Придання паперу гофрованої структури
Ламінація	Склеювання гофрованого шару з плоскими шарами картону
Різка та формування	Різка готового картону на заготовки, формування виробів
Контроль якості	Перевірка готової продукції на відповідність стандартам

Гофрування є процесом, в якому паперове полотно перетворюється у гофрований шар, який надає майбутньому картону міцність та жорсткість. Гофроване полотно склеюється з плоскими шарами картону у процесі ламінації, утворюючи багатошарову структуру.

Різка та формування готової продукції здійснюються на автоматизованих лініях, де картон ріжеться на заготовки необхідного розміру та форми, а потім формується у готові вироби, такі як коробки, контейнери та інша тара.

Контроль якості є невід'ємною частиною виробничого процесу, яка забезпечує відповідність продукції встановленим стандартам. Перевірка якості здійснюється на кожному етапі виробництва, що дозволяє виявляти та усувати дефекти ще до завершення виробничого циклу.

Завдяки високому рівню автоматизації та сучасним методам контролю якості, виробництво гофрованого паперу та картону, паперової та картонної тари забезпечує високу продуктивність та якість продукції. Впровадження новітніх технологій дозволяє постійно вдосконалювати виробничі процеси, знижувати витрати та підвищувати конкурентоспроможність продукції на ринку. Сучасні

виробничі підприємства використовують комплексний підхід до управління виробництвом, що включає інтеграцію автоматизованих систем, використання Інтернету речей (IoT) та аналітику великих даних для оптимізації всіх етапів виробничого процесу [41 ,с. 68].

Таким чином, поточний стан виробничих процесів на виробництві гофрованого паперу та картону, паперової та картонної тари демонструє високий рівень автоматизації, ефективності та якості. Постійне вдосконалення технологій та методів контролю якості дозволяє підприємствам залишатися конкурентоспроможними та успішно функціонувати у швидкозмінних умовах сучасного ринку.

### **1.3. Потенційні можливості впровадження Індустрії 4.0 на виробництві гофрованого паперу та картону, паперової та картонної тари.**

Варто відзначити, що целюлозно-паперова промисловість України має потенціал для розвитку, особливо в середньому та малому бізнесі, оскільки великі підприємства вже майже вичерпали свій потенціал. У цьому контексті головним напрямком розвитку таких підприємств на найближчу перспективу є реконструкція та модернізація існуючого обладнання, вдосконалення використовуваних технологій та впровадження нових, більш ефективних хімікатів і домішок для поліпшення якості продукції [28 ,с. 36].

У сучасних умовах промислове виробництво обумовлене міжнародною конкуренцією та потребою швидкої адаптації до вимог ринку. Ці вимоги можна виконати шляхом впровадження досягнень інноваційних технологій виробництва. Індустрія 4.0 дозволяє поєднати онлайн-технології з промисловим виробництвом. Вона передбачає автоматизацію всіх процесів виробництва, від проектування до доставки продукції споживачеві, враховуючи його потреби, а також надання післяпродажного сервісу. Ідеальним випадком є повністю автоматизоване виробництво, що забезпечить максимальну ефективність. Проте повністю автоматизоване виробництво не є можливим з об'єктивних причин. Впровадження інструментів Індустрії 4.0, таких як IoT, аналітика Big Data,

підключені машини, штучний інтелект, дозволяє оптимізувати виробництво та збільшити конкурентоспроможність продукції.

Впровадження новаторських рішень у вітчизняні підприємства сприятиме підвищенню їх ефективності та конкурентоспроможності на міжнародних ринках.

Ураховуючи значні витрати на матеріали в цій галузі, можна очікувати прискореного впровадження технологій, пов'язаних з використанням природних ресурсів, зокрема переробкою соломи, яка в Україні є достатньою за кількістю, але ще не використовується в повній мірі [14 ,с. 59].

На сьогодні на українському ринку картонно-паперової продукції існують вільні сектори, розвиток яких може бути привабливим для інвесторів та сприяти підвищенню конкурентоспроможності вітчизняних підприємств. Фахівці вважають, що найбільш перспективними напрямками для інвестування є:

- Виробництво волоконних напівфабрикатів з використанням однорічних рослин, таких як солома тощо.
- Виробництво друкарських видів паперу.
- Виготовлення перфорованого паперу для формулярів.
- Виробництво офісного паперу для розмножувальної техніки.
- Виробництво мішкового паперу.

Згідно з Концепцією загальнодержавної цільової програми розвитку целюлозно-паперової промисловості України та вітчизняного ринку картонно-паперової продукції, до перспективних напрямів розвитку варто віднести:

- Створення сприятливих умов для приваблення інвестицій для розвитку галузі та вітчизняного ринку картонно-паперової продукції.
- Підтримка розвитку вітчизняної сировинної бази для підприємств картонно-паперової галузі.
- Здійснення інноваційно-технологічної модернізації виробництва з використанням новітніх технологічних укладів та випуском інноваційної продукції.

- Впровадження енергозберігаючої моделі розвитку та зменшення енергоємності виробництва.
- Удосконалення системи технічного регулювання для відповідності міжнародним стандартам стосовно якості продукції, екологічних вимог та безпеки виробництва [12, с. 54].

Запропоновані стратегії підвищення конкурентоспроможності українських підприємств целюлозно-паперової галузі за використанням ключових аспектів Індустрії 4.0: оновлення виробництва за допомогою сучасних технологій, виробництво популярних продуктів, створення привабливих умов для інвестицій, підтримка розвитку внутрішніх джерел сировини, стимулювання інноваційної технологічної модернізації, впровадження енергоефективних підходів та інше.

Щодо майбутніх досліджень, важливим є розробка технічних рішень для оптимізації виробництва у целюлозно-паперовій промисловості та удосконалення систем управління підприємствами з урахуванням специфіки галузі.

#### **1.4 Постановка задачі дослідження**

Сучасні тенденції розвитку промислового виробництва вимагають постійного вдосконалення технологічних процесів, підвищення ефективності та якості продукції, а також зменшення виробничих витрат і негативного впливу на навколишнє середовище. В умовах глобальної конкуренції підприємства, зокрема виробники гофрованого паперу та картону, змушені шукати нові рішення для оптимізації своєї діяльності. Одним із перспективних напрямів є впровадження технологій Індустрії 4.0, які передбачають інтеграцію кіберфізичних систем, Інтернету речей (IoT), великих даних (Big Data) та штучного інтелекту (AI) у виробничі процеси.

*Першим завданням є проведення детального аналізу сучасного стану виробництва гофрованого паперу та картону. Це включає вивчення технологічних процесів, використовуваних матеріалів, обладнання та методів управління виробництвом. Важливо визначити основні проблеми та недоліки,*

які обмежують ефективність та якість продукції, а також виявити ключові фактори, що впливають на продуктивність підприємств [25, с. 67].

*Другим завданням* є дослідження можливостей та переваг впровадження технологій Індустрії 4.0 у виробничий процес гофрованого паперу та картону. Це включає вивчення сучасних технологічних рішень, таких як сенсорні мережі для моніторингу виробництва, автоматизовані системи управління, аналітичні інструменти для обробки великих даних та застосування штучного інтелекту для прийняття рішень. Необхідно оцінити потенціал цих технологій для покращення виробничих процесів, підвищення продуктивності та якості продукції.

*Третім завданням* є розробка моделі виробничого процесу гофрованого паперу та картону на базі технологій Індустрії 4.0. Це включає визначення структури моделі, вибір середовища моделювання, розробку алгоритмів та функціональних компонентів. Модель повинна інтегрувати всі необхідні технологічні рішення та забезпечувати можливість автоматизації збору даних, їх аналізу та оптимізації процесів у реальному часі.

*Четвертим завданням* є тестування та оцінка ефективності розробленої моделі в умовах реального виробництва. Це передбачає проведення експериментальних досліджень, аналіз результатів та оцінку економічної доцільності впровадження. Необхідно визначити переваги та можливі недоліки моделі, розробити рекомендації щодо її подальшого вдосконалення та масштабного впровадження на підприємствах .

Виконання цих завдань дозволить створити ефективну модель промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі технологій Індустрії 4.0, яка забезпечить підвищення конкурентоспроможності підприємств, сприятиме їх сталому розвитку та інноваційному зростанню.

1 етап Завдання, що стоїть перед розробкою самої моделі, є комплексним та багатоступеневим процесом, який включає кілька ключових етапів. Першим етапом є розробка концепції моделі, що передбачає визначення основних принципів її функціонування, структурних компонентів та взаємодії між ними. На цьому етапі важливо врахувати всі аспекти виробничого процесу

гофрованого паперу та картону, включаючи технологічні, економічні, екологічні та соціальні фактори [31 ,с. 58].

2 етап Другим етапом є вибір та налаштування середовища моделювання, яке дозволить реалізувати поставлені цілі. Середовище повинно забезпечувати можливість інтеграції різних технологічних рішень, таких як сенсорні мережі, системи автоматизованого управління, інструменти для обробки великих даних та алгоритми штучного інтелекту. На цьому етапі важливо забезпечити сумісність різних компонентів та їх ефективну взаємодію.

3 етап Третім етапом є розробка алгоритмів та функціональних компонентів моделі. Це включає створення алгоритмів для збору, обробки та аналізу даних, а також для прийняття рішень на основі отриманих результатів. Функціональні компоненти моделі повинні забезпечувати моніторинг та контроль виробничих процесів у реальному часі, оптимізацію ресурсів та підвищення продуктивності. Важливим завданням на цьому етапі є забезпечення гнучкості моделі, що дозволяє адаптувати її до змінних умов та вимог.

4 етап Четвертим етапом є інтеграція розроблених алгоритмів та функціональних компонентів у єдину систему. Це включає тестування та налаштування взаємодії між різними компонентами, забезпечення стабільної роботи системи та її готовності до впровадження у реальні виробничі умови. На цьому етапі важливо провести ретельну перевірку всіх компонентів моделі для виявлення та усунення можливих помилок та недоліків.

5 етап П'ятим етапом є впровадження та тестування моделі у реальних умовах виробництва. Це передбачає проведення експериментальних досліджень, моніторинг роботи системи та аналіз отриманих результатів. Необхідно оцінити ефективність моделі, її вплив на продуктивність, якість продукції та виробничі витрати. Важливим завданням на цьому етапі є виявлення можливих проблем та недоліків, а також розробка рекомендацій щодо їх усунення [42 ,с. 67].

6 етап Шостим етапом є оцінка економічної доцільності впровадження моделі. Це включає аналіз витрат на впровадження та

експлуатацію системи, а також оцінку економічного ефекту від її використання. Необхідно визначити, наскільки вигідним є впровадження моделі з точки зору підвищення продуктивності, зменшення витрат та покращення якості продукції. Важливо також врахувати екологічні та соціальні аспекти впровадження моделі.

Таким чином, завдання для розробки моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі технологій Індустрії 4.0 є комплексним процесом, який включає кілька етапів від концептуальної розробки до впровадження та оцінки ефективності. Виконання цих завдань дозволить створити ефективну, гнучку та адаптивну модель, що відповідає сучасним вимогам ринку та сприятиме інноваційному розвитку підприємств .

### **Висновки до розділу 1**

Таким чином, технології Індустрії 4.0 являють собою сукупність інноваційних підходів до організації виробничих процесів, що базуються на використанні кіберфізичних систем, Інтернету речей (IoT), великих даних (Big Data), штучного інтелекту (AI) та інших сучасних технологій. Впровадження цих технологій у промисловість спрямоване на створення інтелектуальних, автономних систем, здатних до саморегулювання, оптимізації та адаптації до змінних умов у реальному часі. Сучасний стан виробничих процесів у сфері виробництва гофрованого паперу та картону показує, що більшість підприємств використовують традиційні методи, які часто не відповідають сучасним вимогам ефективності та екологічності. Аналіз сучасних виробничих процесів вказує на наявність значного потенціалу для впровадження технологій Індустрії 4.0, що дозволить підвищити продуктивність, покращити якість продукції та знизити виробничі витрати.

Потенційні можливості впровадження Індустрії 4.0 у виробництво гофрованого паперу та картону включають інтеграцію сенсорних мереж для постійного моніторингу виробничих процесів, використання автоматизованих систем управління для оптимізації операцій, а також аналітичних інструментів для прогнозування та прийняття рішень.

## РОЗДІЛ 2.

### РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА ГОФРОВАНОГО ПАПЕРУ ТА КАРТОНУ НА БАЗІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ІНДУСТРІЇ 4.0.

#### 2.1. Обґрунтування вимог до моделі, її структури, вибір середовища моделювання.

Успішне впровадження моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі технологій Індустрії 4.0 вимагає детального обґрунтування вимог до моделі, її структури та вибору відповідного середовища моделювання. Це дозволить забезпечити максимальну ефективність, гнучкість і надійність виробничих процесів.

Основні вимоги до моделі включають:

1) Модель повинна забезпечувати автоматизацію основних виробничих операцій, інтеграцію сенсорних мереж для моніторингу виробництва в реальному часі, а також використання систем управління виробничими процесами (MES) і планування ресурсів підприємства (ERP).

2) Модель повинна включати можливості для збору великих обсягів даних з різних джерел, їх обробки та аналізу з використанням технологій штучного інтелекту (AI) та великих даних (Big Data). Це дозволить приймати обґрунтовані рішення та оптимізувати виробничі процеси [32 ,с. 56].

3) Модель повинна бути гнучкою та адаптивною до змін у виробничих процесах, що забезпечить швидку реакцію на зміни ринкових умов та вимоги клієнтів.

4) Забезпечення високого рівня безпеки даних та надійності виробничих систем є критично важливим для стабільного функціонування підприємства.

5) Модель повинна бути економічно доцільною, забезпечуючи високу рентабельність інвестицій та зниження виробничих витрат.

6) Структура моделі включає наступні основні компоненти:

7) Сенсорні мережі. Включають датчики для моніторингу температури, вологості, тиску, швидкості обертання та інших параметрів, що впливають на виробничий процес.

8) Системи збору та обробки даних. Використовують технології IoT для збору даних у реальному часі та платформи Big Data для їх обробки та зберігання.

9) Автоматизовані системи управління. Включають MES та ERP системи для управління та планування виробничих процесів [32, с. 87].

10) Аналітичні інструменти. Використання AI та машинного навчання для аналізу даних та оптимізації процесів.

11) Інтерфейси користувача. Людино-машинний інтерфейс (НМІ) для зручного управління та моніторингу виробничих процесів.

Схема інтеграції компонентів моделі представлена нижче:

Таблиця 2.1.

Порівняльний аналіз середовищ моделювання

Середовище	Основні характеристики	Переваги	Недоліки
AnyLogic	Моделювання бізнес-процесів, підтримка IoT	Гнучкість, масштабованість, сумісність з різними системами	Висока вартість ліцензії
FlexSim	Аналіз та візуалізація складних систем	Потужні інструменти для моделювання та аналізу	Складність у використанні
Arena Simulation	Моделювання дискретних подій	Простота у використанні, точність моделювання	Обмежені можливості інтеграції

Таблиця 2.2.

Вимоги до моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі впровадження технологій Індустрії 4.0

Вимога	Опис
Автоматизація процесів	Включає автоматизацію основних виробничих операцій для підвищення ефективності
Інтеграція сенсорних мереж	Встановлення сенсорів для моніторингу ключових параметрів у реальному часі
Збір та аналіз даних	Використання технологій IoT та Big Data для збору та аналізу великих обсягів даних
Використання AI	Застосування штучного інтелекту для оптимізації виробничих процесів та прийняття рішень
Гнучкість та адаптивність	Модель повинна швидко адаптуватися до змін ринкових умов та вимог клієнтів
Інтеграція MES та ERP	Включення систем управління виробничими процесами та планування ресурсів підприємства
Безпека даних	Забезпечення високого рівня безпеки даних для захисту інформації
Надійність	Модель повинна забезпечувати стабільну роботу виробничих систем
Економічна доцільність	Висока рентабельність інвестицій та зниження виробничих витрат
Моніторинг в реальному часі	Постійний моніторинг виробничих процесів для оперативного виявлення та усунення проблем
Підтримка НМІ	Людино-машинний інтерфейс для зручного управління та моніторингу процесів
Масштабованість	Можливість розширення моделі для включення нових процесів та технологій
Екологічна ефективність	Оптимізація використання ресурсів та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище
Навчання персоналу	Організація тренінгів для підготовки співробітників до роботи з новими технологіями
Постійне вдосконалення	Регулярний аналіз та оновлення моделі для забезпечення її актуальності та ефективності

Розробка моделі передбачає поетапну інтеграцію компонентів, починаючи з сенсорних мереж та закінчуючи аналітичними інструментами. Кожен етап впровадження повинен бути ретельно спланований та протестований для забезпечення стабільної роботи системи [24 ,с. 89].

Таким чином, обґрунтування вимог до моделі, її структури та вибору середовища моделювання є критично важливими етапами для створення ефективної системи промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі технологій Індустрії 4.0. Виконання цих завдань забезпечить підвищення продуктивності, покращення якості продукції, зниження виробничих витрат та забезпечить конкурентоспроможність підприємства на сучасному ринку.

Вибір середовища моделювання базується на вимогах до гнучкості, масштабованості та сумісності з існуючими системами підприємства. Найбільш підходящими середовищами для моделювання є AnyLogic, FlexSim та Arena Simulation Software.

Вибір середовища моделювання є критично важливим для успішної розробки моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі технологій Індустрії 4.0. FlexSim було обрано з кількох причин. Це середовище забезпечує потужні інструменти для моделювання, аналізу та візуалізації складних систем. FlexSim підтримує інтеграцію з іншими технологіями та платформами, що робить його ідеальним вибором для реалізації комплексних виробничих моделей [34, с. 67].

Основні переваги використання FlexSim для моделювання:

Потужні інструменти для моделювання та аналізу. FlexSim надає широкі можливості для створення точних і детальних моделей виробничих процесів, що дозволяє аналізувати їх поведінку та ефективність. Інтеграція з іншими системами. FlexSim підтримує інтеграцію з різними платформами та технологіями, такими як IoT, Big Data, AI, що робить його універсальним інструментом для моделювання. Гнучкість та масштабованість. FlexSim дозволяє легко адаптувати моделі до змін у виробничих процесах та розширювати їх для включення нових компонентів і технологій. Візуалізація даних та результатів. FlexSim надає потужні інструменти для візуалізації даних, що дозволяє зручно аналізувати результати моделювання та приймати обґрунтовані рішення. Підтримка автоматизації процесів. FlexSim забезпечує

можливість автоматизації різних виробничих операцій, що підвищує ефективність і знижує ризик людських помилок.

#### Схема інтеграції компонентів моделі в FlexSim

Схема інтеграції компонентів моделі включає сенсорні мережі, системи збору та обробки даних, автоматизовані системи управління, аналітичні інструменти та інтерфейси користувача. Кожен з цих компонентів інтегрується у середовище FlexSim для створення єдиної, ефективної моделі виробничого процесу [24, с. 58].

FlexSim -це потужне програмне забезпечення для моделювання і симуляції, призначене для аналізу, оптимізації та покращення різних виробничих і логістичних процесів. Воно надає користувачам можливість створювати детальні 3D-моделі, які дозволяють візуалізувати і тестувати різні сценарії роботи систем без необхідності втручання у реальні операції. FlexSim використовується для моделювання виробничих ліній, складських комплексів, транспортних систем і багатьох інших процесів. Програмне забезпечення підтримує широкий спектр можливостей, включаючи аналіз даних, ідентифікацію вузьких місць, прогнозування продуктивності та оптимізацію ресурсів. Візуалізація процесів в реальному часі допомагає користувачам краще зрозуміти і покращити виробничі та логістичні процеси. FlexSim також інтегрується з іншими системами і підтримує різні мови програмування, що робить його універсальним інструментом для інженерів, аналітиків і менеджерів.

### **2.2. Опис функціоналу моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі впровадження технології Індустрії 4.0.**

Модель промислового виробництва гофрованого паперу та картону, заснована на принципах Індустрії 4.0, включає інтеграцію сучасних технологій автоматизації, Інтернету речей (IoT), великих даних та штучного інтелекту для забезпечення ефективності та оптимізації виробничих процесів. Впровадження цих технологій дозволяє підвищити продуктивність, знизити витрати на виробництво та поліпшити якість продукції.

Автоматизація виробничого процесу включає використання робототехніки для виконання рутинних операцій, таких як подача сировини, формування гофрованого паперу та складання готової продукції. Роботи оснащені датчиками та підключені до центральної системи управління, що дозволяє в реальному часі відслідковувати стан обладнання та продуктивність [18 ,с. 36].

Таблиця 2.4.

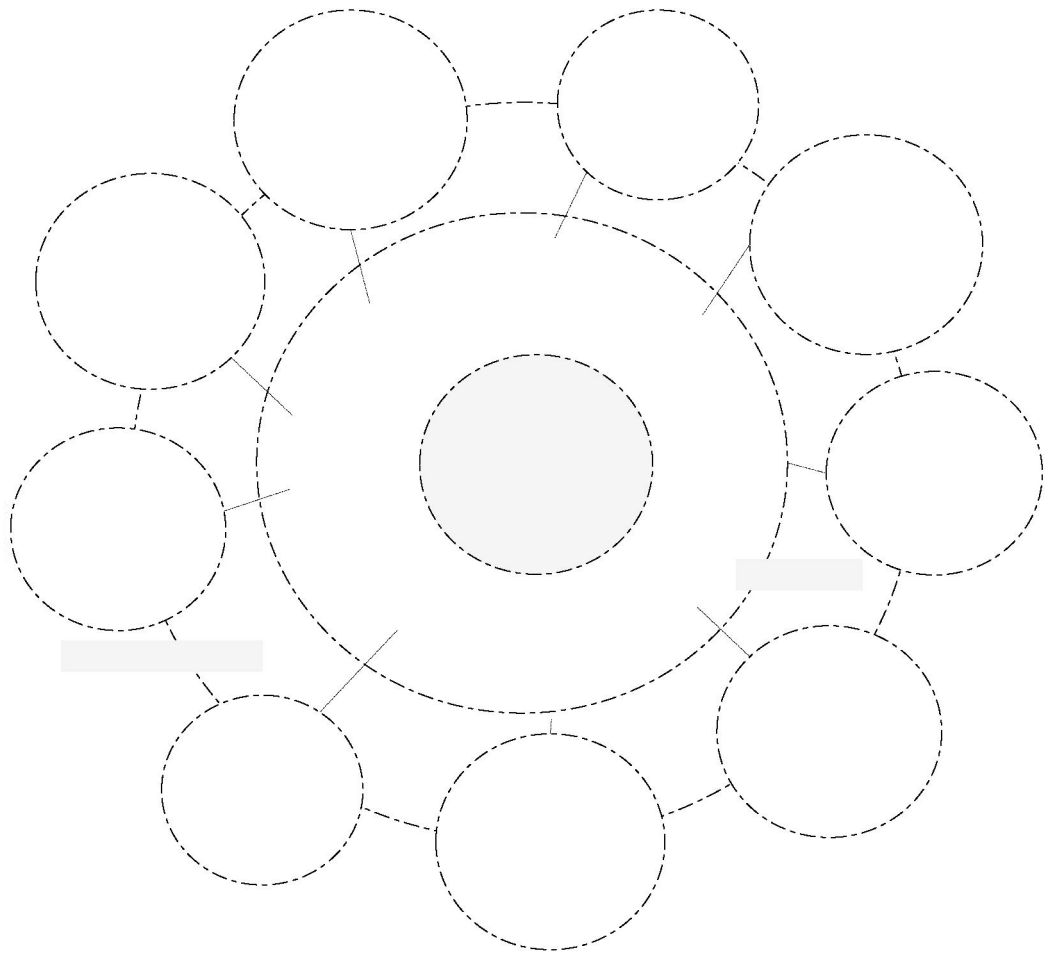
#### Основні функції автоматизованих систем

Функція	Опис
Контроль якості	Виявлення дефектів та відхилень від стандартів
Моніторинг виробничих процесів	Відстеження параметрів виробництва в режимі реального часу
Управління запасами	Оптимізація запасів сировини та готової продукції
Планування виробництва	Автоматичне планування графіків виробництва на основі даних

Інтеграція цих технологій також сприяє зниженню витрат на обслуговування обладнання шляхом впровадження превентивного обслуговування. Системи аналізують дані про стан обладнання та прогнозують можливі відмови, що дозволяє виконувати ремонтні роботи до того, як відбудеться серйозна поломка.

Загалом, впровадження технології Індустрії 4.0 у виробництво гофрованого паперу та картону дозволяє досягти високого рівня автоматизації та ефективності, що сприяє підвищенню конкурентоспроможності підприємства на ринку [22 ,с. 78].

Проаналізуємо приклади успішного застосування технологій Індустрії 4.0 на українських підприємствах. Це підтверджує наявність потенціалу та високої ефективності таких інновацій в контексті виробництва в Україні. Однак, незважаючи на ці успіхи, питання впровадження технологій Індустрії 4.0



3. Етап третій. Підготовка інфраструктури до впровадження технологій 4.0. На цьому етапі визначаються поточні технології та інструменти, що використовуються на підприємстві, та ідентифікуються менш ефективні технології для подальшого оновлення.

4. Етап четвертий. Початок впровадження або оновлення технологій Індустрії 4.0, яке включає послідовне впровадження систем збору даних, аналізу та автоматизованих систем управління.

5. Етап п'ятий. Навчання персоналу та управління змінами, включаючи підготовку персоналу до роботи з новими технологіями та трансформацію корпоративної культури.

6. Етап шостий. Використання впроваджених технологій Індустрії 4.0 та налаштування обладнання під час експлуатації.

7. Етап сьомий. Оцінка результатів удосконалення процесів підприємства, включаючи збір даних перед та після впровадження, аналіз результатів та оцінку ефективності за допомогою імітаційного моделювання.

8. Етап восьмий. Розробка рекомендацій та плану подальшого вдосконалення процесів підприємства.

На рисунку 2.2 представлено логіко-структурну схему етапів впровадження інструментів технології Індустрії 4.0

Таким чином, за допомогою використання наведених етапів впровадження інструментів технології Індустрії 4.0, підприємства можуть не лише підвищити продуктивність своєї діяльності, але й здійснювати моніторинг для виявлення слабких місць у бізнес-процесах в режимі реального часу.

Цей рівень складається з трьох блоків для контролю різних типів елементів системи виробництва:

- БЛОК №1: Контроль роботи технологічного обладнання;
- БЛОК №2: Контроль роботи виробничих працівників;
- БЛОК №3: Контроль роботи складу.

На другому рівні системи здійснюється моніторинг взаємодії компонентів виробничої ланки. Цей рівень має лише один блок -БЛОК №4.



Рисунок 2.2 - Логіко-структурна схема етапів впровадження інструментів технології Індустрії 4.0

Структура третього рівня імітаційної моделі складається з восьми блоків.

БЛОК №5: База даних виробничої системи, що включає різні типи даних.

БЛОК №6: Проектування технологічних процесів, що включає 11 етапів, таких як аналіз конструкції деталі, вибір типу заготовки, визначення комплексу деталей тощо [24, с. 57].

БЛОК №7: Вибір найоптимальнішого варіанту технологічного маршруту обробки та використаного обладнання.

БЛОК №8: Підготовка технологічної документації, яка базується на схваленому комплекті документів.

БЛОК №9: Аналіз "вузьких місць" у виробничій системі, здійснюваний на основі параметрів окремих компонентів та їх взаємодії.

У разі виявлення відхилень, які можуть спричинити порушення виробничого графіку, відбувається швидке інформування відповідних відділів і запуск Блоку №10 для аналізу альтернативних сценаріїв виробництва.

БЛОК №10: Виконання імітаційного моделювання виробничих сценаріїв. Основне завдання даного блоку - створення альтернативних варіантів обробки партій деталей, для яких технологічні процеси неможливо реалізувати у встановлені строки або за визначених умов (наприклад, технологічний маршрут обробки, тип заготовки, параметри ріжучого інструменту тощо). Під час моделювання альтернативних варіантів для обробки партій деталей розглядаються такі параметри технологічного процесу, як технологічний маршрут обробки (ТМО), обладнання, тип і параметри ріжучого інструменту (геометричні характеристики, матеріал ріжучої частини), метод отримання заготовки та методи обробки [10, с. 45].

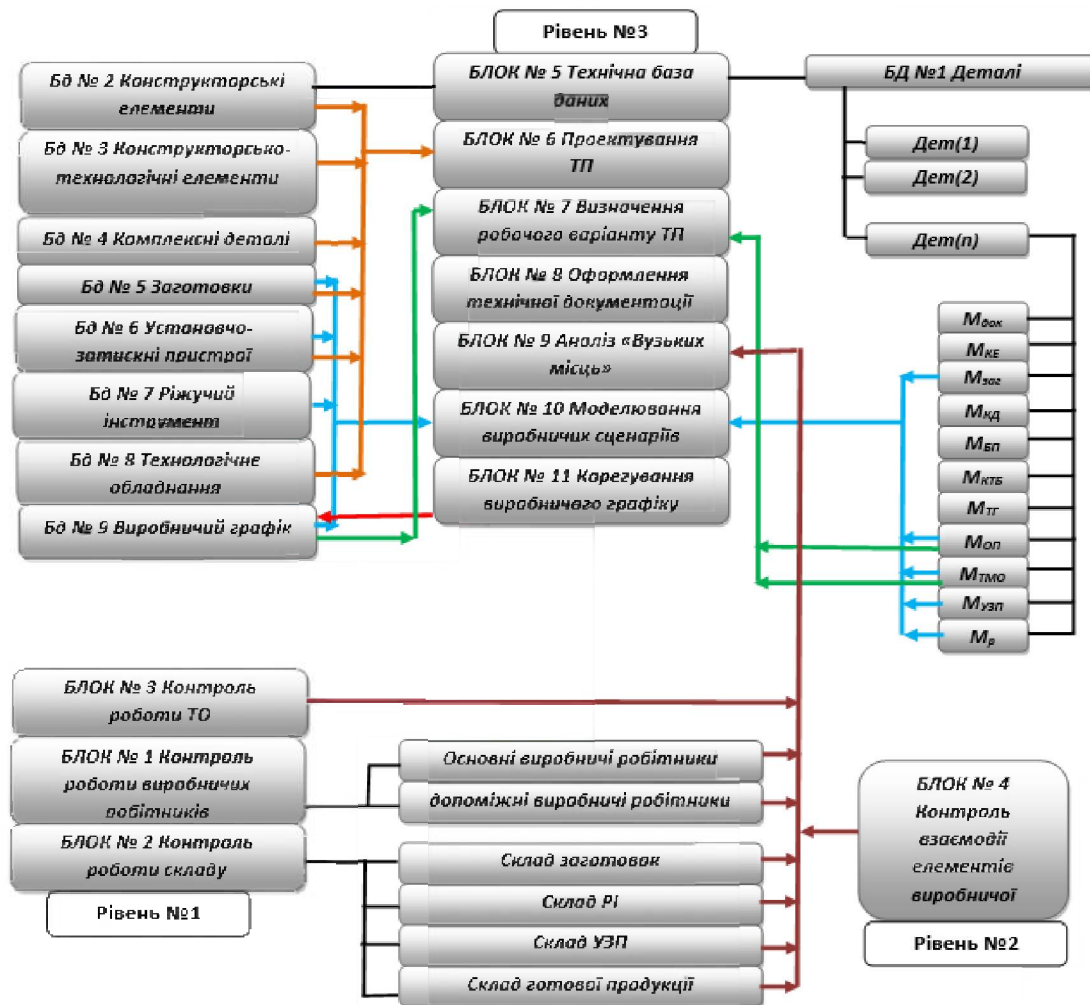


Рисунок 2.3 - Схема взаємодії елементів імітаційної моделі.

Загалом, впровадження технології Індустрії 4.0 у виробництво гофрованого паперу та картону дозволяє досягти високого рівня автоматизації та ефективності, що сприяє підвищенню конкурентоспроможності підприємства на ринку. Інтеграція сучасних технологій, таких як робототехніка, Інтернет речей (IoT), великі дані та штучний інтелект, забезпечує оптимізацію всіх етапів виробничого процесу, від постачання сировини до випуску готової продукції.

Переваги автоматизації включають зниження ручної праці, підвищення точності та швидкості виробничих операцій, що безпосередньо впливає на якість та кількість випущеної продукції. Використання IoT забезпечує постійний моніторинг та управління виробничими параметрами в режимі реального часу,

що дозволяє оперативно реагувати на будь-які відхилення та підтримувати стабільний рівень якості.

### 2.3. Впровадження та тестування моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі впровадження технології Індустрії 4.0.

Процес впровадження моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на основі технології Індустрії 4.0 включає декілька ключових етапів: аналіз поточних виробничих процесів, розробка технічного рішення, інтеграція нових технологій, навчання персоналу та тестування системи в реальних умовах виробництва.

Таблиця 2.5.

Етапи впровадження моделі виробництва

Етап	Опис
Аналіз поточних процесів	Оцінка існуючої системи виробництва, виявлення слабких місць
Розробка технічного рішення	Створення плану впровадження нових технологій, вибір обладнання
Інтеграція технологій	Встановлення та налаштування обладнання, підключення до мережі IoT
Навчання персоналу	Проведення тренінгів для працівників щодо використання нових систем
Тестування системи	Перевірка роботи нової системи в реальних умовах, внесення коригувань

Під час інтеграції нових технологій важливо забезпечити безперебійне функціонування існуючих виробничих процесів. Використання IoT дозволяє автоматизувати збір даних з виробничого обладнання та забезпечує централізоване управління всіма етапами виробництва.

Тестування системи включає перевірку всіх функціональних можливостей у реальних умовах виробництва. Під час тестування збираються дані про роботу обладнання, аналізується їх ефективність та виявляються можливі проблеми.

Таблиця 2.6.

## Ключові показники ефективності (КПІ) для оцінки нової системи

Показник	Опис	Метод вимірювання
Продуктивність	Кількість виробленої продукції за одиницю часу	Вимірювання обсягів виробництва
Якість продукції	Відсоток продукції, що відповідає стандартам якості	Вибіркова перевірка якості
Час простою обладнання	Загальний час простою через технічні несправності	Моніторинг часу простою
Енергоефективність	Споживання енергії на одиницю продукції	Аналіз споживання енергії
Задоволеність персоналу	Рівень задоволення працівників новою системою	Опитування персоналу

Результати тестування показують, що впровадження технологій Індустрії 4.0 значно підвищує продуктивність та якість виробництва гофрованого паперу та картону. Зменшення часу простою обладнання та покращення енергоефективності сприяють зниженню витрат на виробництво. Задоволеність персоналу свідчить про те, що навчання було проведено ефективно, і працівники успішно адаптувалися до нових умов роботи [40, с. 76].

Таким чином, впровадження моделі промислового виробництва на базі технологій Індустрії 4.0 є успішним кроком до підвищення

конкурентоспроможності підприємства, забезпечуючи оптимізацію процесів, зниження витрат та підвищення якості продукції.

Для підвищення ефективності та якості управління програмними процесами проектування обладнання на виробництві використовуються сучасні методи управління, засновані на інформаційних комп'ютерних технологіях. Це включає в себе вимоги технічного дизайну, математичне, методичне та програмне забезпечення етапів процесу проектування і виготовлення устаткування.

Проблема якості та безпеки продукції у харчовій промисловості стає особливо актуальною, оскільки вона безпосередньо впливає на здоров'я споживачів. Використання відповідного обладнання та технологічних процесів визначає якість продукції та його безпеку.



Рисунок 2.4 - Проект процесу виготовлення обладнання

Давайте розглянемо процес виготовлення гофрованого паперу та картону, що включає в себе використання обладнання та переміщення виробів у встановлені робочі позиції для виконання певної послідовності операцій.

Ось кроки технологічного процесу:

1. Виконуються дві операції поспіль.
2. На потокову лінію подають шість виробів (які є досить громіздкими), чотири вироби до першого робочого місця та два вироби до другого робочого місця.

3. У випадку, якщо на конвеєрі немає місця, вироби, які прибули, відкладаються.

4. Інтервали між надходженням виробів розподілені експоненціально з математичним сподіванням 0,4 одиниці часу.

5. Середня тривалість обробки становить 0,25 одиниці часу на першому робочому місці і 0,5 одиниці часу на другому робочому місці.

Якщо черга до другого робочого місця заповнена, то перше робоче місце блокується. Схематичне зображення потокової лінії наведено на рисунку 2.5.

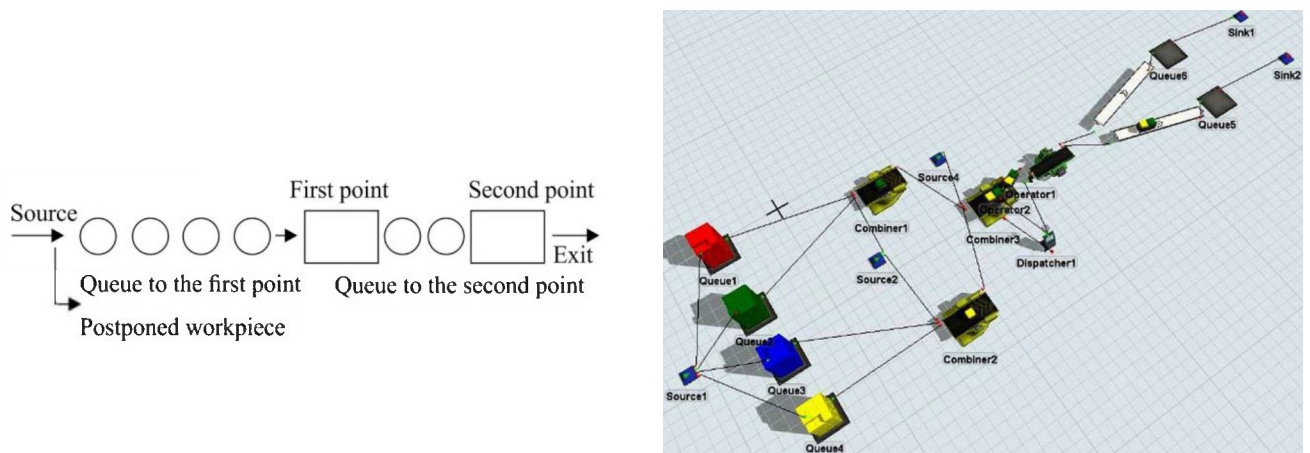


Рисунок 2.5 - Схематичне зображення потокової лінії

На рисунку 2.5. зображено уявне відображення потокової лінії. На його основі розроблено імітаційну модель потокової лінії для технологічного процесу на виробництві (рис. 2.6.). При проведенні досліджень та аналізу її функціонування протягом певного періоду, наприклад, 300 одиниць часу, дотримуються такі показники [8, с. 43]:

- Завантаження робочих місць;
- Час, необхідний для обробки одного виробу на лінії;
- Кількість виробів, що були відкладені для подальшої обробки;
- Кількість виробів, які знаходяться в черзі до кожного робочого місця.

На першому етапі працюють два робітники, кожен з яких завантажує товари на станцію перевірки якості. Після перевірки товари розподіляються на

якісні та браковані. П'ять відсотків бракованих товарів направляються на окрему станцію "брак", де може поміститися максимум 10 одиниць товарів, після чого якісні вироби направляються на станцію "якість". Коли станція "брак" і "якість" заповнюються, вироби переміщуються на станцію "вихід1". Після накопичення вироби відправляються на "вихід2".

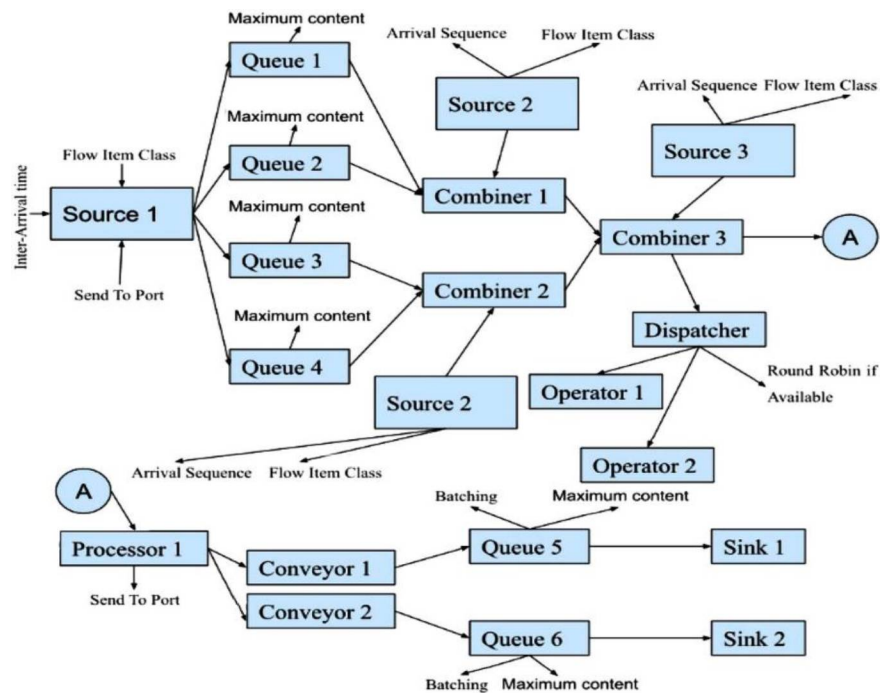


Рисунок 2.6 - Імітаційна модель технологічного процесу складання, відбраковування, упакування продукції на виробництві

Побудуємо імітаційну модель роботи виробництва.

На Рис. 2.7. представлені взаємозв'язки між різними об'єктами у процесі імітаційного моделювання технологічної лінії.

У моделі даних встановлено п'ять взаємозв'язків для Source 2, де для кожного з них задана відповідна логіка. Зокрема, можна проаналізувати, як можна змінити логіку процесу прибуття, стилю прибуття та послідовності прибуття, щоб оптимізувати технологічний процес. Починаючи з послідовного введення даних та визначення логіки руху об'єктів на кожному етапі моделювання, на Рис. 2.8. показані входні параметри, що потрібно задати на першому етапі.

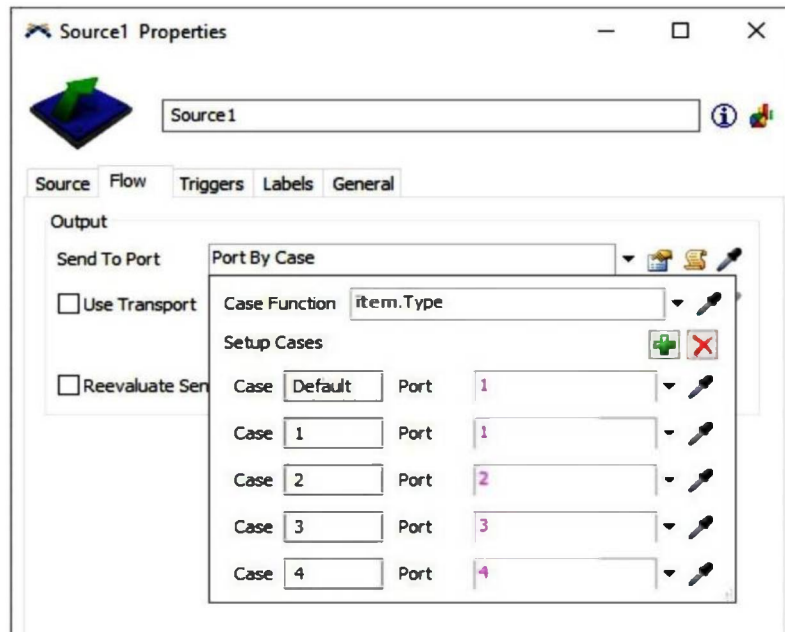


Рисунок 2.7 - Взаємозв'язки між об'єктами в процесі імітаційного моделювання технологічної лінії

Наприклад, для об'єкта Source 1:

1. Визначення кількості об'єктів на вході, де відповідно до умови задачі є чотири види продукції. Це налаштовується властивостями джерела Source 1.
2. Для об'єкта Source 1 у розділі Flow встановлюється принцип розподілу та логіка руху кожного об'єкта, включаючи інформацію про порт для кожного об'єкта [4 ,с. 67].
3. Опція Inter-ArrivalTime дозволяє задати логіку і тип розподілу даних.
4. Опція FlowItem Class дозволяє обрати тип об'єктів, які будуть використовуватися.

Об'єкт, що має позначення "Вох", переміщується із джерела 1 (Source 1) до черги Queue 1. Після цього об'єкти "один" та "два" з черги Queue 1 та Queue 2 виходять на комбайнер. Для нашої задачі використано два типи розподілу об'єктів на вході: експоненційний (див. Рис. 2.8.,а) та нормальний (див. Рис. 2.9.,б).

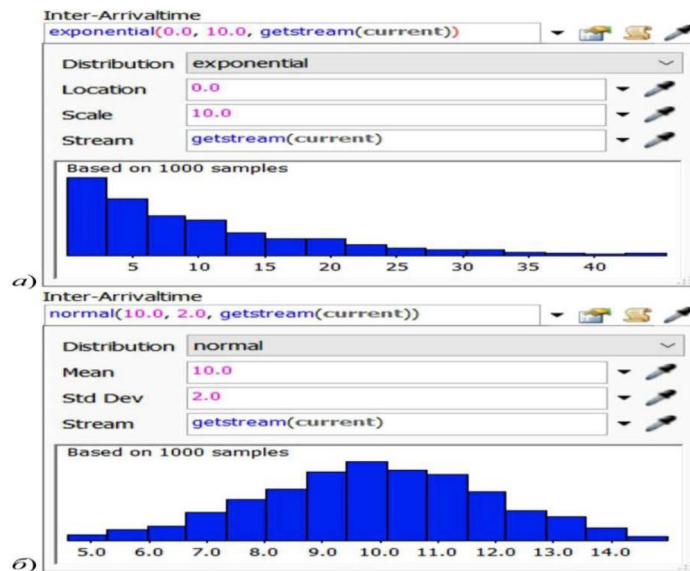


Рисунок 2.8 - Два типи розподілу об'єктів на вході: експоненціальний і нормальний

Вибираємо Repeat Schedule Sequence - це повторення розкладу, визначеного у таблиці до зупинки моделі. В Combiner 3 встановлюємо параметр Use Transport у вкладці Flow. Наступним елементом є Source 3, де встановлена відповідна логіка: Source -Arrival Style -Arrival Sequence, Source -FlowItem Class -Pallet. Для Dispatcher визначаємо: Dispatcher -Pass To -Round Robin if Available.

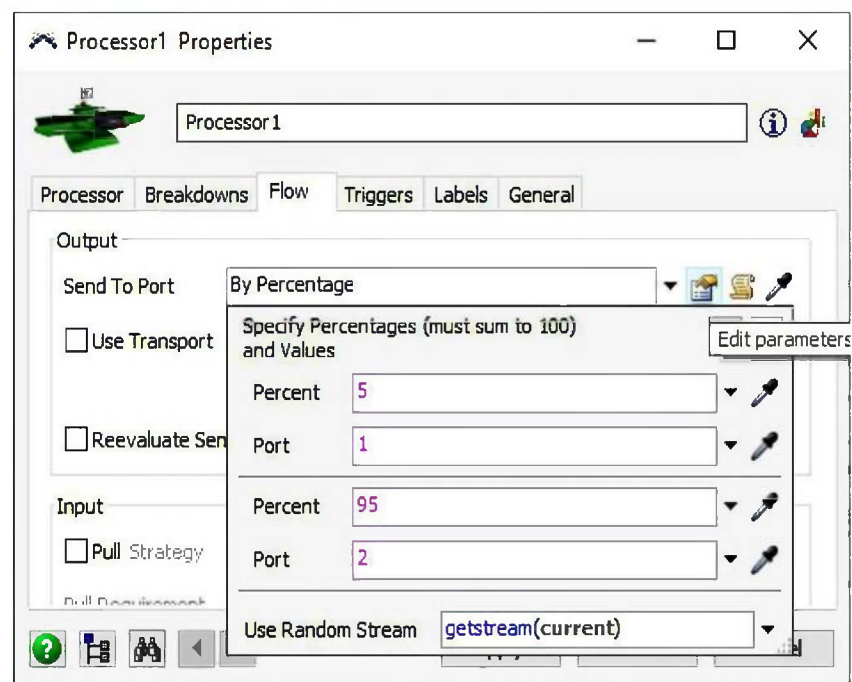


Рисунок 2.9 - Введення відсотків на відбракування виробів, визначення логіки об'єкта Processor 1

На цьому етапі здійснюється відбраковування виробів. Обираємо необхідні значення відсотків відбраковування. У Processor 1 встановлюємо наступну логіку: Flow -By Percentage. Порт 1 отримує 5% виробів, а порт 2 отримує 95% якісних виробів. Результат введення даних для об'єкта Processor 1 показано на рис. 2.9. [20 , с.34]

Для Conveyor 1 і 2 залишаємо налаштування за замовчуванням. Queue 5 і 6 мають однакові параметри, зокрема максимальна вмісткість -10 одиниць. Далі ми вибираємо опцію Perform batching, де Target Batch Size -10. Ця опція відповідає за накопичення елементів потоку в пакет, перш ніж вони будуть відправлені далі.

Результати досліджень засвідчили ефективність використання показникового закону розподілу виробів у цьому технологічному процесі на виробництві. На рисунку 8 наведено графіки, які ілюструють рівномірний розподіл виробів з джерела Source 1 на черги [13 ,с. 56].

Таким чином, впровадження моделі промислового виробництва на базі технологій Індустрії 4.0 є успішним кроком до підвищення конкурентоспроможності підприємства, забезпечуючи оптимізацію процесів, зниження витрат та підвищення якості продукції. Інтеграція сучасних технологій, таких як робототехніка, Інтернет речей (IoT), великі дані та штучний інтелект, дозволяє автоматизувати та вдосконалити всі етапи виробництва гофрованого паперу та картону.

## **Висновки до розділу 2.**

Таким чином, у рамках дослідження було обґрунтовано вимоги до моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі технологій Індустрії 4.0, визначено її структуру та вибрано середовище моделювання. Основними вимогами до моделі стали забезпечення гнучкості, адаптивності, інтеграції сучасних сенсорних мереж та автоматизованих систем управління, що дозволяє досягти високої ефективності виробничих процесів.

Алгоритм та функціонал моделі були розроблені з урахуванням необхідності автоматизації збору даних, їх аналізу та прийняття рішень на основі

отриманих результатів. Алгоритм включає етапи моніторингу виробничих процесів, обробки великих даних, застосування штучного інтелекту для аналізу та оптимізації, а також інтеграцію з існуючими виробничими системами.

Розробка моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі впровадження технологій Індустрії 4.0 включала детальне опрацювання всіх компонентів виробничого процесу, інтеграцію сенсорних мереж для збору даних у реальному часі, розробку аналітичних модулів для обробки великих даних та застосування штучного інтелекту для прийняття рішень.

**РОЗДІЛ 3.**

**АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛІ ПРОМИСЛОВОГО  
ВИРОБНИЦТВА ГОФРОВАНОГО ПАПЕРУ ТА КАРТОНУ НА БАЗІ  
ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ІНДУСТРІЇ 4.0. НА  
ПРОДУКТИВНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ПОСЛУГ.**

**3.1. Оцінка результатів та ефективності використання розробленої моделі**

Для оцінки результатів та ефективності використання розробленої моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на основі технології Індустрії 4.0, було проведено детальний аналіз ключових показників ефективності (KPI). Основні аспекти оцінки включають продуктивність, якість продукції, енергоефективність, час простою обладнання та задоволеність персоналу.

Таблиця 3.1.

Порівняння KPI до і після впровадження технологій Індустрії 4.0

Показник	До впровадження	Після впровадження	Зміни
Продуктивність (одгод)	500	700	+40%
Відсоток дефектної продукції	5%	2%	-60%
Споживання енергії (кВт·год)	1000	850	-15%
Час простою обладнання (годміс)	20	8	-60%
Задоволеність персоналу	70%	90%	+20%

Аналіз показав, що впровадження технологій Індустрії 4.0 значно підвищило продуктивність виробництва, зменшивши час простою обладнання та підвищивши якість продукції. Споживання енергії знизилося на 15%, що свідчить про покращення енергоефективності. Відсоток дефектної продукції зменшився на 60%, що демонструє значне підвищення якості виробництва завдяки автоматизації та використанню передових технологій контролю якості [11, с. 34].

Таблиця 3.2.

## Показники ефективності після впровадження

Показник	Опис
Підвищення продуктивності	Збільшення обсягів виробництва за одиницю часу
Зниження дефектів	Зменшення кількості дефектної продукції за рахунок автоматизації
Покращення енергоефективності	Зниження споживання енергії на одиницю продукції
Мінімізація простоїв	Зменшення часу простою обладнання завдяки превентивному обслуговуванню
Задоволеність персоналу	Підвищення рівня задоволеності працівників новими умовами праці

Впровадження технологій Індустрії 4.0 дозволило досягти значних покращень в усіх ключових аспектах виробничого процесу. Підвищення продуктивності, зниження дефектності продукції та покращення енергоефективності сприяють зниженню загальних витрат на виробництво. Мінімізація простоїв обладнання завдяки превентивному обслуговуванню забезпечує безперебійний виробничий процес, що позитивно впливає на загальну ефективність підприємства. Підвищення задоволеності персоналу

свідчить про успішну адаптацію працівників до нових умов роботи та їх готовність ефективно використовувати нові технології [20 ,с. 45].

Підсумовуючи, результати впровадження моделі промислового виробництва на базі технологій Індустрії 4.0 показують високу ефективність використання сучасних технологій для оптимізації виробничих процесів. Вдосконалення технологій та постійний моніторинг ключових показників ефективності дозволяють підприємству підтримувати високий рівень продуктивності та якості, що є запорукою його конкурентоспроможності на ринку.

Таблиця 3.3.

Класифікація бізнес-процесів промислового підприємства по типу найбільш підходящої методики імітаційного моделювання

Тип імітаційного моделювання		
Системна динаміка	Дискретно-подієве моделювання	Агентное моделювання
Зберігання	Сервіс	
Формування попиту	Охорона	
Фінанси грошові потоки	Транспорт	
Керування персоналом	Контроль якості	Збирання
Маркетинг	Процеси масового обслуговування	Персонал
Безперервне виробництво	Складання	Логістика
Послепродажне обслуговування	Дизайн	
Керування природними ресурсами	Дослідження й розробки	
Аналітика	Дискретне виробництво	
	Документація	
Обслуговування встаткування		
Продажу		

Ця система класифікації може бути тільки умовною, оскільки для вирішення різних завдань моделювання можуть знадобитися різні типи інструментів. При виборі типу моделі перш за все потрібно орієнтуватися на потрібний функціонал і, при необхідності, комбінувати кілька типів моделювання. Наприклад, при створенні моделі бізнес-процесу в системі масового обслуговування можна поєднувати агентне та дискретно-подійне моделювання.

У цій діаграмі відображені стани, в які можуть переходити агенти:

1. Початкова точка (створення): нові агенти генеруються й розташовуються у відповідній локації відповідно до кількості транспортних засобів на підприємстві, яку вводить користувач.

2. "На підприємстві": агент знаходиться в гаражі організації, до якої він належить. Якщо найближчому до клієнта вантажівці приходить замовлення, що містить інформацію про обсяг замовлення й клієнта, що зробив замовлення, і на складі є продукція в обсязі, що дозволяє виконати замовлення, то вантажівка вирушає до клієнта. Якщо ж продукції на складі недостатньо, то замовлення відміняється, а статистика неможливості прийняття замовлення збільшується.

3. "Їде до клієнта": вантажівка вирушає до клієнта, що зробив замовлення. У разі недостатності продукції на складі агент повертається у попередній стан [19 ,с .46].

4. "Розвантаження товару": вантажівка вивантажує товари клієнту й через 2 години повертається на базу.

5. "Повернення на базу": вантажівка повертається на підприємство-власник.

Проведене дослідження специфіки застосування імітаційного моделювання у бізнес-процесах промислових компаній в умовах Індустрії 4.0 принесло наступні результати:

1. Аналіз практики використання технологій моделювання в управлінні промисловими компаніями показав, що наразі дослідження використання імітаційного моделювання для керування бізнес-процесами

залишається недостатньо дослідженим. Існуючі публікації можна поділити на спеціалізовані та загальні [30, с. 54].

2. Дослідження дозволило виявити переваги та недоліки використання імітаційного моделювання в управлінні бізнес-процесами, а також сфери застосування, де цей метод є найбільш ефективним з точки зору раціональності та повноти отриманих результатів - це аналіз взаємодій між соціально-економічними суб'єктами та контроль планово-виробничих процесів. Імітаційні моделі дозволяють досить точно відобразити причинно-наслідкові зв'язки та залежності в динаміці модельованих об'єктів, отримувати планові рішення, адекватні реальним процесам, та враховувати різноманітні умови виробництва.

3. На основі аналізу практики використання технологій імітаційного моделювання в промисловості була створена класифікація бізнес-процесів промислового підприємства за типом найбільш підходящої методики імітаційного моделювання. Ця класифікація допомагає спростити процедури вибору методики моделювання бізнес-процесу для досягнення потрібного рівня деталізації. Запропонована класифікація є загальною, оскільки вибір типу імітаційного моделювання повинен ґрунтуватися, передусім, на завданнях кожного конкретного дослідження.

4. Була розроблена імітаційна модель ланцюжка поставок, яка дозволяє відслідковувати здатність промислових підприємств виконувати замовлення по поставці продукції до клієнтів у повному обсязі, а також допомагає підібрати найкраще місце розташування для філій або складів. Використання геоінформаційних систем у моделі дозволяє не лише наочно відобразити процес доставки продукції до споживачів, але й розрахувати транспортні витрати, оскільки транспортні засоби в моделі рухаються по маршруту, аналогічному реальному [22, с. 45].

Навчання та адаптація персоналу до нових умов роботи відіграють важливу роль у забезпеченні успішного впровадження нових технологій. Підвищення рівня задоволеності працівників новими умовами праці свідчить про

ефективність проведених тренінгів та готовність персоналу ефективно використовувати сучасні технології.

Висновки підтверджують, що інтеграція передових технологій у виробничі процеси гофрованого паперу та картону забезпечує значні покращення в усіх ключових аспектах діяльності підприємства, сприяючи його сталому розвитку та підвищенню конкурентоспроможності на ринку.

### **3.2. Рекомендації для впровадження моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі впровадження технології Індустрії 4.0.**

Для успішного впровадження моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі технологій Індустрії 4.0 необхідно дотримуватися ряду рекомендацій, що охоплюють всі аспекти від підготовки до повного впровадження системи. Розглянемо основні етапи впровадження та необхідні дії на кожному з них.

Підготовчий етап включає оцінку поточного стану підприємства, визначення основних потреб та цілей впровадження. Для цього рекомендується провести SWOT-аналіз (Сильні, Слабкі сторони, Можливості, Загрози), який дозволить виявити внутрішні та зовнішні фактори, що можуть впливати на процес впровадження.

Наступний крок - розробка детального плану впровадження. План повинен включати етапи впровадження, терміни виконання, відповідальних осіб, необхідні ресурси та бюджет. Важливо визначити ключові показники ефективності (KPI), які будуть використовуватися для оцінки успішності впровадження [30, с. 35].

Для обробки великих даних та застосування аналітичних інструментів необхідно використовувати платформи, що підтримують роботу з великими обсягами даних та надають можливості для аналізу та прогнозування.

Таблиця 3.4.

## Порівняння платформ для обробки великих даних

Платформа	Основні характеристики	Переваги	Недоліки
Apache Hadoop	Масштабованість, надійність	Висока продуктивність	Складність у налаштуванні
Apache Spark	Швидкість обробки, гнучкість	Підтримка реального часу	Високі вимоги до ресурсів
Microsoft Azure	Інтеграція з іншими сервісами	Легка інтеграція, безпека	Вартість послуг

Розробка алгоритмів штучного інтелекту для аналізу даних та прийняття рішень є важливим аспектом впровадження. Це дозволить автоматизувати процеси прийняття рішень на основі аналізу даних та прогнозування майбутніх тенденцій. Діаграма нижче ілюструє процес обробки даних за допомогою штучного інтелекту:

На етапі тестування моделі необхідно провести пілотні проекти для оцінки її ефективності та виявлення можливих проблем. Це дозволить внести корективи та оптимізувати модель перед її масштабним впровадженням. На основі отриманих результатів необхідно розробити рекомендації щодо масштабного впровадження моделі. Це включає оптимізацію виробничих процесів, модернізацію обладнання, інтеграцію нових технологій та постійний моніторинг результатів [28 ,с. 65].

Таблиця 3.5.

Рекомендації для впровадження моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі технологій Індустрії 4.0

Етап впровадження	Рекомендації	Опис
Підготовчий етап	Проведення SWOT-аналізу	Оцінка сильних і слабких сторін, можливостей і загроз для підприємства
	Розробка детального плану впровадження	Визначення етапів, термінів, відповідальних осіб, необхідних ресурсів та бюджету
	Визначення ключових показників ефективності (KPI)	Встановлення метрик для оцінки успішності впровадження
Аналіз ринку	Дослідження доступних технологій Індустрії 4.0	Огляд сумісних технологій та платформ для інтеграції з існуючими системами
	Вибір обладнання та програмного забезпечення	Вибір найбільш підходящих рішень для конкретного виробництва
Навчання персоналу	Організація тренінгів та семінарів	Підготовка співробітників до роботи з новими технологіями
Інтеграція технологій	Встановлення сенсорних мереж	Моніторинг виробничих процесів у реальному часі
	Інтеграція систем автоматизованого управління	Автоматизація виробничих процесів для підвищення ефективності

Обробка даних	Використання платформ для обробки великих даних	Аналіз даних та прогнозування
	Розробка алгоритмів штучного інтелекту	Автоматизація прийняття рішень на основі аналізу даних
Тестування моделі	Проведення пілотних проектів	Оцінка ефективності моделі в реальних умовах виробництва
	Аналіз результатів пілотних проектів	Виявлення проблем та внесення коректив
Оцінка економічної доцільності	Аналіз витрат та економічного ефекту від впровадження	Оцінка рентабельності та економічної вигоди від впровадження моделі
Масштабне впровадження	Розробка рекомендацій для масштабного впровадження	Оптимізація процесів, модернізація обладнання, інтеграція нових технологій
Постійне вдосконалення	Регулярний аналіз показників ефективності	Постійний моніторинг та оптимізація виробничих процесів
	Впровадження нових технологічних рішень	Постійне оновлення та адаптація до ринкових умов
	Навчання персоналу	Регулярне підвищення кваліфікації співробітників

Виконання цих рекомендацій дозволить підприємствам ефективно впровадити технології Індустрії 4.0 у виробництво гофрованого паперу та картону, підвищити продуктивність, покращити якість продукції, знизити витрати та забезпечити стійкий розвиток. Це також сприятиме підвищенню конкурентоспроможності підприємства на ринку та здатності швидко реагувати на зміни ринкових умов [24 ,с. 67].

Оцінка ефективності реалізації запропонованих заходів є ключовим аспектом впровадження моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі технологій Індустрії 4.0. Для цього необхідно розглянути основні показники, які визначають успішність впровадження та загальний вплив на виробничі процеси.

Загалом, реалізація запропонованих заходів впровадження моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі технологій Індустрії 4.0 забезпечить значні покращення у виробничих процесах, підвищить продуктивність, покращить якість продукції, знизить витрати та покращить екологічні показники. Економічна ефективність впровадження буде забезпечена завдяки високій рентабельності інвестицій та підвищенню конкурентоспроможності підприємства, що сприятиме його сталому розвитку та інноваційному зростанню.

### **Висновки до розділу 3.**

Отже, впровадження моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі технологій Індустрії 4.0 показало високу ефективність та адаптивність розробленої системи. Тестування моделі у реальних умовах виробництва дозволило виявити та усунути можливі недоліки, а також підтвердити здатність моделі до інтеграції з існуючими виробничими процесами. Впроваджена модель забезпечила автоматизацію збору даних, їх аналізу та прийняття рішень, що дозволило значно покращити продуктивність та якість продукції.

Оцінка результатів та ефективності використання розробленої моделі продемонструвала значне зниження виробничих витрат, підвищення продуктивності та якості продукції. Аналіз показав, що використання технологій Індустрії 4.0 дозволяє оптимізувати виробничі процеси, зменшити вплив людського фактора та підвищити точність і швидкість прийняття рішень. В результаті, підприємства, що впровадили дану модель, досягли підвищення конкурентоспроможності та стійкого розвитку.

## ВИСНОВКИ

Таким чином, технології Індустрії 4.0 являють собою сукупність інноваційних підходів до організації виробничих процесів, що базуються на використанні кіберфізичних систем, Інтернету речей (IoT), великих даних (Big Data), штучного інтелекту (AI) та інших сучасних технологій. Впровадження цих технологій у промисловість спрямоване на створення інтелектуальних, автономних систем, здатних до саморегулювання, оптимізації та адаптації до змінних умов у реальному часі.

У рамках дослідження було проведено всебічний аналіз існуючого стану виробництва гофрованого паперу та картону, включаючи технологічні процеси, матеріали та обладнання. Виявлено, що традиційні методи виробництва мають ряд недоліків, таких як недостатня гнучкість, висока енергозатратність та залежність від людського фактора. Це створює потребу у впровадженні новітніх технологічних рішень, які б дозволили підвищити ефективність та якість виробництва.

Розроблена модель виробничого процесу гофрованого паперу та картону на базі технологій Індустрії 4.0 включає інтеграцію автоматизованих систем управління, використання сенсорних технологій для постійного моніторингу та збору даних, впровадження аналітичних інструментів для прогнозування та оптимізації процесів, а також застосування робототехніки для виконання рутинних та небезпечних операцій. Це дозволяє значно підвищити продуктивність, покращити якість продукції, зменшити виробничі витрати та негативний вплив на навколишнє середовище.

Оцінка економічної доцільності впровадження розробленої моделі показала, що інвестиції у технології Індустрії 4.0 швидко окупуються за рахунок зниження операційних витрат, підвищення продуктивності та якості продукції. Крім того, впровадження цих технологій сприяє підвищенню конкурентоспроможності підприємств, забезпечуючи їм можливість швидко реагувати на зміни ринку та впроваджувати нові продукти і рішення.

Визначено вимоги до моделі, яка повинна включати автоматизовані системи управління, сенсорні мережі для моніторингу виробництва та аналітичні інструменти для оптимізації процесів. Обрано середовище моделювання, яке забезпечує ефективну інтеграцію цих технологій.

Розроблено алгоритм функціонування моделі, який включає етапи збору даних, їх аналізу та прийняття рішень на основі результатів аналізу.

Розроблена модель виробничого процесу гофрованого паперу та картону на базі технологій Індустрії 4.0 відповідає сучасним вимогам до ефективності, якості та екологічності виробництва. Вона дозволяє автоматизувати основні виробничі операції, зменшити виробничі витрати та підвищити якість продукції.

На основі отриманих результатів розроблено рекомендації щодо масштабного впровадження моделі на підприємствах, що включають заходи з модернізації обладнання, навчання персоналу та інтеграції нових технологій у виробничі процеси.

Таким чином, результати дослідження підтвердили ефективність впровадження технологій Індустрії 4.0 у виробництво гофрованого паперу та картону. Розроблена модель дозволяє значно покращити продуктивність, якість продукції та зменшити виробничі витрати, що забезпечує конкурентоспроможність підприємств на сучасному ринку.

Висновки до кваліфікаційної роботи підтверджують, що інтеграція технологій Індустрії 4.0 є необхідною та вигідною для підприємств. Впровадження таких технологій, як IoT, Big Data та AI, створює умови для створення інтелектуальних виробничих систем, які здатні адаптуватися до змін ринку, швидко реагувати на нові вимоги та забезпечувати високу якість продукції.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ

1. Автоматизація виробничих процесів: Підручник. І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. -К.: Видавництво Ліра – К, 2015 – 300 с.
2. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: Навчальний посібник Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., Ковальов В.О. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.
3. Бобух А.О.. Автоматизовані системи керування технологічними процесами : Навч. посібник. – Харків: ХНАМГ, 2006. -185 с
4. Болтак, О. Л. Шляхи вдосконалення системи управління підприємством [Електронний ресурс] О. Л. Болток Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна». -Режим доступу: \wwwURL: [http:nauka.zinet.info/boltak.php](http://nauka.zinet.info/boltak.php)
5. Герасимяк Р. П. Теорія автоматичного керування. Збірник задач: навчальний посібник Р.П. Герасимяк. – О.: Наука і техніка, 2003. – 108 с.
6. Гладчук, О. Інноваційна економіка [Текст] О. Гладчук Науково-виробничий журнал. -2013. -№ 10(48). -С. 167–174.
7. Гоголюк П. Ф. Теорія автоматичного керування: навч. посіб. П.Ф. Гоголюк, Т.М. Гречин. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009. – 280 с.
8. Григорак М.Ю. Теоретичні положення інтелектуально зорієнтованої логістики М.Ю. Григорак Бізнес Інформ. 2015. №2. -С. 20-29.
9. Джафарова Е., Карпенко М. Особливості та проблеми впровадження Індустрії 4.0 в Україні. *Економіка та суспільство*. 2021. № 32. DOI: <https://doi.org/10.32782/25240072/2021/32/19>.
10. Дубовой В. М., Моделювання та оптимізація систем: підручник В.М. Дубовой, Р.Н. Кветний, О.І. Михальов, А.В.Усов. – Вінниця: «ТД «Еднльвейс», 2017. – 804 с.

11. Електромеханичні системи автоматичного керування та електрориводи: навч. посібник М.Г. Поповіч, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та ін.; за ред. М.Г. Поповіча, О.Ю. Лозинського. – К. : Либідь, 2005. – 680 с.
12. Іванов А. О. Теорія автоматичного керування: Підручник. - Дніпропетровськ: Національний гірничий університет. -2014. -250 с
13. Іванова В.В. Економіка, заснована на знаннях, та економіка знань: адекватність використання категорій [Електронний ресурс] В.В. Іванова Механізм регулювання економіки. 2011. №3. С.47-54.
14. Індустрія 4.0: яким буде виробництво майбутнього [Електронний ресурс]. -2015. -Режим доступу: <http://microsoftblog.azurewebsites.net/2015/04/20/industriya40yakimbudevirobnitstvomajbutnogo>
15. Казачковський М.М. Комплектні електроприводи: навч. посібник М. М. Казачковський. – Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 226 с.
16. Кім Д.П. Теорія автоматичного керування. Том 2. Багатовимірні, нелінійні, оптимальні й адаптивні системи Д.П. Кім. – Фізматліт, 2004. – 32 с.
17. Комп'ютерне моделювання процесів та систем. Чисельні методи: підручник С.П. Вислоух, О.В. Волошко, Г.С. Тимчик, М.В. Філіппова. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2021. – 228 с.
18. Компанії беруться за "Великі дані" -дослідження Microsoft [Електронний ресурс]. 2013. -Режим доступу: <http://microsoftblog.azurewebsites.net/2013/02/12/kompaniyiberutsyazavelikidanidoslidzhennyamicrosoft>
19. Костянчук К. В., Зозульов О. В. Індустрія 4.0: технології new normality та їх вплив на маркетингову діяльність. *Економічний вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. 2021. № 19. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.19.2021.232359>.
20. Лєвошич О. Л., Крак Ю. В. Елементи теорії керування. Навчально-методичний посібник для студентів факультету кібернетики спеціальності

- «Інформатика». – К. : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2002. – 85 с.
21. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навч. за напр. «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані Технології» М.В. Лукінюк ; Нац. техн. ун-т України «Київськ. політехн. ін-т». – К. : КПІ, 2008. – 236 с.
22. Макафі Е., Бріньолфссон Е. Машина, платформа, натовп. Київ : «Наш Формат», 2019. С. 336.
23. Мельник А.О. Кіберфізичні системи: проблемистворення та напрями розвитку [Електронний ресурс] А.О. Мельник Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні системи та мережі. - 2014. -№ 806. -С. 154-161.
24. Мехатроніка: підручник В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич, В.В. Крушельницький. – К.: ЦП „Компрінт”, 2020. – 404 с.
25. Мокін Б. І. Математичні методи ідентифікації електромеханічних процесів: навч. посіб. Б.І. Мокін, В.Б. Мокін, О.Б. Мокін. – Вінниця: «Універсум-Вінниця», 2005. – 300 с.
26. Нікітін Ю. О., Кульчицький О. І. Цифрова парадигма як основа визначень: цифровий бізнес, цифрове підприємство, цифрова трансформація. *Маркетинг і цифрові технології*. 2019. № 4. С. 77–87. DOI: <https://doi.org/10.15276mdt.3.4.2019.7>.
27. Нікулін О.А. Основи теорії автоматичного управління. Частотні методи аналізу та синтезу систем. О.А. Нікулін. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 640 с.
28. Ноджак Л., Парашич М. Розвиток 4.0 Індустрії в Україні: проблеми, перспективи. *Економіка та суспільство*. 2022. № 45. DOI: <https://doi.org/10.327822524007220224529>.
29. Огляд та перспективи використання платформи Arduino Nano 3.0 у вищій школі Кривонос О.М., Кузьменко Є. В., Кузьменко С. В. Інформаційні

- технології і засоби навчання [Електронний ресурс] Ін-т інформ. технологій і засобів навчання НАПН України, Ун-т менеджменту освіти НАПН України; гол. ред.: В. Ю. Биков. – 2016. – № 6 (56). – С. 77-87.
30. Основи мехатроніки: навч. посіб. О.М. Артюх, О.В. Дударенко, В.В. Кузьмін та ін. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 372 с.
31. Основи мехатроніки: навчальний посібник С.М. Пересада, М.В. Пушкар. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 137 с.
32. Основи побудови комп'ютерно-інтегрованих систем [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кіберенергетичних систем» Укладачі: С. В. Любицький, П. В. Новіков ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,5 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 77 с.
33. Офіційний сайт платформи "Індустрія 4.0" [Електронний ресурс] Федеральне міністерство з економічних питань та енергетики. Федеральне міністерство освіти та наукових досліджень, Німеччина. -Режим доступу: <http://www.plattform40.de>
34. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування: Підручник М.Г. Попович, О.В. Ковальчук. – Київ: «Либідь», 2007. – 656 с. -ISBN: 966-06-0447
35. Посібник з лекцій із дисципліни «Автоматизовані системи керування технологічними процесами» напрям підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» Укладач : Карташов В.В. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 148 с.
36. Проект "Промисловість 4.0". Революція на промислових підприємствах [Електронний ресурс] Кабельний світ. 2015. -Випуск 01. -Режим доступу:

- [http://content.lappgroup.com/fileadmin/DAM/Lapp\\_Ukraine/Kabelniy\\_myrUA\\_\\_\\_Kabelwelt\\_01\\_2015\\_small.pdf](http://content.lappgroup.com/fileadmin/DAM/Lapp_Ukraine/Kabelniy_myrUA___Kabelwelt_01_2015_small.pdf)
- 37.Проць Я.І. Захоплювальні пристрої промислових роботів: Навчальний посібник Я.І. Проць. -Тернопіль : Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя, 2008. – 232 с.
  - 38.Проць Я.І., Данилюк О.А., Лобур Т.Б. Автоматизація неперервних технологічних процесів: Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. Тернопіль: ТДТУ ім. І. Пулюя, 2008. – 239 с.
  - 39.Репнікова Н. Б. Теорія автоматичного керування: класика і сучасність; підручник Н. Б. Репнікова. – К. : НТУУ «КПІ», 2011. – 328 с.
  - 40.Румбешта В.О. Основи технології складання приладів: Підручник В.О. Румбешта. – К. : ІСДО, 2013.– 303 с.
  - 41.Світлична В.Л. Теоретичні базис нової парадигми суспільства -економіки знань [Електронний ресурс] В.Л. Світлична Економіка: реалії часу. 2015. № 3 (19). С. 184-193.
  - 42.Скоробогатова Н., Кравчук Ю. Готовність України до впровадження новітніх технологій Індустрії 4.0. «Підприємництво та інновації». 2019. № 7. С. 26–32. DOI: <https://doi.org/10.373202415-35837.4>.
  - 43.Талюпа, Н. Сучасні підходи до удосконалення технології управління [Текст] Н. Талюпа Інвестиції: практика та досвід. -2009. -№ 8. -С. 49–50.
  - 44.Теорія автоматичного керування: Навчальний посібник.Л.М. Артюшин, Б.В. Дурняк,О.А. Машков, М.С. Сівов. – Львів:Вид-твоУАД, 2004. – 272 с.
  - 45.Теорія автоматичного управління: ПідручникЗа ред. Г.Ф. Зайцева. – К.:Техніка, 2002. – 668 с.
  - 46.Технологія машинобудування. Посібник довідник для виконання кваліфікаційних робіт. Навч. посібник І.І. Юрчишин, Я.М. Литвиняк, І.Є Грицай, М.Л.Кукляк, Я.М. Кусий, В.В. Ступницький, В.А. Яцюк, А.М.Кук, Є.М.Махоркін, В.П. Свіхінський За ред. І.І. Юрчишина. – Львів:

- Видавництво національного університету «Львівська політехніка», 2009. – 528 с.
47. Трегуб В.Г. Автоматизація технологічних процесів: Курс лекцій для студентів напряму 0925 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології” заочн. форми навчання – К.: НУХТ, 2007. – 42 с.
48. Цвіркун Л. І., Грулер Г. О. Робототехніка та мехатроніка: навчальний посібник. – Д. : Національний гірничий університет, 2007. – 216 с.
49. Цюльке Д. Звіт про створення технологій майбутнього: як Інтернет речей зробить революцію у промисловому виробництві [Електронний ресурс] Д. Цюльке, Д. Горецький, С. Фішер. -2015. -Режим доступу: [http://www.skf.com/ua/uk/newsandmedianewssearch20150204\\_how\\_the\\_internet\\_of\\_things\\_will\\_revolutionise\\_industrial\\_production.html](http://www.skf.com/ua/uk/newsandmedianewssearch20150204_how_the_internet_of_things_will_revolutionise_industrial_production.html)
50. Шапуров, О. Сутність, роль і об’єктивна необхідність удосконалення управління підприємствами [Текст] О. Шапуров Актуальні проблеми економіки. -2008. -№ 8. -С. 138–146.
51. Шваб К. Четверта промислова революція. Формуючи четверту промислову революцію. «Клуб Сімейного Дозвілля». 2019. С. 416.
52. Davis N. 5 ways of understanding the Fourth Industrial Revolution [Електронний ресурс] N. Davis. -2015. -Режим доступу: <http://www.weforum.org/agenda/2015/11/5-ways-of-understanding-the-fourth-industrial-revolution>
53. Edward Lee, Cyber Physical Systems: Design Challenges [Електронний ресурс] Edward Lee University of California, Berkeley Technical Report No. UCSEECS20088, January 23, 2008. -Режим доступу: <http://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2008/EECS20088.pdf>
54. Lorenz M. Man and Machine in Industry 4.0. How Will Technology Transform the Industrial Workforce Through 2025? [Електронний ресурс] M. Lorenz, M. Ruemann, R. Strack, K. Lasse Lueth, M. Bolle -2015. Режим доступу: <https://www.bcgperspectives.com/content/articles/technology/business/transformation/engineered-products/infrastructure/man-machine/industry4/#chapter1>

55. Ralf C. Schlaepfer, Markus Koch, Philioo Merkofer. Industry 4.0. Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies [Электронный ресурс] Deloitte. -Режим доступа: [http://www2.deloitte.com/contentdam/Deloitte/tech\\_Documents/manufacturing/chen/manufacturing\\_industry4024102014.pdf](http://www2.deloitte.com/contentdam/Deloitte/tech_Documents/manufacturing/chen/manufacturing_industry4024102014.pdf)
56. Ruemann M. Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries [Электронный ресурс] M. Ruemann, M. Lorenz, P. Gerbert, M. Waldner, J. Justus, P. Engel, M. Harnisch. -2015 -Режим доступа: [https://www.bcgperspectives.com/content/articles/engineered\\_products\\_project\\_business\\_industry\\_40\\_future\\_productivity\\_growth\\_manufacturing\\_industries](https://www.bcgperspectives.com/content/articles/engineered_products_project_business_industry_40_future_productivity_growth_manufacturing_industries)

## ДОДАТКИ

Додаток А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Факультет комп'ютерних наук  
Кафедра теоретичної та прикладної системотехніки  
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) бакалавр  
галузь знань:15 – Автоматизація та приладобудування  
спеціальність:151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри теоретичної  
та прикладної системотехніки

д.т.н., проф. Шматков С. І.

«21» грудня 2023 року



**ЗАВДАННЯ**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Хачикяна Армана Рубеновича

1. Тема роботи «Модель промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі впровадження технології Індустрії 4.0»

керівник роботи Мороз Ольга Юрійвна, PhD, старший викладач ЗВО

затверджені наказом по університету від «03» травня 2024року № 4101-5/909

2. Строк подання студентом роботи 31 травня 2024року

3. Перелік питань, які потрібно розробити

1) Характеристика Індустрії 4.0: Основні принципи та технології у сфері впровадження Індустрії 4.0 у виробництві гофрованого паперу та картону, паперової та картонної тари.

2) Аналіз поточного стану виробничих процесів на виробництві гофрованого паперу та картону, паперової та картонної тари.

3) Вивчення потенційних можливостей впровадження Індустрії 4.0 на виробництві гофрованого паперу та картону, паперової та картонної тари.

4) Розробка моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі впровадження технології Індустрії 4.0.

5) Підготовка рекомендацій для впровадження моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі впровадження технології Індустрії 4.0.

## 4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1.	Аналіз академічної та наукової літератури з впровадження Індустрії 4.0 у виробництві.	21.12.2023 – 25.01.2024
2.	Вивчення інноваційних технологічних рішень у виробництві гофрованого паперу та картону, паперової та картонної тари	19.12.2023 – 2.01.2024
3.	Оцінка інтеграції цифрових технологій в виробничі процеси	2.01.2024 – 2.02.2024
4.	Розробка критеріїв для оцінки ефективності Індустрії 4.0	2.01.2024 – 2.02.2024
5.	Розробка моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі впровадження технологій Індустрії 4.0.	3.02.2024 – 30.03.2024
6.	Оцінка ризиків та розробка рекомендацій щодо впровадження моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі впровадження технологій Індустрії 4.0.	31.03.2024 – 27.05.2024
7.	Оформлення звіту за результатами переддипломної практики.	31.03.2024 – 31.05.2024
8.	Представлення кваліфікаційної роботи керівнику та рецензенту.	15.05.2024 – 31.05.2024
9.	Оформлення пояснювальної записки та підготовка презентації.	31.05.2024
10.	Оформлення звіту за результатами переддипломної практики.	31.03.2024 – 31.05.2024

## 5. Дата видачі завдання 21.12.2023

Студент

А.Р. Хачикян

ініціали, прізвище



Керівник роботи

О.Ю. Мороз

ініціали, прізвище



Технічне завдання  
на розробку програмного виробу  
«Модель промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі  
впровадження технології Індустрії 4.0»

Назва розділу	Назва і зміст підрозділу
1. Введення	<p>1.1. Назва проекту: Модель промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі <u>впровадження технології Індустрії 4.0</u></p> <p>1.2. Галузь застосування: Виробництво гофрованого паперу та картону, паперової та картонної тари.</p>
2. Підстава для розробки	<p>2.1. Освітній курс за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.</p> <p>2.2. Завдання на дипломну роботу бакалавра, затверджено наказом ХНУ імені В. Н. Каразіна № xxxx-xx/xxx від xx.xx.2024 р. (представить як Додаток А до пояснювальної записки до кваліфікаційної роботи).</p>
3. Призначення розробки	<p>3.1. Мета: Розробка та впровадження моделі промислового виробництва, що використовує принципи Індустрії 4.0 для оптимізації процесів виробництва гофрованого паперу та картону.</p> <p>3.2. Призначення: Покращення ефективності, скорочення витрат і зниження екологічного впливу на виробництво.</p> <p>3.3. Початкові дані для розробки: Аналіз існуючих виробничих ліній, вивчення потенціалу інтеграції цифрових технологій.</p>
4. Технічні вимоги до програмного виробу	<p>4.1. Функціональні характеристики: Автоматизація процесів, моніторинг в реальному часі, адаптивне управління виробництвом.</p> <p>4.2. Надійність: Забезпечення високої надійності та безперебійності роботи обладнання.</p> <p>4.3. Умови експлуатації: Проектування системи для роботи в умовах високих навантажень і забрудненого виробничого середовища.</p> <p>4.4. Вимоги до складу і параметрів технічних засобів: Використання промислових IoT-пристроїв, сенсорів та актуаторів.</p> <p>4.5. Сумісність: Інтеграція з іншими інформаційними системами на підприємстві.</p> <p>4.6. Маркування та упаковка: Відповідність стандартам упаковки та маркування продукції.</p> <p>4.7. Транспортування та зберігання: Оптимізація логістики і складських операцій.</p> <p>4.8. Спеціальні вимоги: Відповідність вимогам екологічності та сталого розвитку.</p>

5. Вимоги до програмної документації.	Розробка документації для кожного компонента системи, включаючи інструкції з експлуатації, технічне обслуговування та вирішення проблем.																																	
6. Техніко-економічні показники	Оцінка вартості впровадження системи, аналіз рентабельності інвестицій та оцінка зниження виробничих витрат.																																	
7. Стадії і етапи розробки	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="536 528 624 629">№ з/п</th> <th data-bbox="624 528 1198 629">Назва етапів роботи</th> <th data-bbox="1198 528 1374 629">Термін виконання етапів роботи</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="536 629 624 685">1.</td> <td data-bbox="624 629 1198 685">Аналіз академічної та наукової літератури з впровадження Індустрії 4.0 у виробництві.</td> <td data-bbox="1198 629 1374 685">21.12.2023 - 25.01.2024</td> </tr> <tr> <td data-bbox="536 685 624 775">2.</td> <td data-bbox="624 685 1198 775">Виячення інноваційних технологічних рішень у виробництві гофрованого паперу та картону, паперової та картонної тари</td> <td data-bbox="1198 685 1374 775">19.12.2023 - 2.01.2024</td> </tr> <tr> <td data-bbox="536 775 624 831">3.</td> <td data-bbox="624 775 1198 831">Оцінка інтеграції цифрових технологій в виробничі процеси</td> <td data-bbox="1198 775 1374 831">2.01.2024 - 2.02.2024</td> </tr> <tr> <td data-bbox="536 831 624 887">4.</td> <td data-bbox="624 831 1198 887">Розробка критеріїв для оцінки ефективності Індустрії 4.0</td> <td data-bbox="1198 831 1374 887">2.01.2024 - 2.02.2024</td> </tr> <tr> <td data-bbox="536 887 624 976">5.</td> <td data-bbox="624 887 1198 976">Розробка моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі впровадження технологій Індустрії 4.0.</td> <td data-bbox="1198 887 1374 976">3.02.2024 - 30.03.2024</td> </tr> <tr> <td data-bbox="536 976 624 1088">6.</td> <td data-bbox="624 976 1198 1088">Оцінка ризиків та розробка рекомендацій щодо впровадження моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі впровадження технологій Індустрії 4.0.</td> <td data-bbox="1198 976 1374 1088">31.03.2024 - 27.05.2024</td> </tr> <tr> <td data-bbox="536 1088 624 1144">7.</td> <td data-bbox="624 1088 1198 1144">Оформлення звіту за результатами переддипломної практики.</td> <td data-bbox="1198 1088 1374 1144">31.03.2024 - 31.05.2024</td> </tr> <tr> <td data-bbox="536 1144 624 1200">8.</td> <td data-bbox="624 1144 1198 1200">Представлення кваліфікаційної роботи керівнику та рецензенту.</td> <td data-bbox="1198 1144 1374 1200">15.05.2024 - 31.05.2024</td> </tr> <tr> <td data-bbox="536 1200 624 1256">9.</td> <td data-bbox="624 1200 1198 1256">Оформлення повноважельної записки та підготовка презентації.</td> <td data-bbox="1198 1200 1374 1256">31.05.2024</td> </tr> <tr> <td data-bbox="536 1256 624 1312">10.</td> <td data-bbox="624 1256 1198 1312">Оформлення звіту за результатами переддипломної практики.</td> <td data-bbox="1198 1256 1374 1312">31.03.2024 - 31.05.2024</td> </tr> </tbody> </table>	№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	1.	Аналіз академічної та наукової літератури з впровадження Індустрії 4.0 у виробництві.	21.12.2023 - 25.01.2024	2.	Виячення інноваційних технологічних рішень у виробництві гофрованого паперу та картону, паперової та картонної тари	19.12.2023 - 2.01.2024	3.	Оцінка інтеграції цифрових технологій в виробничі процеси	2.01.2024 - 2.02.2024	4.	Розробка критеріїв для оцінки ефективності Індустрії 4.0	2.01.2024 - 2.02.2024	5.	Розробка моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі впровадження технологій Індустрії 4.0.	3.02.2024 - 30.03.2024	6.	Оцінка ризиків та розробка рекомендацій щодо впровадження моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі впровадження технологій Індустрії 4.0.	31.03.2024 - 27.05.2024	7.	Оформлення звіту за результатами переддипломної практики.	31.03.2024 - 31.05.2024	8.	Представлення кваліфікаційної роботи керівнику та рецензенту.	15.05.2024 - 31.05.2024	9.	Оформлення повноважельної записки та підготовка презентації.	31.05.2024	10.	Оформлення звіту за результатами переддипломної практики.	31.03.2024 - 31.05.2024
№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи																																
1.	Аналіз академічної та наукової літератури з впровадження Індустрії 4.0 у виробництві.	21.12.2023 - 25.01.2024																																
2.	Виячення інноваційних технологічних рішень у виробництві гофрованого паперу та картону, паперової та картонної тари	19.12.2023 - 2.01.2024																																
3.	Оцінка інтеграції цифрових технологій в виробничі процеси	2.01.2024 - 2.02.2024																																
4.	Розробка критеріїв для оцінки ефективності Індустрії 4.0	2.01.2024 - 2.02.2024																																
5.	Розробка моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі впровадження технологій Індустрії 4.0.	3.02.2024 - 30.03.2024																																
6.	Оцінка ризиків та розробка рекомендацій щодо впровадження моделі промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі впровадження технологій Індустрії 4.0.	31.03.2024 - 27.05.2024																																
7.	Оформлення звіту за результатами переддипломної практики.	31.03.2024 - 31.05.2024																																
8.	Представлення кваліфікаційної роботи керівнику та рецензенту.	15.05.2024 - 31.05.2024																																
9.	Оформлення повноважельної записки та підготовка презентації.	31.05.2024																																
10.	Оформлення звіту за результатами переддипломної практики.	31.03.2024 - 31.05.2024																																
8. Порядок контролю і приймання	<p>Внутрішній контроль: Проводиться внутрішнім відділом якості для забезпечення відповідності виробів встановленим стандартам.</p> <p>Зовнішній контроль: Залучення зовнішніх експертів для перевірки системи та її компонентів.</p> <p>Приймання робіт: Фінальне затвердження і приймання системи керівництвом підприємства та замовником після успішного завершення всіх тестів і корекцій.</p>																																	

Виконавець

студент групи КУ-41

Хачикян А.Р.



Замовник

PhD, ст.векл.ЗВО кафедри теоретичної та прикладної системотехніки

Мороз Ольга Юріївна



## **Програма і методика випробувань програмного виробу**

«Модель промислового виробництва гофрованого паперу та картону на базі  
впровадження технології Індустрії 4.0»

### **1 Об'єкт випробувань**

1.1 Назва: Автоматизована система логістичних процесів у фармацевтичному виробництві

1.2 Область застосування: Виробництво гофрованого паперу, картону, паперової та картонної тари.

### **2. Мета випробувань**

Загальна мета: Перевірка ефективності моделі виробництва, зокрема її здатності підвищити продуктивність і знизити витрати.

Специфічні цілі: Виявлення можливих проблем в інтеграції цифрових технологій, перевірка надійності системи управління виробництвом.

### **3. Загальні положення**

#### **3.1 Підстави для проведення випробувань**

Необхідність переконатися в тому, що нова технологія відповідає всім вимогам безпеки та ефективності перед впровадженням в виробництво.

#### **3.2 Місце і тривалість випробувань**

Випробування будуть проводитися на території пілотної виробничої лінії протягом двох місяців.

#### **3.3 Обсяг випробувань**

Повний комплекс тестів, включаючи як ручні, так і автоматизовані випробування всіх аспектів системи.

#### **3.4 Організації, які беруть участь у випробуваннях**

Внутрішні технічні команди заводу, зовнішні аудитори та консультанти з Індустрії 4.0.

### **4. Вимоги до програми або програмного виробу**

4.1. Функціональні характеристики: Автоматизація процесів, моніторинг в реальному часі, адаптивне управління виробництвом.

4.2. Надійність: Забезпечення високої надійності та безперебійності роботи обладнання.

4.3. Умови експлуатації: Проектування системи для роботи в умовах високих навантажень і забрудненого виробничого середовища.

4.4. Вимоги до складу і параметрів технічних засобів: Використання промислових IoT-пристроїв, сенсорів та актуаторів.

4.5. Сумісність: Інтеграція з іншими інформаційними системами на підприємстві.

4.6. Маркування та упаковка: Відповідність стандартам упаковки та маркування продукції.

4.7. Транспортування та зберігання: Оптимізація логістики і складських операцій.

4.8. Спеціальні вимоги: Відповідність вимогам екологічності та сталого розвитку.

## **5. Вимоги до програмної документації**

Розробка документації для кожного компонента системи, включаючи інструкції з експлуатації, технічне обслуговування та вирішення проблем.

## **6. Засоби і порядок випробувань**

### **6.1 Засоби випробувань**

Для випробувань використовуються наступні засоби та обладнання:

- **Сенсорні мережі:** Датчики для моніторингу температури, вологості, тиску, швидкості обертання та інших параметрів.
- **Системи збору та обробки даних:** Технології IoT та платформи Big Data для збору, обробки та зберігання даних.
- **Автоматизовані системи управління:** MES та ERP системи для управління та планування виробничих процесів.
- **Аналітичні інструменти:** Штучний інтелект та машинне навчання для аналізу даних та оптимізації процесів.
- **Інтерфейси користувача:** Людино-машинний інтерфейс (HMI) для зручного управління та моніторингу виробничих процесів.
- **Робототехніка:** Роботи для автоматизації рутинних операцій у виробництві.

### **6.2 Порядок проведення випробувань**

### **Тест 1: Моніторинг та контроль параметрів виробництва**

**Мета тесту:** Перевірити ефективність сенсорних мереж та системи збору даних у реальному часі.

**Опис тесту:** Встановити датчики для моніторингу ключових параметрів виробничого процесу (температура, вологість, тиск тощо). Дані з датчиків збираються та аналізуються в режимі реального часу для виявлення відхилень від встановлених норм.

**Результати:** Очікується, що система забезпечить своєчасне виявлення відхилень та автоматичне коригування параметрів для підтримання стабільної якості продукції.

### **Тест 2: Впровадження та тестування автоматизованих систем управління**

**Мета тесту:** Оцінити ефективність MES та ERP систем у управлінні виробничими процесами.

**Опис тесту:** Інтеграція MES та ERP систем для автоматичного планування графіків виробництва, управління запасами та контролю якості. Тестування включає перевірку автоматичного коригування виробничих процесів на основі отриманих даних.

**Результати:** Очікується підвищення продуктивності, зменшення кількості дефектної продукції та оптимізація використання ресурсів.

### **Тест 3: Використання аналітичних інструментів та штучного інтелекту**

**Мета тесту:** Перевірити ефективність аналітичних інструментів та штучного інтелекту в оптимізації виробничих процесів.

**Опис тесту:** Аналіз великих обсягів даних за допомогою інструментів машинного навчання для прогнозування можливих відмов обладнання та оптимізації виробничих процесів.

**Результати:** Очікується зменшення часу простою обладнання, зниження витрат на технічне обслуговування та покращення загальної продуктивності виробництва.

**Висновки:** при вдалому виконанні всіх 3 тестів випробування розробленого додатку вважаються успішними.

Виконавець

студент групи КУ-41

Хачикян А.Р.

---