

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

Кафедра Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та  
робототехніки

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

Розроблення моделі розподілу і виконання пакетів робіт для системи  
керування комп'ютерно-інтегрованим виробничим процесом

(тема)

Виконав:

здобувач II року навчання,  
групи КІТПВМ-23-3

Щолоков І. С.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 174 Автоматизація,  
комп'ютерно-інтегровані технології та  
робототехніка

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми Освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютерно-  
інтегровані технологічні процеси і  
виробництва

(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Безкоровайний В. В.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Невлюдов І. III.

(прізвище, ініціали)

2025 р.

Я, як здобувач вищої освіти ХНУРЕ, розумію та підтримую політику закладу з академічної доброчесності. Я не надавав та не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

17.01.2025

Щолоков І.С.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 174 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Тип програми Освітньо-професійна  
(код і повна назва)  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва  
(код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

здобувачеві Щолокову Іллі Сергійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розроблення моделі розподілу і виконання пакетів робіт для системи керування комп'ютерно-інтегрованим виробничим процесом»

затверджена наказом університету від 22.11.2024 р. № 1231 Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії: 21.01.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Структура технологічного процесу. Технічне забезпечення: IBM-сумісний персональний комп'ютер. Перелік використовуваних програмних засобів: ОС Microsoft Windows 10 та вище. Похибка результатів моделювання – не більше 0,1.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі \_\_\_\_\_

4.1 Вступ.

4.2 Огляд і аналіз сучасного стану проблеми розробки моделей комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів.

4.3 Постановка мети і завдань кваліфікаційної роботи.

4.4 Вибір методу моделювання.

4.5 Розробка математичного забезпечення задачі.

4.6 Розробка програмного забезпечення та проведення експериментів.

4.7 Охорона праці.

4.8 Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій Графічний матеріал у вигляді презентації (10–15 аркушів формату А4).


6. Консультанти розділів роботи


Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання та аналіз завдання	09.09.2024	Виконано
2	Огляд проблеми моделювання комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів.	23.09.2024	Виконано
3	Постановка задачі розподілу і виконання пакетів робіт	07.10.2024	Виконано
4	Розробка Q-схеми та моделювального алгоритму	14.10.2024	Виконано
5	Побудова UML-діаграм	28.10.2024	Виконано
6	Розробка програмного забезпечення	04.11.2024	Виконано
7	Експериментальне дослідження системи	11.11.2024	Виконано
8	Підготовка публікацій	18.11.2024	Виконано
9	Подання кваліфікаційної роботи керівнику	28.12.2024	Виконано
10	Підготовка презентації	31.12.2024	Виконано
11	Подання роботи для перевірки на плагіат	09.01.2025	Виконано
12	Подання роботи на рецензування	12.01.2025	Виконано
13	Попередній захист	18.01.2025	Виконано
14	Подання роботи до екзаменаційної комісії	21.01.2025	Виконано

Дата видачі завдання 2 вересня 2024 р.

Здобувач  Щолоков І. С.  
(підпис)

Керівник роботи  проф. Безкоровайний В. В.  
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 74 с. 5 табл., 18 рис., 3 дод., 36 джерел.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ СИСТЕМИ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ, ОПТИМІЗАЦІЯ ВИКОНАННЯ ПАКЕТІВ РОБІТ, РОЗПОДІЛ РЕСУРСІВ.

Об'єкт дослідження – комп'ютерно-інтегрований виробничий процес на промисловому підприємстві.

Предмет дослідження – процеси розподілу та виконання пакетів робіт у системі керування комп'ютерно-інтегрованим виробничим процесом.

Мета дослідження – підвищення ефективності управління виробничим процесом шляхом розробки моделі розподілу і виконання пакетів робіт для оптимізації ресурсів та часу в системі керування комп'ютерно-інтегрованим виробництвом.

Методи дослідження: системний підхід, математичне моделювання, дискретно-стохастичні методи, планування експериментів, сучасні інформаційні технології. Для розробки програмного забезпечення використовувалося середовище GPSS W та інші інструменти для моделювання виробничих процесів.

Результати: було розроблено модель розподілу та виконання пакетів робіт, яка дозволяє підвищити ефективність використання ресурсів та зменшити час виконання робіт у комп'ютерно-інтегрованих системах виробництва, та запропоновано рішення для оптимізації виробничих робіт.

Результати роботи апробовані на науковій конференції [1].

Отримані результати роботи можна віднести до пункту 9.4 Цілей сталого розвитку 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура» [2].

## ABSTRACT

Master's Thesis: 75 p. 5 tables, 18 figures, 3 appendix, 36 title.

INFORMATION TECHNOLOGY, COMPUTER-INTEGRATED SYSTEMS, MATHEMATICAL MODELLING, MODELLING OF PRODUCTION PROCESSES, OPTIMISATION OF WORK PACKAGES, RESOURCE ALLOCATION.

The object of research is a computer-integrated production process at an industrial enterprise.

Subject of research - processes of distribution and execution of work packages in the computer-integrated production process control system.

The purpose of the study is to increase the efficiency of production process management by developing a model for the distribution and execution of work packages to optimize resources and time in a computer-integrated production control system.

Research methods: systematic approach, mathematical modelling, discrete-stochastic methods, experiment planning, modern information technologies. GPSS W environment and other tools for modelling production processes were used for software development.

Results: a model for the distribution and execution of work packages was developed, which allows to increase the efficiency of resource use and reduce the time of work execution in computer-integrated production systems, and solutions for optimizing production work were proposed.

The results of the qualification work were tested at a scientific conference [1].

The results of the work can be attributed to paragraph 9.4 of Sustainable Development Goal 9 “Industry, Innovation and Infrastructure” [2].

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень .....	9
Вступ.....	10
1 Огляд та аналіз сучасного стану проблеми розробки моделей комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів .....	12
1.1 Опис процесу реалізації виробничого процесу .....	12
1.2 Задачі керування виробничим процесом.....	17
1.3 Методи моделювання процесу виконання пакетів робіт.....	22
1.3.1 Методи мережевого планування (PERT та CPM).....	22
1.3.2 Метод імітаційного моделювання Метод Monte Carlo .....	24
1.3.3 Діаграма Ганта.....	26
1.3.4 Метод PDCA.....	27
1.3.5 Метод Agile.....	29
1.4 Пакети програм моделювання.....	30
1.5 Постановка мети і завдань кваліфікаційної роботи .....	32
1.6 Висновки по першому розділу .....	33
2 Розробка математичного забезпечення.....	35
2.1 Постановка задачі розподілу і виконання пакетів робіт.....	35
2.2 Вибір методу моделювання .....	36
2.3 Постановка задачі розробки імітаційної моделі процесу .....	37
2.4 Вибір програмного засобу для моделювання .....	39
2.5 Розробка структурної та Q-схем комп'ютерно-інтегрованого виробничого процесу.....	43
2.6 Побудова UML-діаграм.....	45
2.6.1 Діаграма прецедентів.....	47

	8
2.6.2 Діаграма класів .....	51
2.6.3 Діаграма послідовностей.....	53
2.6.4 Діаграма комунікацій .....	54
2.7 Висновки по другому розділу.....	55
3 Розробка програмного забезпечення та експерименти .....	56
3.1 Опис обраного програмного рішення для розв'язання задачі .....	56
3.2 Алгоритмізація моделі.....	57
3.3 Проведення машинного експерименту.....	60
3.4 Висновки по третьому розділу .....	63
4 Охорона праці.....	65
Висновки .....	69
Перелік джерел посилання .....	71
Додаток А Лістинг програми .....	75
Додаток Б Апробація наукових результатів.....	79
Додаток В Демонстраційний матеріал.....	87

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

Д – джерело;

К – канал;

Н – накопичувач;

ПЗ – програмне забезпечення;

ТЗ – технічне завдання;

CPM (Critical Path Method) – метод критичного шляху;

PDCA (Plan-Do-Check-Act) – модель безперервного поліпшення процесів;

PERT (Program Evaluation and Review Technique) – техніка оцінки та аналізу програм;

UML (Unified Modeling Language) – уніфікована мова моделювання.

## ВСТУП

Стрімкий розвиток промислових технологій та впровадження комп'ютерно-інтегрованих систем управління виробництвом у сучасних підприємствах вимагають суттєвих змін у методах управління виробничими процесами. Глобальна конкуренція, підвищені вимоги до якості продукції та ефективності виробничих операцій, а також зовнішні чинники, такі як економічні кризи та геополітичні виклики, зумовлюють необхідність оптимізації використання ресурсів та часу в управлінні виробничими процесами.

Крім того, актуальними стають задачі інтеграції сучасних технологій розподілу робіт та контролю їх виконання в умовах мінливого виробничого середовища. Існує необхідність у створенні моделей, які дозволять прогнозувати та вирішувати проблеми "вузьких місць" у виробничих процесах, забезпечуючи гнучкість та ефективність управління. Про це свідчать численні дослідження у сфері оптимізації виробничих процесів та використання ресурсів [1].

Для вирішення цих завдань активно використовуються методи математичного моделювання та сучасні інформаційні технології. Одним із перспективних напрямів є розробка моделей розподілу і виконання пакетів робіт у системах керування комп'ютерно-інтегрованими виробничими процесами. Ці моделі повинні враховувати стохастичність виробничих завдань, варіативність обсягів роботи та необхідність оперативного перерозподілу ресурсів.

Об'єктом дослідження є комп'ютерно-інтегрований виробничий процес на промисловому підприємстві.

Предметом дослідження є процес розподілу і виконання пакетів робіт у системі керування комп'ютерно-інтегрованим виробництвом.

Мета роботи полягає в підвищенні ефективності управління виробничим процесом шляхом розробки моделі розподілу і виконання пакетів робіт з

оптимізацією використання ресурсів та часу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючих методів і підходів до керування виробничими процесами у комп'ютерно-інтегрованих системах;
- визначити вимоги до моделі розподілу і виконання пакетів робіт;
- обрати методи математичного моделювання для побудови моделі;
- розробити алгоритм моделювання процесів виконання робіт з урахуванням їх стохастичного характеру;
- створити програмне забезпечення для моделювання виробничих процесів;
- провести машинні експерименти та проаналізувати результати для впровадження рекомендацій щодо оптимізації виробничих процесів.

Кваліфікаційна робота виконана згідно ДСТУ 3008: 2015 [3], керуючись навчальним посібником з дипломного проектування, методичними вказівками [4] та Положенням про академічну доброчесність [5].

Результати кваліфікаційної роботи пройшли апробацію на одній науковій конференції [1].

# 1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ РОЗРОБКИ МОДЕЛЕЙ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

## 1.1 Опис процесу реалізації виробничого процесу

Реалізація виробничого процесу – це комплексний, багатокроковий процес, який охоплює етапи від планування та проектування до безпосереднього виконання виробничих операцій, контролю якості та кінцевої доставки продукції.

При виборі варіантів побудови та системи виробничого процесу рішення необхідно враховувати множину показників, які відображають різні аспекти ефективності, надійності та відповідності запропонованого підходу поставленим завданням. Такий підхід забезпечує комплексність аналізу та дозволяє врахувати всі ключові фактори, що можуть вплинути на результат. Основним критерієм є економічна ефективність, яка включає оцінку витрат на розробку, впровадження та експлуатацію системи, а також прогнозований економічний ефект від її застосування. Однак однієї лише економічної доцільності недостатньо. Не менш важливою є технічна реалізованість, що передбачає аналіз складності впровадження обраного варіанту, доступність необхідних технологій, обладнання та інших ресурсів.

Система повинна відповідати встановленим вимогам і забезпечувати потрібну функціональність, яка визначається здатністю виконувати поставлені завдання з високою продуктивністю. Надійність також відіграє ключову роль, адже стабільність роботи системи в умовах змінного середовища або підвищених навантажень є визначальним фактором її довгострокового успіху.

У сучасному світі важливим критерієм є екологічність, що передбачає оцінку впливу системи на навколишнє середовище. Це особливо актуально в умовах глобальної екологічної кризи, коли кожне рішення має враховувати аспекти сталого розвитку [2].

Крім того, слід звертати увагу на соціальний аспект. Система має відповідати потребам користувачів і сприяти їхньому комфорту, зручності та безпеці. Також слід враховувати потенційний вплив на суспільство в цілому, зокрема, чи сприятиме обране рішення розвитку регіону, створенню робочих місць або підвищенню якості життя. Врахування всіх цих показників у сукупності дозволяє уникнути однобокості при виборі варіанту, сприяє досягненню балансу між різними цілями та допомагає обрати оптимальне рішення, яке відповідатиме вимогам сьогодення та забезпечуватиме перспективу на майбутнє.

На рис.1.1 зображено один з варіантів базового вигляду виробничого процесу підприємства.

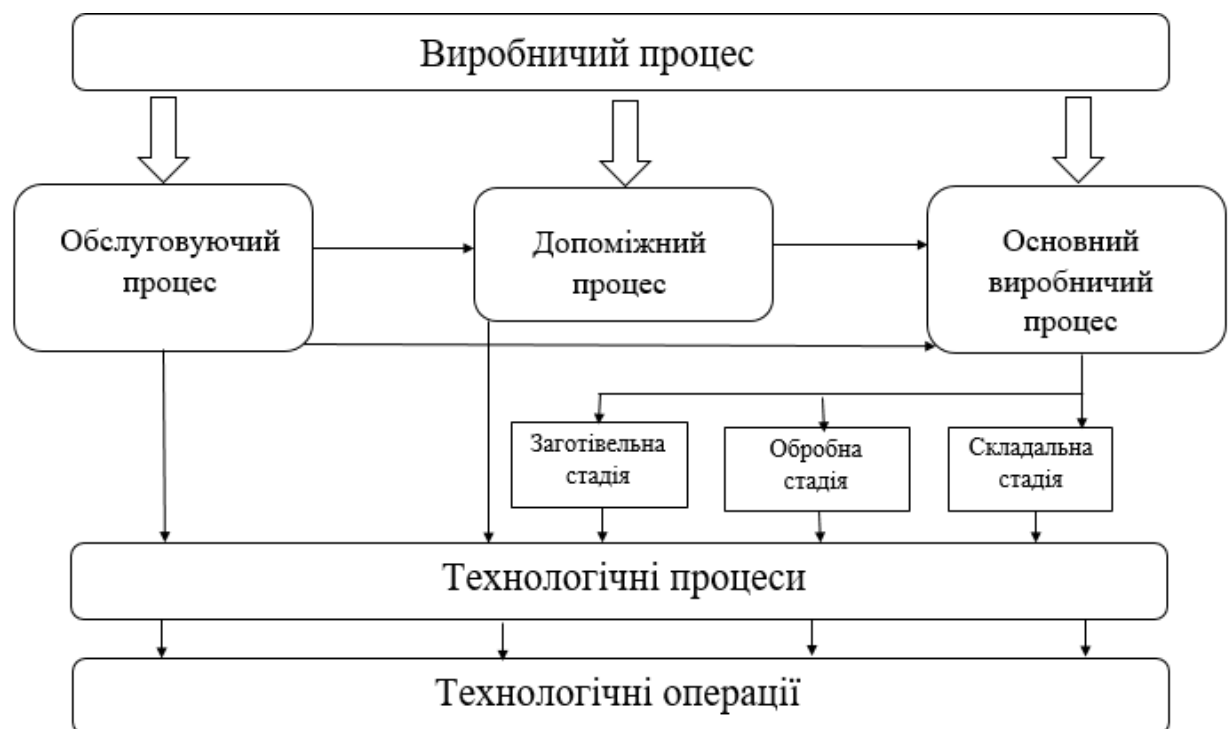


Рисунок 1.1 – Схема організації виробничого процесу підприємства

Нижче наведено детальний опис ключових етапів реалізації виробничого процесу.

1. Планування та проектування. Цей етап починається з аналізу

ринкового попиту та специфікацій продукції, яку потрібно виготовити. До основних складових цього етапу відносяться:

- аналіз вимог: визначення характеристик продукту, вимог до якості, розмірів партій та обсягів виробництва;
- розробка концепції виробництва: оцінка економічних та технічних аспектів, вибір оптимальної технології виробництва, розробка схеми та структури виробничого процесу;
- проектування процесу: включає вибір і налаштування обладнання, планування робочих місць і технологічних операцій. Також визначаються матеріальні потоки, система транспортування, логістика та склади;
- розробка графіку виробництва: Визначення тривалості кожного етапу, послідовності операцій та розрахунок завантаження обладнання [6].

2. Підготовка ресурсів. Після затвердження плану необхідно підготувати матеріальні, людські та технічні ресурси для виробництва:

- закупівля та зберігання матеріалів: постачання сировини, матеріалів і комплектуючих, необхідних для виробництва. Забезпечення ефективного управління запасами, щоб уникнути дефіциту або надлишку матеріалів;
- забезпечення персоналом: визначення необхідної кількості робочих кадрів, кваліфікація яких відповідає вимогам процесу, проведення навчання або перепідготовки для ефективного використання обладнання та технологій;
- технічна підготовка: налаштування та калібрування обладнання, програмування верстатів з ЧПУ, проведення тестових запусків для перевірки правильності налаштувань і функціональності обладнання [6].

3. Організація виробничого процесу. Цей етап включає безпосередню організацію всіх компонентів виробництва відповідно до плану, що був розроблений на етапі проектування:

- розподіл задач і обов'язків: чіткий розподіл завдань серед персоналу, що забезпечує злагодженість виконання операцій. Визначення відповідальних за кожен етап;
- контроль дотримання стандартів: виробництво має відповідати

стандартам якості та безпеки. На цьому етапі впроваджуються механізми контролю якості на всіх рівнях, включаючи інспекцію та моніторинг процесів;

- моніторинг та управління операціями: включає постійне спостереження за роботою обладнання, аналіз ефективності кожної операції та дотримання встановлених графіків. Застосування автоматизованих систем управління, таких як ERP (Enterprise Resource Planning), для контролю за операціями та ресурсами в реальному часі [6].

4. Виконання виробничих операцій. На цьому етапі здійснюються всі виробничі процеси відповідно до технологічної карти. Основні кроки включають:

- обробка матеріалів: трансформація сировини у відповідності до специфікацій. Цей процес може включати різання, формування, зварювання, лиття, тощо;

- складання продукції: компоненти об'єднуються в готовий виріб. На цьому етапі можуть бути необхідні додаткові операції, такі як нанесення покриттів, фарбування або тестування зібраних компонентів;

- інспекція якості: після кожної операції або після завершення складання продукція перевіряється на відповідність стандартам якості. Для цього можуть використовуватися автоматизовані системи перевірки, зокрема для вимірювання розмірів, міцності або функціональності [6].

5. Контроль якості. Контроль якості є безперервним процесом і включає не лише перевірку кінцевої продукції, а й усіх проміжних операцій:

- поточний контроль: виявлення відхилень від стандартів якості на ранніх стадіях, що дозволяє мінімізувати кількість дефектів на виході;

- фінальний контроль якості: перевірка кінцевого продукту перед відправкою замовнику. Включає функціональне тестування, перевірку на відповідність технічним характеристикам і стандартам;

- збір зворотного зв'язку: інформація про якість продукції, отримана від кінцевих споживачів, допомагає визначити можливі покращення процесу [6].

6. Пакування та маркування. Після перевірки якості готова продукція

готується до відправки:

- пакування: продукція пакується з урахуванням вимог щодо безпеки під час транспортування та умов зберігання. Це може включати додатковий захист для запобігання механічним пошкодженням або впливу зовнішніх факторів;

- маркування: продукція маркується згідно з вимогами замовника або законодавства, що може включати позначення дати виробництва, серійного номера, інструкцій або попереджень [6].

7. Логістика і доставка. Організація доставки готової продукції клієнтам або на склади потребує координації з логістичними партнерами і належного планування:

- планування логістики: вибір оптимального маршруту, виду транспорту та перевізника для доставки продукції;

- управління запасами та відправка: продукція переміщується на склади, де вона зберігається до моменту відправки. Управління запасами допомагає уникнути затримок у постачанні [6].

8. Аналіз та оптимізація. Після завершення виробничого циклу здійснюється аналіз виконаних операцій з метою виявлення сильних і слабких сторін:

- аналіз ефективності виробництва: оцінка продуктивності, аналіз витрат і час виконання операцій дозволяють виявити області для оптимізації;

- зворотній зв'язок: отримання відгуків від кінцевих споживачів та внутрішніх підрозділів. Зворотний зв'язок допомагає виявити недоліки та удосконалити процеси;

- впровадження покращень: на основі отриманих даних розробляються рекомендації та впроваджуються заходи для підвищення продуктивності та якості наступних циклів [6].

Тому, реалізація виробничого процесу – це складна система операцій і рішень, яка вимагає ретельного планування та постійного контролю. Кожен етап пов'язаний з наступним, що забезпечує послідовність виконання всіх

операцій і ефективного використання ресурсів. Завдяки дотриманню структурованого підходу та використанню сучасних автоматизованих систем, виробничий процес може досягати високої продуктивності, мінімізувати витрати та забезпечити стабільну якість продукції.

У ході приведеного дослідження, основна увага зосереджена безпосередньо на самому виробничому процесі, а саме на виготовленні корпусів під електричні прилади.

## 1.2 Задачі керування виробничим процесом

Керування виробничим процесом є комплексом завдань, спрямованих на організацію, планування, контроль та оптимізацію всіх етапів виробничого циклу для забезпечення високої якості продукції, ефективного використання ресурсів і досягнення встановлених цілей підприємства. Розглянемо розгорнуто основні задачі управління виробничим процесом.

1. Планування виробництва. Планування є початковою і однією з найважливіших задач керування, яка задає вектор розвитку та забезпечує цілісність виробничого циклу. Воно включає:

- визначення обсягів виробництва: на основі попиту та потреб ринку встановлюються обсяги продукції, яку потрібно виготовити за певний період;
- складання виробничого плану: створення детального плану виробничих операцій з урахуванням ресурсів і технологічних процесів, включаючи черговість виконання завдань;
- прогнозування потреб у ресурсах: визначення кількості матеріалів, обладнання та робочої сили, необхідних для виконання плану, з метою запобігання дефіциту або надлишку;
- фінансове планування: Оцінка витрат на виробництво та складання бюджету для забезпечення рентабельності виробничого процесу [7].

2. Організація виробництва. Організація процесу передбачає забезпечення координації всіх ресурсів та дій у рамках виробничої системи:

- розподіл завдань: розподіл функціональних обов'язків між працівниками, відділами та підрозділами підприємства для забезпечення максимальної ефективності;

- оптимізація матеріальних потоків: організація внутрішньої логістики для забезпечення швидкого та безперешкодного переміщення матеріалів, напівфабрикатів і готової продукції;

- управління складом: забезпечення належного зберігання матеріалів, комплектуючих та готової продукції, щоб уникнути дефіциту або надлишку на складах;

- налагодження комунікаційних процесів: Забезпечення взаємодії між підрозділами, що дозволяє уникнути дублювання зусиль та збоїв у виконанні завдань [7].

3. Оперативне управління. Це поточне управління виробничим процесом, що включає безпосередній контроль за виконанням операцій у реальному часі:

- керування виробничим графіком: контроль дотримання встановлених термінів і, за потреби, коригування графіка для уникнення затримок;

- моніторинг стану обладнання: регулярний контроль за роботою обладнання для уникнення простоїв, несправностей та підтримання максимальної продуктивності;

- оперативне реагування на проблеми: виявлення та оперативне усунення проблем на виробництві (несправності, дефіцит ресурсів) для мінімізації втрат часу;

- адаптація до змін: вміння швидко реагувати на непередбачувані зміни умов (наприклад, зміни у попиті, доступності ресурсів) та коригувати план виробництва [7].

4. Контроль якості. Контроль якості є важливою складовою управління, яка гарантує відповідність продукції стандартам якості та вимогам клієнтів:

- вхідний контроль: перевірка якості та відповідності вхідних матеріалів та комплектуючих перед їх використанням у виробництві;

- контроль процесу: поточний контроль якості під час виконання кожної операції для забезпечення відповідності продукту встановленим стандартам;

- фінальний контроль якості: перевірка готової продукції перед її пакуванням та відправленням споживачеві;

- зворотній зв'язок із клієнтами: отримання та аналіз відгуків від клієнтів для виявлення недоліків і покращення якості продукції у майбутньому [7].

5. Управління ресурсами. Для підтримки безперебійного виробничого процесу необхідно ретельно керувати ресурсами, що включає:

- управління матеріальними ресурсами: планування закупівель і використання матеріалів, щоб забезпечити наявність сировини та комплектуючих;

- керування людськими ресурсами: організація роботи персоналу, включаючи залучення, навчання, розподіл обов'язків і мотивацію;

- енергетичне управління: оптимізація використання енергоресурсів для зниження витрат та зменшення впливу на довкілля;

- управління технологічними ресурсами: планування технічного обслуговування та модернізації обладнання для підтримання високого рівня продуктивності [7].

6. Аналіз і оптимізація виробництва. Постійний аналіз та оптимізація дозволяють підтримувати конкурентоспроможність та покращувати ефективність виробництва:

- аналіз виробничих показників: оцінка ефективності процесів, витрат, продуктивності та часу виконання операцій;

- виявлення вузьких місць: аналіз відхилень від плану, затримок та збоїв для виявлення проблемних ділянок виробництва.

- оптимізація процесів: внесення змін у процеси для підвищення продуктивності, якості та зниження витрат (наприклад, впровадження нових технологій або вдосконалення логістики);

– інновації та модернізація: впровадження нових технологій, автоматизація процесів, використання систем моніторингу для підвищення ефективності виробництва [7].

7. Забезпечення безпеки та дотримання норм. Безпека є критичною для ефективного виробництва та мінімізації ризиків:

– дотримання стандартів безпеки: впровадження норм охорони праці та безпеки для захисту працівників від ризиків на виробництві;

– забезпечення екологічної безпеки: впровадження практик, що знижують шкідливий вплив виробництва на довкілля (наприклад, зменшення відходів, повторне використання ресурсів);

– регулярні інструктажі та навчання: проведення тренувань для персоналу з охорони праці та дотримання правил безпеки під час роботи з обладнанням;

– інспекції та аудит: постійний контроль за дотриманням норм і стандартів з боку внутрішніх і зовнішніх органів для запобігання аваріям і порушенням [7].

8. Інформаційне управління. Ефективне використання даних для управління виробництвом є критичним у сучасних умовах:

– збір та аналіз даних: збір інформації про кожен етап виробництва, включаючи показники продуктивності, витрати, якість та зворотний зв'язок від клієнтів;

– управління виробничими даними: використання інформаційних систем (ERP, MES) для централізованого зберігання, обробки та доступу до даних в реальному часі;

– прийняття рішень на основі даних: аналіз великих обсягів даних для виявлення тенденцій та формування рішень для оптимізації процесу;

– інтеграція з іншими системами: зв'язок виробничої інформації з іншими системами підприємства (логістика, продажі, фінанси) для забезпечення комплексного управління [7].

9. Фінансове управління. Фінансовий контроль і аналіз витрат мають

вирішальне значення для досягнення рентабельності:

- оцінка та контроль виробничих витрат: ведення обліку всіх витрат на матеріали, енергоресурси, оплату праці, обслуговування обладнання тощо;
- аналіз рентабельності: оцінка співвідношення між витратами та доходами для виявлення та оптимізації витрат на одиницю продукції;
- бюджетування: розробка фінансових планів та розподіл коштів для забезпечення безперервності виробничого циклу;
- фінансовий моніторинг і аудит: постійний контроль за використанням коштів, щоб уникнути перевитрат або дефіциту бюджету [7].

На рисунку 1.2 приведений приклад організації і управління виробничим процесом для цілісного розуміння роботи будь-якого підприємства, яке складається з багатьох підрозділів.

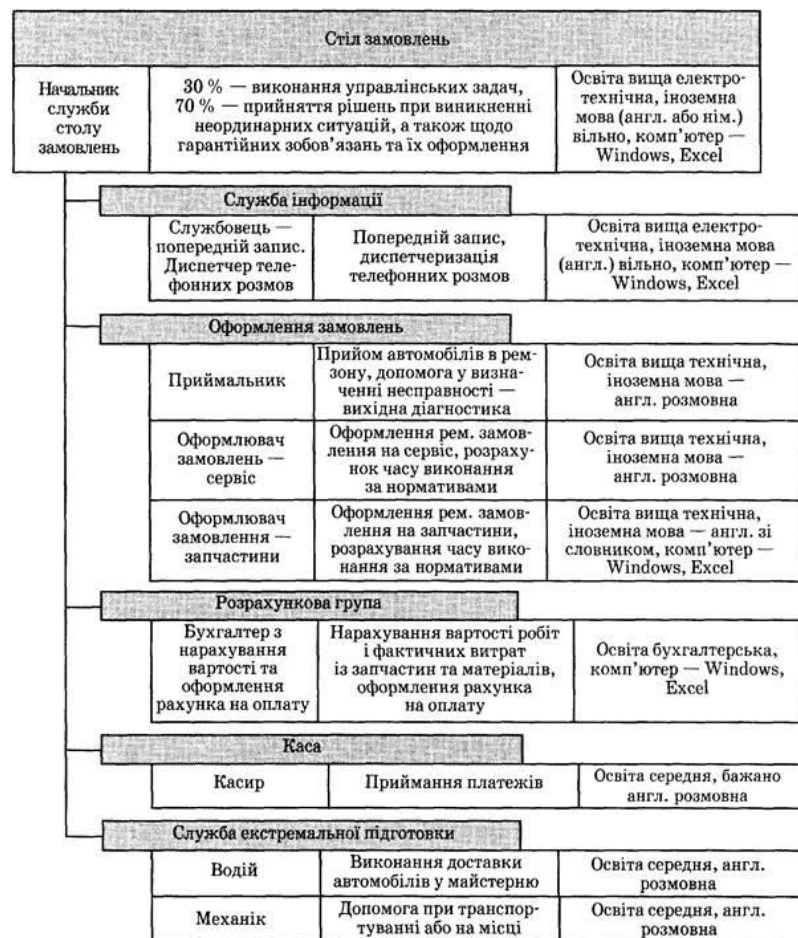


Рисунок 1.2 – Приклад схеми організації і управління

Отже, задачі керування виробничим процесом мають всеохоплюючий характер і вимагають ретельного планування, контролю, аналізу та оптимізації. Комплексний підхід до виконання цих задач дозволяє досягти високої якості продукції, знизити витрати, покращити ефективність використання ресурсів і збільшити прибутковість.

### 1.3 Методи моделювання процесу виконання пакетів робіт

#### 1.3.1 Методи мережевого планування (PERT та CPM)

Мережеве моделювання є ефективним інструментом для управління проектами, який дозволяє аналізувати, планувати та контролювати виконання робіт. Два найбільш популярних методи мережевого моделювання – це PERT (Program Evaluation and Review Technique) та CPM (Critical Path Method).

Метод PERT орієнтований на управління проектами з високою невизначеністю. Його головна мета – врахувати можливі коливання у тривалості завдань. В основі PERT лежить оцінка тривалості кожної діяльності за трьома параметрами: оптимістична, найімовірніша та песимістична. Використовуючи ці дані, обчислюється очікувана тривалість завдань за формулою [8]:

$$TE = \frac{(O + 4M + P)}{6}, \quad (1.1)$$

де  $O$  – оптимістична тривалість;

$M$  – найімовірніша тривалість;

$P$  – песимістична тривалість.

Мережа PERT представляє собою граф, де вузли символізують події, а дуги – завдання. Наприклад, розглянемо запуск нового продукту. Вузли

будуть позначати ключові етапи, як-от завершення розробки дизайну, початок виробництва, а дуги – відповідні задачі.

Метод СРМ підходить для проектів, де тривалість завдань точно визначена. Його ключовий елемент – це критичний шлях, тобто найдовший шлях через мережу проекту, який визначає мінімальний час завершення проекту. Критичний шлях дозволяє ідентифікувати завдання, затримка яких безпосередньо вплине на загальний термін проекту [9].

Для ілюстрації уявімо проект будівництва. Наприклад, етапи проекту включають підготовку ділянки, заливку фундаменту, зведення стін і покрівлі. Побудова мережевої діаграми допоможе виявити, які етапи можуть виконуватися паралельно, а які мають слідувати строго за певною послідовністю [9].

На рисунку 1.3 приведено відмінності розглянутих методів.

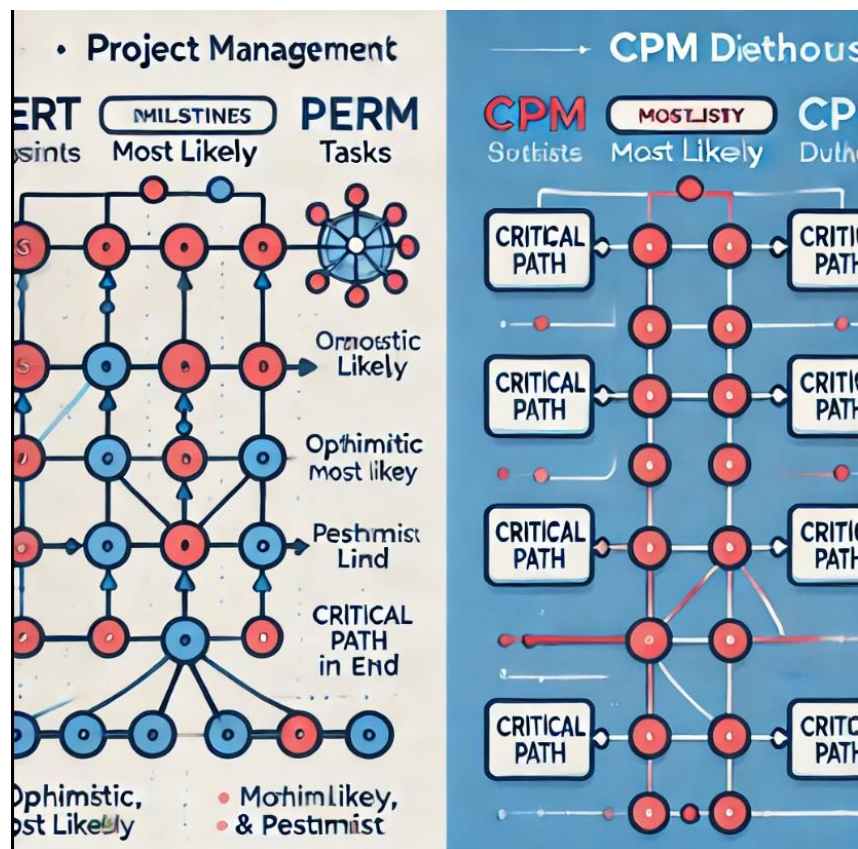


Рисунок 1.3 – Ілюстрація відмінностей PERT і СРМ

### 1.3.2 Метод імітаційного моделювання Метод Monte Carlo

Метод Монте-Карло є потужною технікою математичного моделювання, яка використовується для аналізу та оцінки складних систем, коли аналітичні методи є непридатними через невизначеність чи складність. Його основна ідея полягає у випадковому моделюванні процесів шляхом багаторазового проведення експериментів, результати яких дозволяють отримати статистичні оцінки [10].

Уявіть ситуацію: ви плануєте проєкт і хочете передбачити, як різні невизначеності (наприклад, час виконання завдань чи витрати) вплинуть на результат. За допомогою методу Монте-Карло можна провести велику кількість симуляцій, кожна з яких враховує випадкові значення вхідних параметрів, що відповідають заданим розподілам імовірностей. У підсумку, отримуємо розподіл вихідних результатів, який дозволяє оцінити ймовірність певних сценаріїв. На рисунку 1.4 приведено приклад використання методу Монте-Карло для обчислення інтегралу функції [10].

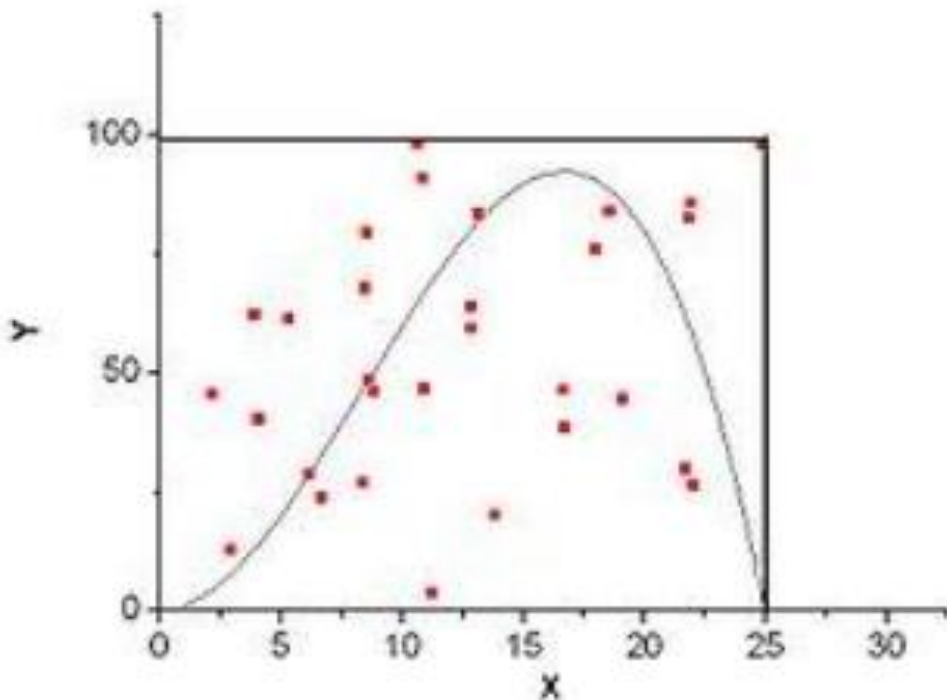


Рисунок 1.4 – Приклад використання методу Монте-Карло

Наприклад, розглянемо задачі прогнозування запасів. Ви керуєте складом і хочете передбачити, скільки товару потрібно замовити, щоб уникнути дефіциту, але не створювати надлишкових запасів. Вхідні дані включають:

- очікуваний попит, який може змінюватися залежно від сезону;
- термін постачання, який варіюється через транспортні затримки;
- вартість зберігання та закупівлі.

Метод Монте-Карло генерує тисячі випадкових сценаріїв для цих параметрів і визначає оптимальну стратегію замовлення.

Метод Монте-Карло широко застосовується в різних галузях для моделювання та аналізу складних систем. Ось декілька прикладів його використання:

- фінансове моделювання: у фінансовій сфері метод Монте-Карло використовується для оцінки ризиків та невизначеностей, пов'язаних з інвестиціями та портфелями. Наприклад, він допомагає моделювати можливі зміни вартості активів, враховуючи випадкові коливання ринку, що дозволяє інвесторам приймати обґрунтовані рішення.

- управління проектами: при плануванні складних проєктів метод Монте-Карло допомагає оцінити ймовірність завершення проєкту в заплановані терміни та бюджет. Шляхом моделювання різних сценаріїв розвитку подій можна визначити потенційні ризики та розробити стратегії їх мінімізації;

- інтегрування складних функцій: метод Монте-Карло застосовується для чисельного інтегрування функцій, особливо коли аналітичне обчислення інтегралів є складним або неможливим. Наприклад, обчислення визначених інтегралів за допомогою випадкових точок дозволяє отримати наближені значення з високою точністю [11];

- фізичні науки: у фізиці метод Монте-Карло використовується для моделювання складних систем, таких як поведінка частинок у ядерних реакторах або моделювання молекулярної динаміки. Це дозволяє вченим досліджувати системи, які важко або неможливо вивчити експериментально;

– оцінка числа  $\pi$ : класичним прикладом застосування методу Монте-Карло є задача Бюффона для оцінки числа  $\pi$ . Цей метод демонструє, як випадкове моделювання може бути використане для оцінки математичних констант [12].

### 1.3.3 Діаграма Ганта

Діаграма Ганта – це популярний інструмент для управління проектами, який візуалізує завдання, їхню тривалість і взаємозв'язки. Вона являє собою графік, де горизонтальна вісь відображає час, а вертикальна – перелік завдань. Кожне завдання представлено горизонтальною смугою, довжина якої відповідає його тривалості [13].

Цей підхід був розроблений Генрі Гантом у 1910-х роках для оптимізації виробничих процесів. Сьогодні діаграми Ганта застосовуються у багатьох галузях – від будівництва до розробки програмного забезпечення – як інструмент планування, моніторингу та управління [13].

Наприклад, уявімо проект будівництва будинку. Завдання, такі як заливка фундаменту, зведення стін, монтаж даху, відображаються у вигляді смуг на діаграмі. Їхнє розташування і довжина показують, які завдання виконуються паралельно, а які потребують завершення попередніх. Це дозволяє команді оцінювати прогрес та уникати затримок [13].

Ще один приклад – розробка програмного продукту. Завдання можуть включати проектування інтерфейсу, написання коду, тестування і запуск. Завдяки діаграмі Ганта можна побачити, які етапи можна перекривати, наприклад, почати тестування частини функцій, поки інші ще розробляються. Для створення таких діаграм використовуються програми, як-от Microsoft Project, Trello, Monday.com, або навіть Excel [13].

Приклад діаграми Ганта приведений на рисунку 1.5.

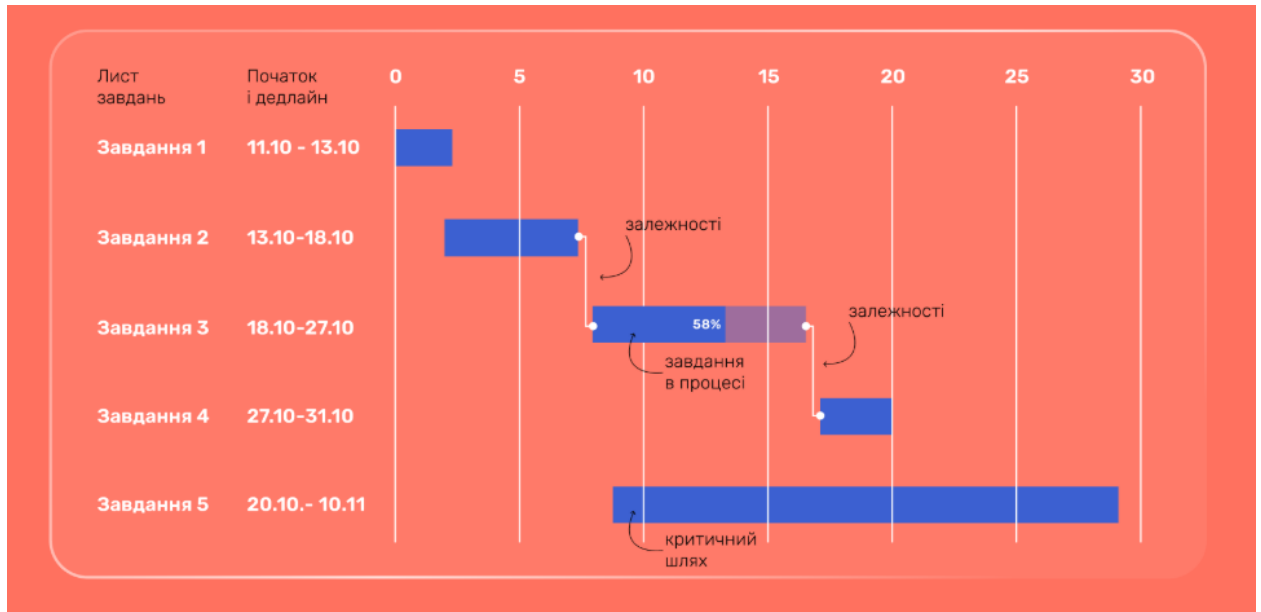


Рисунок 1.5 – Приклад використання діаграм Ганта при розподілі задач

#### 1.3.4 Метод PDCA

Метод PDCA (Plan-Do-Check-Act) – це циклічний підхід до вирішення проблем і впровадження змін, який застосовується для досягнення постійного вдосконалення в організаціях. Цей підхід був розроблений У. Едвардсом Демінгом і широко використовується в управлінні якістю. Основна ідея PDCA полягає в ітеративному виконанні чотирьох етапів, щоб знаходити і виправляти помилки, оптимізувати процеси і досягати найкращих результатів.

На першому етапі (Plan) формулюється проблема, ставляться цілі та розробляється план дій. Наприклад, в організації виявлено низьку продуктивність на виробничій лінії. На цьому етапі проводять аналіз причин і розробляють заходи для їх усунення, наприклад, впровадження нової системи мотивації для працівників [14].

На етапі Do заплановані дії реалізуються в обмеженому масштабі. Наприклад, нову систему мотивації впроваджують спочатку лише на одному виробничому цеху, щоб оцінити її ефективність [14].

Етап Check передбачає аналіз результатів і порівняння їх із поставленими цілями. Збираються дані про продуктивність у пілотному цеху, щоб оцінити, чи допомогли зміни підвищити ефективність роботи [14].

На останньому етапі Act приймається рішення про масштабування змін, якщо результати виявилися успішними, або ж повертаються до етапу планування, щоб доопрацювати стратегію. У нашому прикладі, якщо продуктивність дійсно покращилася, система мотивації впроваджується в інших цехах [14].

Циклічність PDCA дозволяє безперервно вдосконалювати процеси. Наприклад, у сфері охорони здоров'я метод PDCA використовується для оптимізації роботи лікарень. Якщо спостерігається висока затримка з видачею результатів аналізів, плануються дії для скорочення часу обробки. Після реалізації цих дій проводиться оцінка, і за необхідності виконуються додаткові поліпшення [15].

Схематичний вигляд методу PDCA приведений на рисунку 1.6.

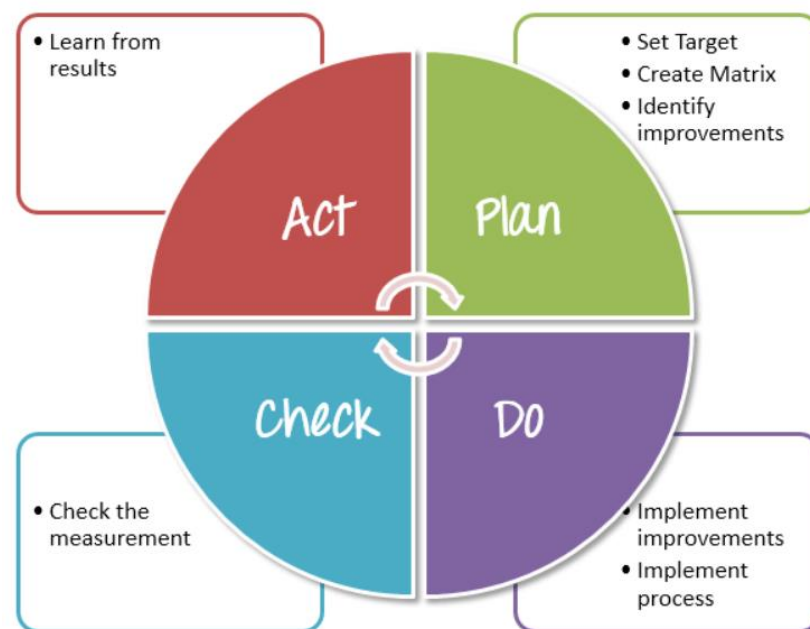


Рисунок 1.6 – Схематичний вигляд методу PDCA [15]

### 1.3.5 Метод Agile

Agile – це гнучка методологія, яка дозволяє ефективно управляти проектами та розробкою програмного забезпечення, яка спрямована на швидку адаптацію до змін та ефективну співпрацю між командами, наприклад в тому ж цеху. Вона базується на ітеративному підході, де проєкт розбивається на невеликі цикли, що дозволяє регулярно отримувати зворотний зв'язок і вносити необхідні корективи [16].

Основні принципи Agile включають:

- індивіди та взаємодія важливіші за процеси та інструменти;
- працюючий продукт цінніший за вичерпну документацію;
- співпраця з клієнтом важливіша за контрактні домовленості;
- реагування на зміни пріоритетніше за слідування плану.

Ці принципи сприяють створенню продуктів, які максимально відповідають потребам замовника та швидко адаптуються до змін.

Одним із популярних фреймворків, що реалізують принципи Agile, є Scrum. У Scrum команда працює короткими ітераціями, званими спринтами, зазвичай тривалістю 2-4 тижні. На початку кожного спринту визначаються пріоритетні завдання, а в кінці – проводиться огляд виконаної роботи та планування наступного спринту [16].

Іншим прикладом є Kanban, який фокусується на візуалізації робочого процесу та обмеженні незавершених завдань. Використовуючи дошку Kanban, команда відстежує статус кожного завдання, що допомагає виявляти вузькі місця та покращувати ефективність роботи [16].

Використання Agile підходу дозволяє командам швидко реагувати на зміни вимог, тісно співпрацювати з клієнтами та постійно вдосконалювати процес розробки, що в результаті підвищує якість кінцевого продукту та задоволеність замовників [16].

Приклад філософії методу Agile приведений на рисунку 1.7.

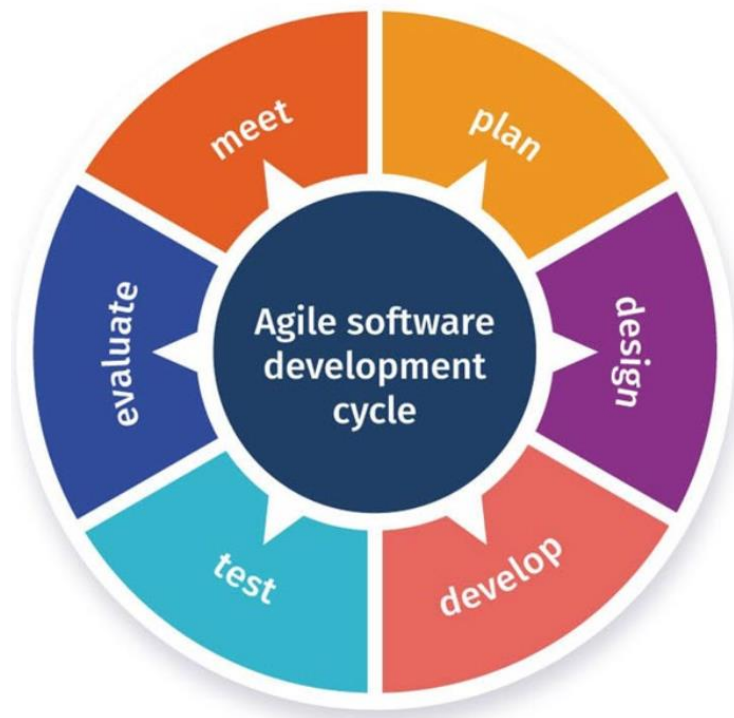


Рисунок 1.7 – Схематичний вигляд методу Agile

#### 1.4 Пакети програм моделювання

Для моделювання комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів існує кілька спеціалізованих програмних пакетів, що дозволяють автоматизувати управління, планування, моніторинг і оптимізацію виробництва:

- Siemens Tecnomatix – це комплексне програмне забезпечення для моделювання та оптимізації виробничих процесів, яке охоплює інструменти для планування виробництва, аналізу потоків, симуляції роботи ліній та роботів. Система дозволяє створювати цифрові двійники виробництв, що спрощує процеси управління ресурсами і забезпечує детальне планування виробничих ліній;

- Dassault Systèmes DELMIA – пакет для моделювання та оптимізації складних виробничих процесів. DELMIA дозволяє створювати інтегровані моделі виробництва, оптимізувати розклад і конфігурацію виробничих ліній, а також симулювати роботу обладнання і персоналу. Інтегрується з іншими

модулями Dassault Systèmes, такими як CATIA і ENOVIA, для комплексного управління життєвим циклом продукту;

- Arena (Rockwell Automation) – програмне забезпечення для імітаційного моделювання дискретних виробничих процесів. Arena дозволяє створювати моделі підприємств і візуалізувати виробничий процес, що допомагає знаходити "вузькі місця" і оптимізувати потоки ресурсів. Пакет підтримує інтеграцію з іншими системами автоматизації Rockwell Automation;

- AnyLogic – потужний інструмент для моделювання виробничих процесів, який підтримує кілька типів моделювання: дискретно-подієве, системну динаміку та агентне моделювання. AnyLogic дозволяє моделювати складні виробничі процеси, оптимізувати виробничі лінії, розподіл ресурсів і оцінювати вплив змін;

- FlexSim – це програмний пакет для тривимірного моделювання, що спеціалізується на імітаційному моделюванні виробничих процесів. FlexSim дозволяє створювати віртуальні моделі виробництв, тестувати та аналізувати процеси для підвищення їхньої ефективності. Підходить для дискретних і безперервних процесів;

- Simul8 – програмний інструмент для імітаційного моделювання та оптимізації бізнес-процесів і виробничих ліній. Simul8 дозволяє моделювати виробничі потоки, проводити аналіз пропускну здатності, визначати завантаження обладнання і оцінювати вплив на продуктивність різних сценаріїв;

- Ptc Creo – система, яка поєднує інструменти для тривимірного моделювання, аналізу та симуляції. Зокрема, модулі PTC ThingWorx підтримують Інтернет речей (IoT), що дозволяє моніторити процеси у режимі реального часу, інтегрувати дані датчиків і оптимізувати виробничий процес;

- MATLAB і Simulink – MATLAB разом із Simulink часто використовується для моделювання автоматизованих процесів, керування роботами і створення моделей складних систем. Simulink дає можливість проектувати інтегровані системи, тестувати алгоритми управління

оптимізувати процеси на рівні симуляції;

– Autodesk Fusion 360 та Autodesk Inventor – інструменти для 3D-моделювання, які підтримують симуляцію виробничих процесів і створення цифрових двійників продуктів. Autodesk дозволяє створювати і оптимізувати процеси виробництва і забезпечує зв'язок із САМ-системами для контролю за обробкою.

Ці програмні пакети допомагають виробничим підприємствам автоматизувати, оптимізувати і контролювати всі етапи виробництва, підвищуючи ефективність і гнучкість комп'ютерно-інтегрованих виробничих процесів. У ході виконання роботи, за основу було взято імітаційний підхід до моделювання.

### 1.5 Постановка мети і завдань кваліфікаційної роботи

У ході проведеного дослідження було визначено, що для рішення поставленого завдання є безліч варіантів. Серед яких можна виділити кілька варіантів методів, що можуть бути використані для моделювання роботи виробничого цеху: аналітичні, статистичні, імітаційні та інші. Кожен з методів має великий інструментарій для розв'язання багатьох видів задач, що дозволяє в рівній мірі використовувати у роботі кожен з них.

Огляд і аналіз сучасного стану проблеми показав її багатогранність і різноманіття рішень. Серед них можна виділити кілька підходів до моделювання комп'ютерно-інтегрованого виробничого процесу, зокрема аналітичні, статистичні, імітаційні та інші методи. Кожен із цих методів має широкий набір інструментів, що дозволяє ефективно вирішувати різноманітні завдання та знаходити оптимальні рішення.

З урахуванням стохастичного характеру потоку проєктів, що надходять до комп'ютерно-інтегрованого виробничого процесу, а також часу реалізації основних етапів і завдань, важливою є проблема виявлення затримок у процесах, що можуть призвести до великих матеріальних втрат підприємства.

У цьому контексті актуальною стає розробка засобів моделювання для систем управління комп'ютерно-інтегрованими виробничими процесами, які враховуватимуть ймовірнісну природу виконання пакетів робіт.

Метою даного дослідження є підвищення ефективності управління виробничим процесом шляхом розробки моделі розподілу і виконання пакетів робіт для оптимізації ресурсів та часу в системі керування комп'ютерно-інтегрованим виробництвом.

Для досягнення цієї мети необхідно виконати такі основні завдання:

- сформулювати постановку задачі розробки моделі процесу виконання пакетів робіт у системі управління комп'ютерно-інтегрованим виробничим процесом та визначити ключові вимоги до неї;
- вибрати метод, що найкраще підходить для моделювання процесу виконання пакетів робіт;
- розробити алгоритм моделювання процесу виконання пакетів робіт, який враховує їх ймовірнісний характер;
- створити програмне забезпечення для імітаційної моделі процесу виконання пакетів робіт у межах виробничих проектів;
- спланувати та провести експерименти з використанням моделі, здійснити аналіз отриманих результатів і надати рекомендації щодо її практичного застосування.

## 1.6 Висновки по першому розділу

При огляді сучасного стану проблеми створення моделей розподілу і виконання пакетів робіт для систем керування комп'ютерно-інтегрованим виробничим процесом, було виявлено її велику актуальність, що підтверджують багато статей на тему, та створення нових варіантів рішень [1].

Так як процес створення корпусу є в деякому плані стохастичним, то має сенс визначити, що може створити перешкоди у виробничому процесі. Після цього завдяки побудованій моделі, можна максимально знизити можливість

появи таких проблем, завдяки проведенню імітаційних експериментів. Це допоможе створити максимально ефективне підприємство швидко і без великих витрат.

## 2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

### 2.1 Постановка задачі розподілу і виконання пакетів робіт

Постановка задачі розподілу та виконання робочих пакетів є важливим елементом управління проектами, що сприяє ефективному плануванню, розподілу ресурсів та контролю за виконанням завдань. Цей процес передбачає поділ загальної мети проекту на окремі складові, що спрощує управління та підвищує ймовірність успішного завершення.

Ієрархічна структура робіт (ICP) виступає основним інструментом для такого поділу. Вона деталізує проект, розбиваючи його на етапи, завдання, підзадачі та робочі пакети, що дає змогу чітко визначити обсяги робіт, відповідальних виконавців та необхідні ресурси. Кожен елемент ICP має своє призначення та рівень деталізації, що забезпечує краще розуміння структури проекту та зв'язків між його частинами.

Розподіл ресурсів між завданнями є вирішальним для дотримання термінів і бюджету. Планування робіт в умовах обмежених ресурсів охоплює створення ефективних розкладів, визначення критичного шляху та застосування методів, таких як PERT. Оптимізацію розподілу ресурсів і скорочення тривалості проекту допомагають досягти евристичні алгоритми, наприклад, розподіл за критичністю або за пізнім завершенням завдань.

Для підвищення ефективності також використовують методи локальної оптимізації груп завдань, які виконуються у встановлені часові проміжки за обмежених ресурсів. Ці підходи сприяють раціональному використанню ресурсів і підвищенню ефективності виконання проекту.

Отже, процес постановки задачі розподілу та виконання робочих пакетів є багатограним і потребує ретельного планування, аналізу й застосування сучасних підходів управління проектами для досягнення оптимальних результатів.

## 2.2 Вибір методу моделювання

Моделювання є ключовим інструментом для аналізу та прогнозування поведінки складних систем у різних галузях науки та техніки. Існує декілька основних методів моделювання, кожен з яких має свої особливості, переваги та обмеження. Класифікація методів моделювання зображена на рисунку 2.1.

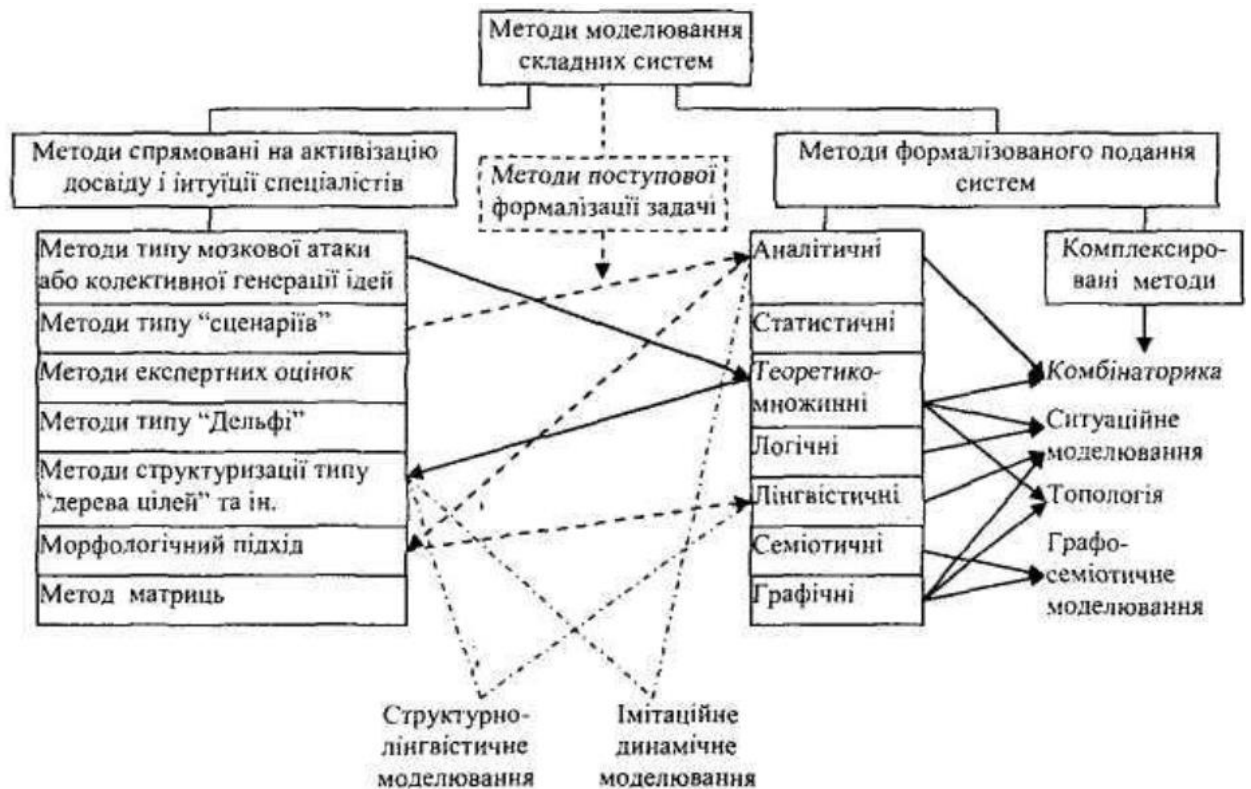


Рисунок 2.1 – Класифікація методів моделювання [17]

Математичне моделювання базується на використанні математичних рівнянь для опису поведінки системи. Цей метод дозволяє отримати точні кількісні результати та проводити аналітичний аналіз. Однак, для складних систем математичні моделі можуть стати надто громіздкими або навіть нерозв'язними [18].

Імітаційне моделювання полягає у створенні комп'ютерних моделей, які відтворюють поведінку системи в часі. Цей підхід є особливо корисним для

аналізу систем з високим рівнем невизначеності або складною динамікою. Імітаційні моделі дозволяють проводити експерименти без ризику для реальних об'єктів, проте вони можуть вимагати значних обчислювальних ресурсів [18].

Аналогове моделювання використовує фізичні аналоги або макети для відтворення поведінки системи. Цей метод надає наочне уявлення про функціонування системи, але може бути обмеженим у точності та масштабованості [18].

Емпіричне моделювання базується на зборі та аналізі експериментальних даних для побудови моделі. Цей підхід є корисним, коли математичний опис системи є складним або невідомим. Однак, емпіричні моделі можуть мати обмежену область застосування та потребують великої кількості даних для забезпечення надійності [18].

Вибір відповідного методу моделювання залежить від специфіки досліджуваної системи, доступних ресурсів та поставлених цілей.

Комбінування різних методів може забезпечити більш глибоке розуміння та точність моделювання.

Отже, у ході вивчення різних видів моделювання, мій вибір пав саме на імітаційне моделювання, бо воно допоможе побудувати повну картину розроблюваного виробничого процесу, та проаналізувати кожен з його етапів.

### 2.3 Постановка задачі розробки імітаційної моделі процесу

Імітаційне моделювання є потужним інструментом для аналізу та прогнозування поведінки складних систем шляхом створення їхніх віртуальних аналогів. Цей підхід дозволяє дослідникам експериментувати з різними сценаріями та параметрами без втручання в реальні процеси, що особливо кошовно в ситуаціях, де практичні експерименти можуть бути дорогими або небезпечними [19].

Основна ідея імітаційного моделювання полягає у відтворенні ключових характеристик та динаміки реальної системи за допомогою комп'ютерних програм. Це дає змогу вивчати реакцію системи на різні впливи, оптимізувати її роботу та приймати обґрунтовані рішення щодо її вдосконалення. На рисунку 2.2 зображено схематичний приклад застосування імітаційного моделювання при дослідженні системи [19].



Рисунок 2.2 – Схема методу імітаційного моделювання

Процес імітаційного моделювання зазвичай включає кілька етапів. Спочатку визначаються цілі дослідження та збираються необхідні дані про систему. Потім розробляється модель, яка відображає основні компоненти та взаємозв'язки системи. Після цього проводяться численні експерименти з моделлю, результати яких аналізуються для отримання корисної інформації [19].

Однією з головних переваг імітаційного моделювання є можливість дослідження систем, для яких аналітичні методи є непридатними через їхню складність або невизначеність. Крім того, цей метод дозволяє враховувати

випадкові фактори та варіативність, що робить результати більш реалістичними.

Імітаційне моделювання знаходить широке застосування в різних галузях, включаючи виробництво, логістику, охорону здоров'я, економіку та військову справу.

Наприклад, у виробництві воно використовується для оптимізації виробничих ліній, у логістиці – для планування транспортних маршрутів, а в охороні здоров'я – для моделювання поширення захворювань та оцінки ефективності медичних втручань [19].

Однак, незважаючи на свої переваги, імітаційне моделювання має й певні обмеження. Розробка точної моделі може вимагати значних ресурсів та часу, а результати моделювання залежать від якості вхідних даних та припущень, покладених в основу моделі. Тому важливо проводити ретельну верифікацію та валідацію моделей, щоб забезпечити їхню адекватність та надійність [19].

Загалом, імітаційне моделювання є незамінним інструментом для розуміння та вдосконалення складних систем, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення та підвищувати ефективність їхньої роботи.

#### 2.4 Вибір програмного засобу для моделювання

Імітаційне моделювання є важливим інструментом для аналізу та оптимізації складних систем у різних галузях. Існує декілька програмних засобів, що підтримують імітаційне моделювання, серед яких GPSS World, AnyLogic та Arena.

GPSS World є сучасною реалізацією мови GPSS (General Purpose Simulation System), призначеної для моделювання дискретних систем. Цей інструмент широко використовується в освітніх та наукових цілях, особливо для моделювання виробничих процесів та систем масового обслуговування. GPSS World надає користувачам можливість створювати детальні моделі з

використанням текстових описів, що вимагає глибокого розуміння синтаксису мови. Однак, відсутність сучасного графічного інтерфейсу може ускладнювати процес моделювання для новачків [20].

На рисунку 2.3 представлений інтерфейс вікна моделі GPSS WORLD.

```

;      PREPARE_TIME EQU 2
;      LITIE_TIME EQU 3
;      METAL_TIME EQU 3
;      CUTTING_TIME EQU 2
;      INSTALL_TIME EQU 1
;      INSTALLCHIP_TIME EQU 1
;      ZAPAIKA_TIME EQU 2
;      TESTING_TIME EQU 3
;      MARKING_TIME EQU 2
;      VERSTAT1_TIME EQU 3
;      VERSTAT2_TIME EQU 2

GENERATE 0,2

OPEN ("data.txt"),1,ErrorOpen

ReadData1      READ Param1,1,EndOfFile
                TEST E Param1,0,creatingPrepare
                TRANSFER ErrorOpen

ReadData2      READ Param2,1,EndOfFile
                TEST E Param1,0,creatingLitie
                TRANSFER ErrorOpen

ReadData3      READ Param3,1,EndOfFile
                TEST E Param1,0,creatingMetal
                TRANSFER ErrorOpen

ReadData4      READ Param4,1,EndOfFile
                TEST E Param1,0,creatingCutting
                TRANSFER ErrorOpen

creatingPrepare  QUEUE QueuePrepare
                 SEIZE Prepare
                 DEPART QueuePrepare
                 ADVANCE Param1,1
                 RELEASE Prepare
                 TRANSFER ,creatingLitie

creatingLitie   QUEUE QueueLitie
                 SEIZE Litie
                 DEPART QueueLitie
                 READ Param2,1,EndOfFile
                 TEST E Param1,0,creatingLitie
                 TRANSFER ErrorOpen
                 ADVANCE Param2,2
  
```

For Help, press F1      Report is Complete.      Clock

Рисунок 2.3 – Інтерфейс GPSS WORLD

AnyLogic є універсальним інструментом, який підтримує різні парадигми моделювання: дискретно-ситуаційне, агентне та системну динаміку. Це забезпечує гнучкість у створенні моделей різних типів систем. AnyLogic має інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс, що спрощує процес розробки моделей. Крім того, він інтегрується з мовою програмування Java, що дозволяє розширювати функціональність моделей. Проте, складність освоєння та вартість ліцензії можуть бути перешкодою для деяких користувачів [20].

На рисунку 2.4 наведений вид інтерфейсу AnyLogic.

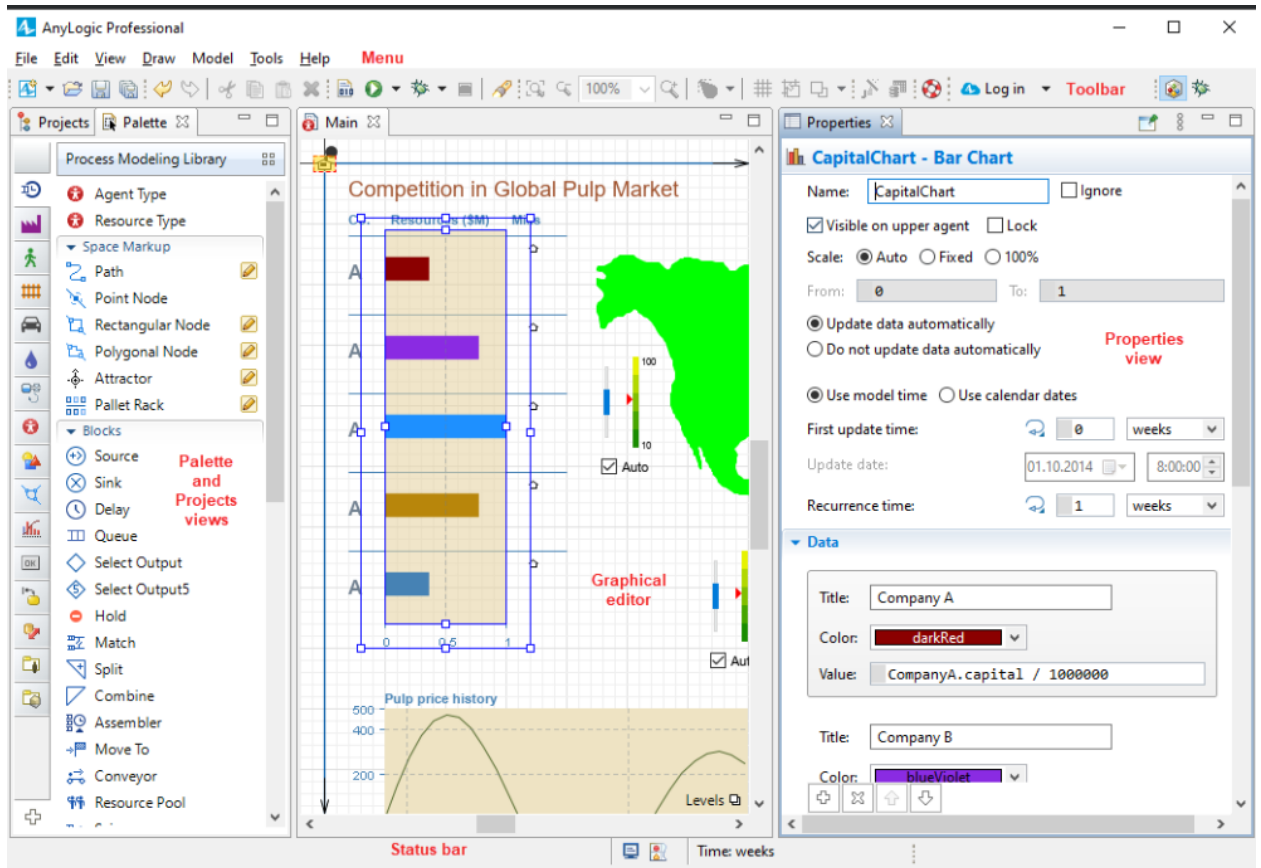


Рисунок 2.4 – Інтерфейс програмного засобу AnyLogic

Arena є ще одним популярним інструментом для дискретно-ситуаційного моделювання, розробленим компанією Rockwell Automation. Вона широко використовується в промисловості для аналізу та оптимізації виробничих процесів, логістики та інших операцій. Arena пропонує зручний графічний інтерфейс, що дозволяє швидко створювати моделі за допомогою блок-схем. Однак, її функціональність може бути обмеженою для моделювання систем, що виходять за межі дискретно-ситуаційного підходу.

У підсумку, вибір між GPSS World, AnyLogic та Arena залежить від специфіки завдань моделювання, вимог до гнучкості та функціональності, а також від наявних ресурсів та досвіду користувача. GPSS World підходить для тих, хто віддає перевагу текстовому опису моделей і працює з дискретними системами. AnyLogic забезпечує універсальність та підтримку різних підходів

до моделювання, що робить його придатним для складних та різноманітних систем. Arena є оптимальним вибором для швидкого створення моделей виробничих та логістичних процесів за допомогою графічного інтерфейсу. На рисунку 2.5 зображений інтерфейс програмного засобу Arena [20].

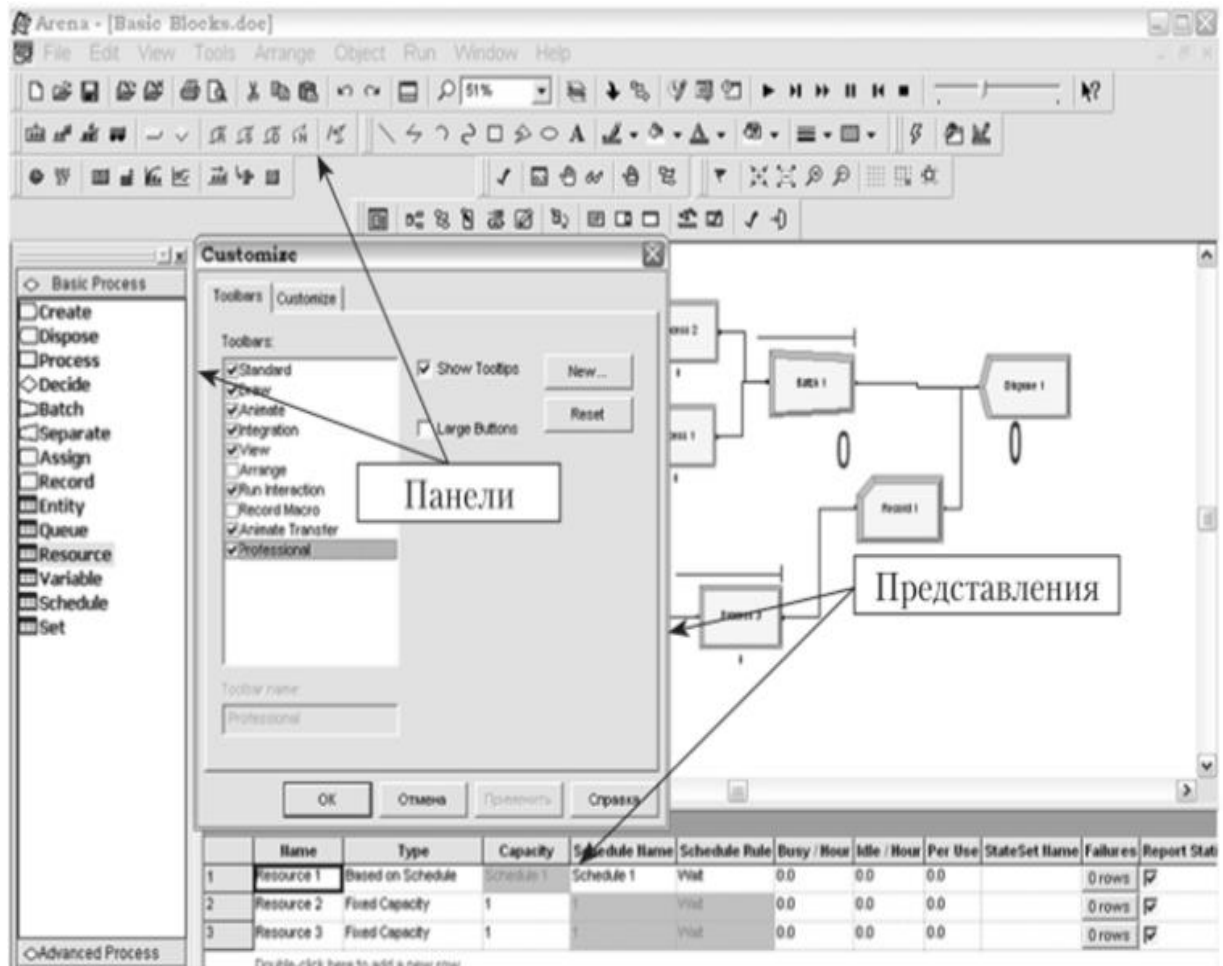


Рисунок 2.5 – Інтерфейс Arena

У рамках проведеного мною експерименту, мій вибір пав на програмний засіб GPSS WORLD. Зокрема, через те, що цей засіб достатньо простий у освоєнні, але у той же час функціональний. За його допомогою, у користувача є можливість власноруч прослідкувати за рухом об'єкту (транзакту) від початку його «життя» до фінальної точки, а також побудувати різноманітні гістограми, графіки, таблиці, та багато іншого, що допоможе повністю проаналізувати поставлену задачу з різних кутів.

## 2.5 Розробка структурної та Q-схем комп'ютерно-інтегрованого виробничого процесу

Розробка структурних та Q-схем відіграє ключову роль у моделюванні технологічних процесів, забезпечуючи візуалізацію, аналіз складних систем та сприяючи їх оптимізації й ефективному управлінню.

Структурна схема демонструє основні компоненти системи та їх взаємозв'язки, даючи змогу отримати загальне уявлення про архітектуру процесу. Вона дозволяє визначити ключові елементи, їхні функції та взаємодію, що є важливим для розуміння структури технологічного процесу. Це допомагає виявляти потенційні вузькі місця та знаходити шляхи для оптимізації роботи системи.

Q-схема (або схема черг) фокусується на потоках матеріалів, інформації чи продуктів через різні етапи процесу, аналізуючи черги та можливі затримки. Вона дозволяє оцінювати динаміку системи, визначати час очікування, ідентифікувати затримки та оцінювати ефективність використання ресурсів. Такий підхід особливо корисний для оптимізації процесів, де черги та час обробки суттєво впливають на загальну продуктивність.

Застосування структурних та Q-схем у моделюванні технологічних процесів забезпечує цілісний аналіз системи. Структурні схеми пропонують статичний огляд елементів та їх взаємозв'язків, тоді як Q-схеми дають змогу аналізувати динамічні аспекти функціонування процесу. Поєднання цих інструментів дозволяє краще розуміти систему, ідентифікувати проблемні ділянки та розробляти ефективні стратегії їх усунення.

Отже, створення структурних та Q-схем є невід'ємною складовою моделювання технологічних процесів, що сприяє комплексному аналізу системи та прийняттю обґрунтованих рішень для підвищення її продуктивності.

У процесі розв’язання задачі було розроблено структурну схему технологічного процесу створення корпусів електронного обладнання (рис.2.6) і Q-схему цеху зі створення корпусів (рис. 2.7).

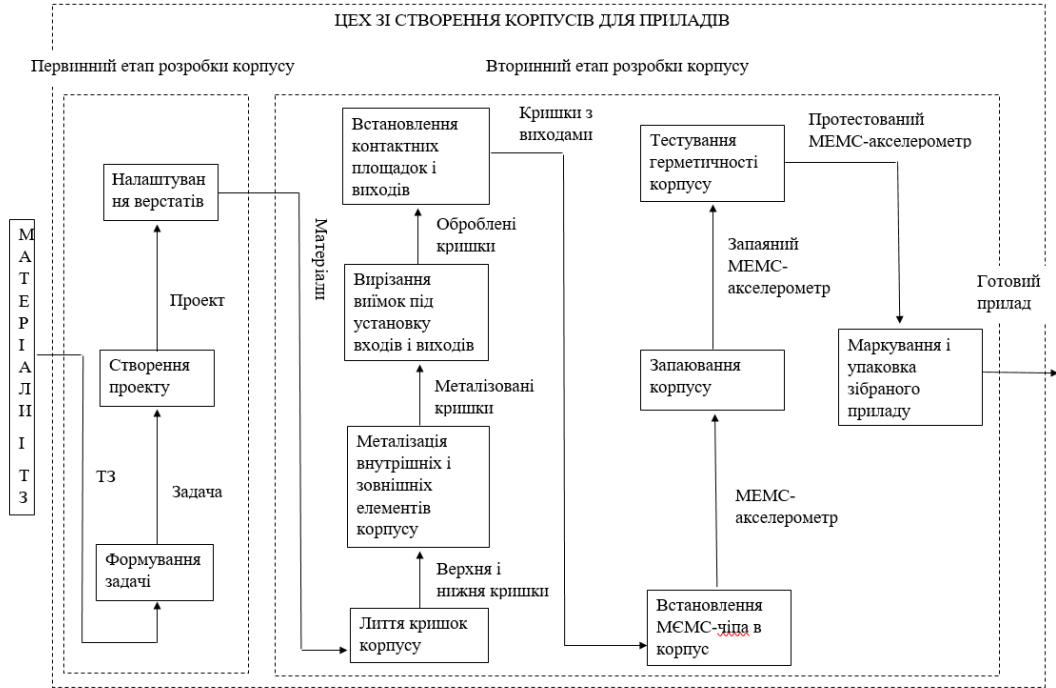


Рисунок 2.6 – Структурна схема технологічного процесу створення корпусів електронного обладнання

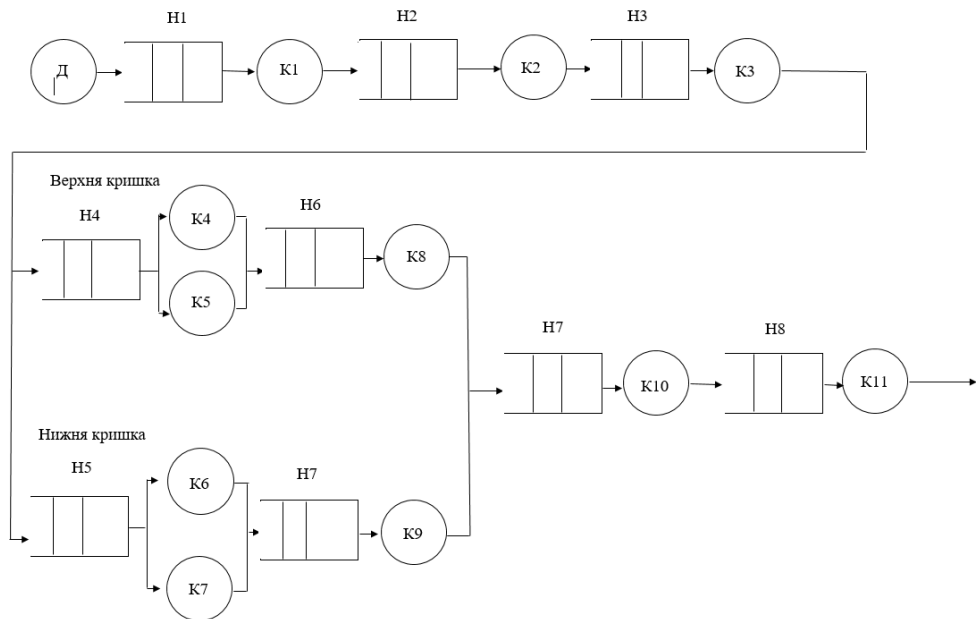


Рисунок 2.7 – Q-схема технологічного процесу створення корпусів електронного обладнання

## 2.6 Побудова UML-діаграм

Після побудови структурної та Q схем з'явилась можливість для більш поглибленого аналізу теми роботи, тому гарним рішенням буде наступним кроком побудувати кілька діаграм за допомогою програмного засобу StarUML, зокрема таких як: діаграма прецедентів, класів, послідовностей і комунікацій. Це допоможе більш цілісно оцінити тонкощі роботи представленої моделі комп'ютерно-інтегрованого виробничого процесу.

StarUML – це потужне програмне забезпечення для моделювання, яке використовується для створення UML-діаграм, необхідних для проектування та аналізу програмного забезпечення. Програма підтримує широкий спектр типів діаграм, які входять до мови моделювання UML (Unified Modeling Language), а також має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що сприяє ефективній роботі як початківців, так і досвідчених розробників [21].

Основна мета StarUML – забезпечити розробникам, аналітикам і архітекторам програмного забезпечення зручний інструмент для документування системи та формалізації її структури й поведінки. Програма підтримує сучасний формат UML 2.x, що дозволяє користувачам створювати різноманітні моделі, такі як діаграми класів, об'єктів, прецедентів, послідовностей, станів, діяльності та багато інших. Крім того, StarUML забезпечує інтеграцію з іншими інструментами та мовами програмування, дозволяючи експортувати моделі у вигляді коду чи документації [21].

Мова UML є уніфікованою мовою моделювання, яка була розроблена для стандартизації підходів до проектування систем і забезпечення ефективної комунікації між розробниками. Вона дозволяє описувати статичні та динамічні аспекти системи за допомогою графічних елементів, таких як діаграми, що слугують формалізованим способом представлення складних ідей. Однією з головних переваг UML є її незалежність від конкретної мови програмування чи технології, що робить її універсальним інструментом у процесі розробки.

Ключовою особливістю UML є її здатність об'єднувати технічні та нетехнічні аспекти проєкт. Наприклад, діаграми прецедентів допомагають візуалізувати, як кінцеві користувачі взаємодіють із системою, тоді як діаграми класів або об'єктів деталізують внутрішню структуру системи та її компоненти. Діаграми послідовностей та діяльності ілюструють динамічну поведінку системи, що є важливим для розуміння процесів, які відбуваються під час її роботи.

StarUML особливо корисна завдяки своїй гнучкості. Вона дозволяє розробникам змінювати шаблони, додавати плагіни для розширення функціональності та працювати з кількома проєктами одночасно. Зручність використання та багатство інструментів у поєднанні з відкритістю до інтеграції роблять StarUML популярним вибором для моделювання навіть найскладніших систем [21].

UML та інструменти на зразок StarUML є незамінними в процесі розробки сучасного програмного забезпечення, оскільки вони допомагають не лише зменшити ймовірність помилок у проєктуванні, але й полегшують комунікацію в командах, забезпечуючи спільне бачення кінцевого продукту [21].

Для побудови було обрано 4 види UML-діаграм. Перша з них – діаграма прецедентів.

Діаграма прецедентів є інструментом для моделювання функціональних вимог до системи. Ця діаграма дозволяє візуалізувати взаємодію між зовнішніми користувачами або іншими системами (акторів) і функціональністю, яку система надає (прецеденти). Вона слугує містком між замовниками, розробниками та іншими зацікавленими сторонами, допомагаючи зрозуміти, що саме має робити система [21].

Діаграма класів у середовищі StarUML є одним із найважливіших інструментів для моделювання об'єктно-орієнтованого програмного забезпечення. Ця діаграма використовується для відображення статичної структури системи, показуючи класи, їхні атрибути, методи, а також зв'язки

між класами. Вона допомагає архітекторам і розробникам візуалізувати дизайн системи, спрощуючи процес аналізу, планування та реалізації [21].

Діаграма послідовностей у середовищі StarUML є інструментом для моделювання динамічної поведінки системи. Вона показує, як об'єкти взаємодіють між собою через обмін повідомленнями, відображаючи послідовність цих взаємодій у часі. Цей тип діаграми використовується для аналізу сценаріїв використання (use cases) і є незамінним для розробників під час проектування функціональності [21].

Діаграма комунікацій у середовищі StarUML є одним із видів діаграм взаємодії в мові UML. Вона використовується для моделювання взаємодії між об'єктами або компонентами системи, демонструючи, як вони обмінюються повідомленнями під час виконання певного сценарію. Ця діаграма фокусується на структурі зв'язків між елементами системи та послідовності повідомлень, які проходять через ці зв'язки [21].

### 2.6.1 Діаграма прецедентів

Діаграма прецедентів детально описує кожну з дій, які представлені у проекті, що дозволяє отримати уявлення про виконувані роботи. Розроблена діаграма зображена на рисунку 2.8, а опис необхідних абстракцій приведений у таблиці 2.1. Також нижче приведений детальний опис деяких прецедентів.

Таблиця 2.1 – Опис необхідних абстракцій

Роль	Опис
Замовник	Видача ТЗ, перевірка створеного виробу на відповідність ТЗ
Керівник цеху	Розробка проекту, видача завдання, керування ходом робіт, замовлення матеріалів, перевірка створеного виробу на відповідність ТЗ

Продовження таблиці 2.1

Роль	Опис
Спеціаліст-перевіряючий	Налаштування верстатів за параметрами необхідними для створення виробу, слідкування за ходом роботи верстатів, написання звітів по роботі
Спеціаліст-відлагоджувальник	Налагоджування верстатів, які вийшли з роботи, написання звітів по роботі, робота з бракованим виробом
Верстати	Металізація виробу, вирізання, лиття, встановлення, запаювання

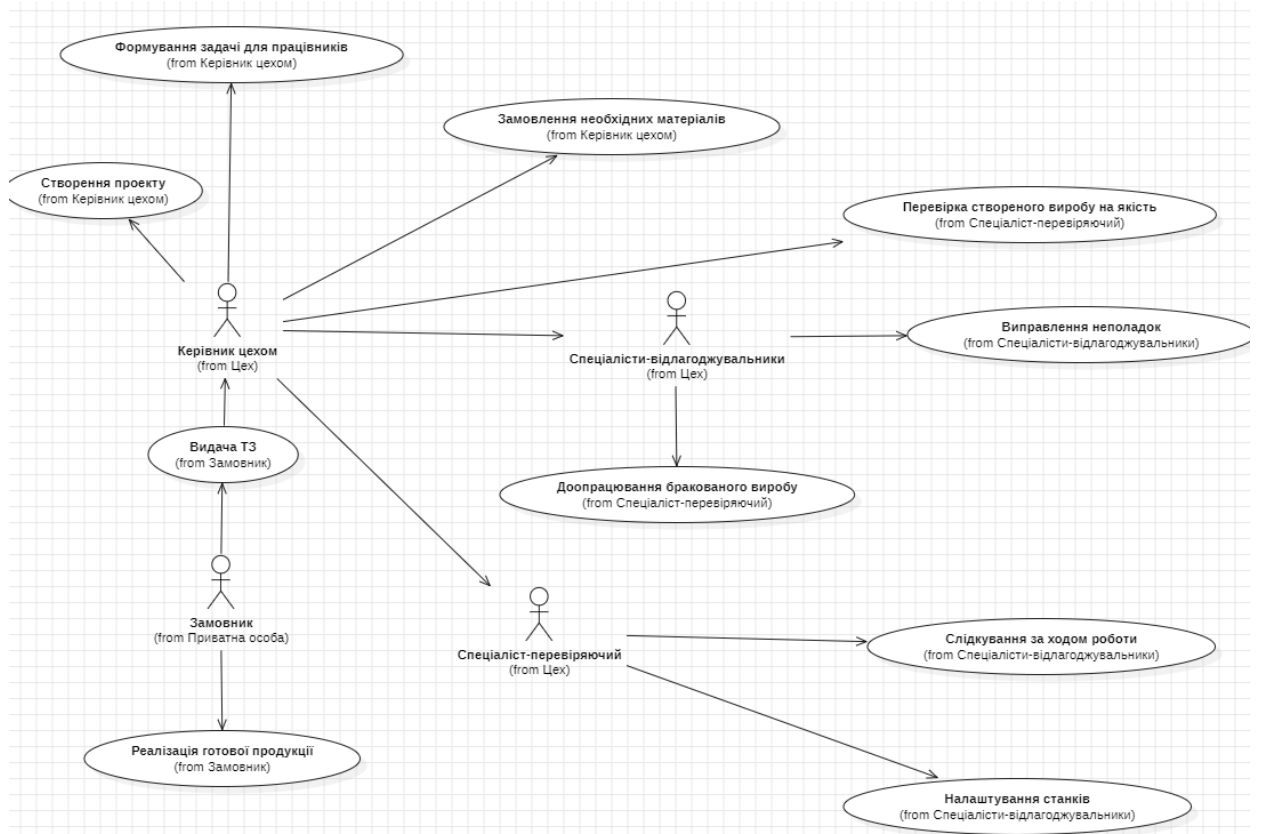


Рисунок 2.8 – Розроблена діаграма прецедентів для виробничого цеху

Нижче наведений розгорнутий опис деяких прецедентів.

Прецедент №1 – Видача ТЗ.

Масштаб: цех.

Рівень: задача начальника відділу.

Головний актор: замовник.

Зацікавлені особи та їх вимоги:

- замовник хоче отримати виріб згідно з поставленою задачею, в умовлені строки, без затримок;
- начальник цеху хоче виконати роботу згідно з ТЗ, максимально швидко та якісно, задля розвитку та гарного відгуку підпорядкованої їм виробничої ділянки.

Передумови: отримання ТЗ.

Результати: ТЗ отримано повністю розібране з замовником, поставлена задача зрозуміла, та її можна виконати в умовах даної виробничої дільниці.

Основний успішний сценарій:

- замовник створює ТЗ згідно до своїх потреб;
- надає ТЗ керівнику виробничої дільниці;
- оговорює з керівником виробничої дільниці всі тонкощі виробу, строків, матеріалів, тощо;
- керівник виробничої дільниці розробляє задачі для своїх підлеглих та замовляє матеріали для роботи.

Нижче наведено розширення (або альтернативні потоки).

При неправильному розумінні ТЗ: для правильного створення замовлення виробу, необхідно зв'язатись з замовником, та більш щільно оговорити ТЗ.

При неможливості виконання поставленої задачі через форс-мажорні обставини: необхідно зв'язатись з замовником, оговорити строки усунення неполадки або вирішення виниклої проблеми. Якщо замовника не влаштують нові умови, потрібно буде заплатити неустойку, або знайти рішення, яке в результаті не нашкодить іміджу виробничої дільниці.

Частота використання: один раз на проект.

Прецедент №2 – Налаштування верстатів.

Масштаб: виробнича дільниця.

Рівень: задача рівня співробітника.

Головний фактор: спеціаліст-перевіряючий.

Зацікавлені особи та їх вимоги:

- спеціаліст-перевіряючий, хоче правильно налаштувати верстати згідно з поставленою задачею, щоб підвищити свою кваліфікацію та отримати премію;

- керівник цеху, хоче щоб верстати працювали справно, ефективно, згідно з параметрам вказаним у ТЗ.

Передумови: отримання задачі від керівника цеху.

Результати: вчасно та правильно налаштовані верстати.

Основний успішний сценарій:

- після отримання ТЗ керівник розраховує, які верстати потрібні для роботи, а які ні. Надає цю інформацію спеціалісту-налаштувальнику;

- спеціаліст-налаштувальник згідно з отриманим завданням налаштовує верстати;

- верстати працюють правильно, та вчасно виконують роботу.

Нижче наведено розширення (або альтернативні потоки).

При неправильному виборі верстатів: необхідно терміново передивитись план робіт, та переробити поставлені задачі для спеціаліста-налаштувальника.

При неправильному налаштуванні верстатів: необхідно змінити спеціаліста на більш кваліфікованого. Провести технічний огляд неправильно налаштованого верстату, щоб перевірити його справність.

Частота використання: Декілька разів на проект.

Прецедент №3 – Перевірка створеного виробу на якість.

Масштаб: виробнича ділянка.

Рівень: задача рівня начальник цеху.

Головний актор: начальник цеху.

Зацікавлені особи та їх вимоги:

– керівник проекту хоче, щоб виріб повністю відповідав вимогам ТЗ, був якісним та надійним.

Передумови: створення виробу.

Результати: створений виріб пройшов перевірку на якість та може бути допущений на огляд до замовника.

Основний успішний сценарій:

- виріб пройшов всі етапи розробки;
- кілька виробів з партії відправлені на перевірку їх якості згідно з поставленою задачею;
- вироби пройшли перевірку;
- партія виробів передана до замовника.

Нижче наведено розширення (або альтернативні потоки).

При не проходженні відібраних з партії виробів, вся партія бракується. Після чого процес розробки починається спочатку з урахуванням нюансів, які були не враховані, якщо такий варіант задовольняє замовника.

Частота використання: декілька разів за проект.

### 2.6.2 Діаграма класів

Діаграма класів показує тонкощі, кожного з абстрактів, його наповнення, та дії, які він виконує під час роботи над проектом, це допоможе більше зрозуміти модель та більш якісно виконати її аналіз. Для її побудови спочатку необхідно створити таблицю з описом необхідних абстракцій, які будуть представлені у ній. Опис необхідних абстракцій приведений в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Опис абстракцій для діаграми класів

Назва	Опис	Категорія
Замовник	Містить інформацію про замовника, його ПІБ, телефон, текст ТЗ.	Ролі людей або організації
Керівник цеху	Містить інформацію про керівника цеху, його ПІБ, телефон, кваліфікацію співробітника.	Ролі людей або організації
Спеціаліст-перевіряючий	Містить інформацію про спеціаліста-перевіряючого, його ПІБ, телефон, кваліфікацію співробітника.	Ролі людей або організації
Спеціаліст-відлагоджувальник	Містить інформацію про спеціаліста-відлагоджувальника, його ПІБ, телефон, кваліфікацію співробітника.	Ролі людей або організації
Верстати	Містить інформацію про вид верстату, його технічні характеристики.	Матеріальний об'єкт
Створений виріб	Містить інформацію про створений виріб, його технічні характеристики, кількість, собівартість та рекомендації та документацію з використання.	Матеріальний об'єкт

Діаграма класів приведена на рисунку 2.9.

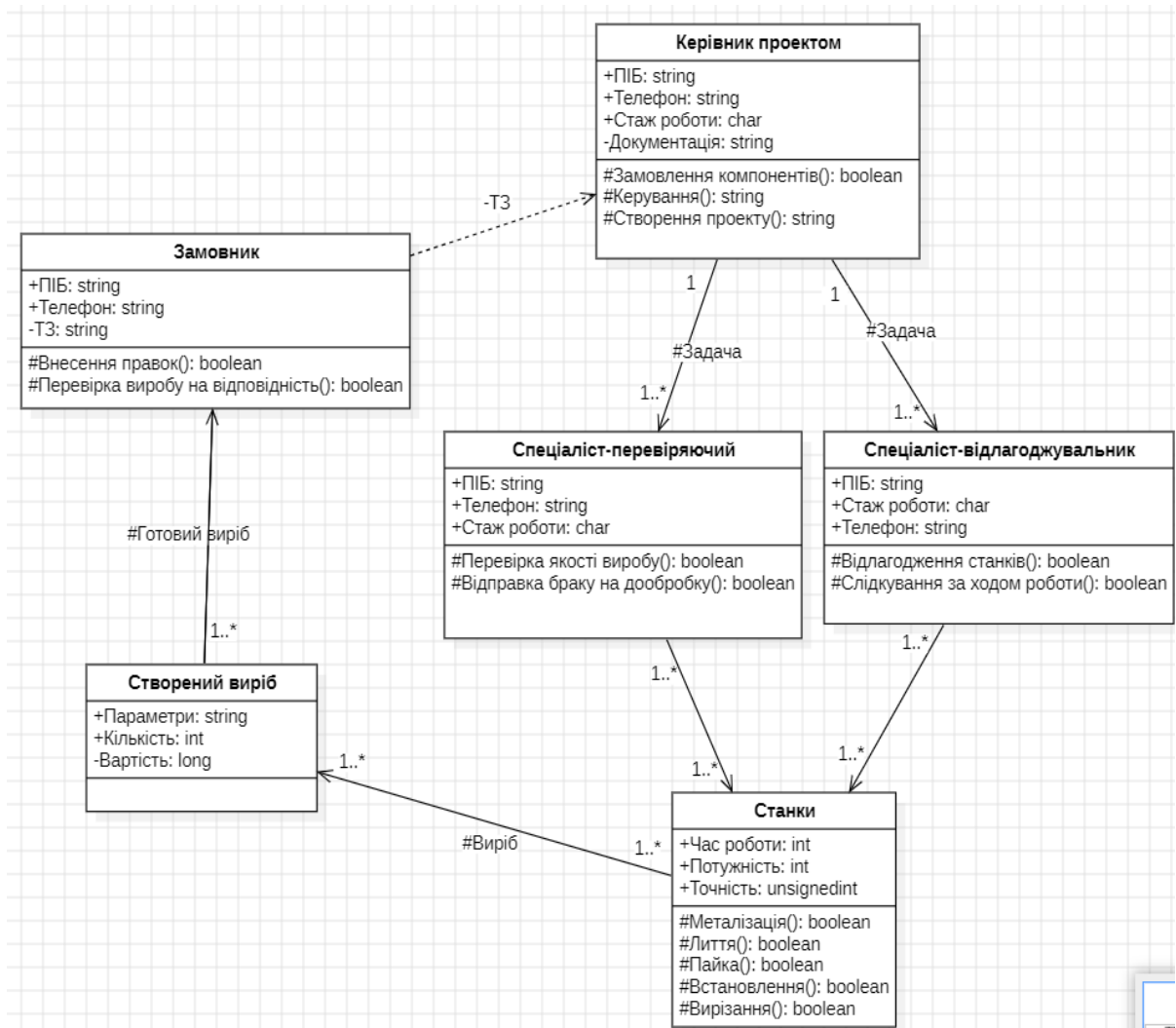


Рисунок 2.9 – Розроблена діаграма класів

### 2.6.3 Діаграма послідовностей

Також у ході роботи була розроблена діаграма послідовностей, використовуються для моделювання взаємодії між об'єктами або компонентами системи в певний момент часу. Вона показує, яким чином робота починається і поетапно показує, як вона приходить до завершення. Її вигляд представлено на рисунку 2.10.

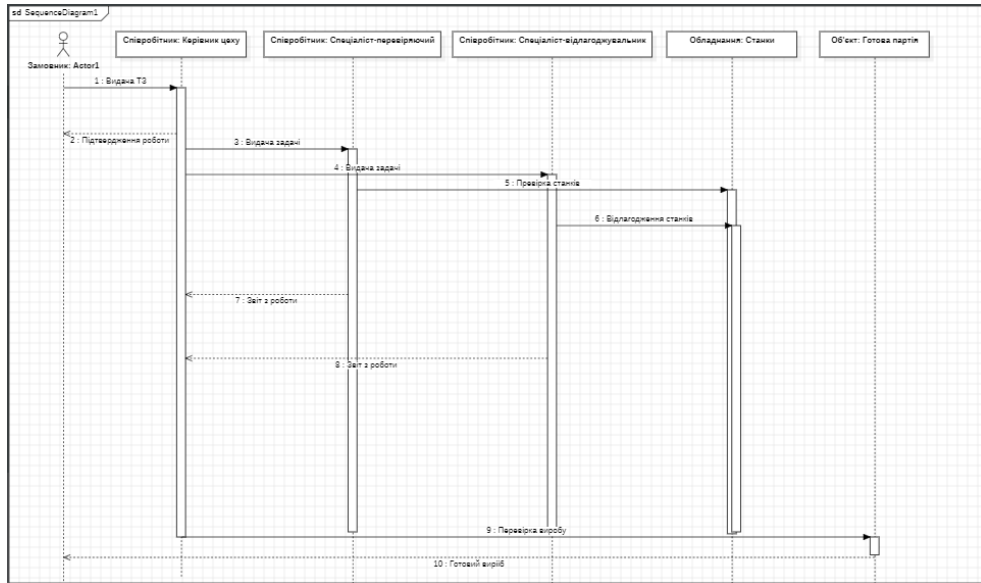


Рисунок 2.10 – Розроблена діаграма послідовностей

#### 2.6.4 Діаграма комунікацій

Розроблена діаграма комунікацій дозволяє отримати уявлення про те, як задачі курсують від одного виконавця до іншого, та як абстракти взаємодіють. Діаграма представлена на рисунку 2.11.

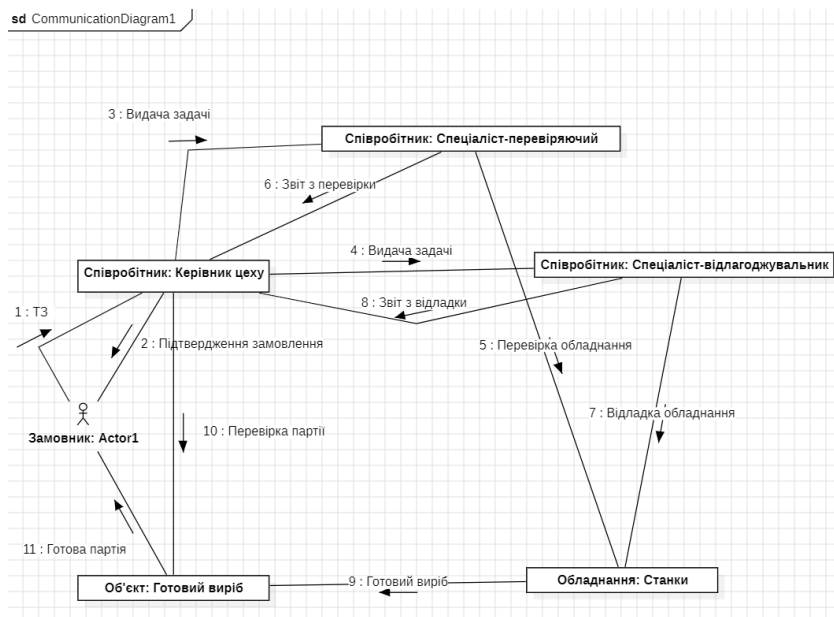


Рисунок 2.1 – Розроблена діаграма комунікацій

## 2.7 Висновки по другому розділу

У ході проведеної роботи було виконано підготовчий етап до початку алгоритмізації і створення готового програмного засобу згідно з поставленим завданням. Для цього були розглянуті різні методи моделювання, та обрано імітаційне. Наступним етапом став вибір програмного засобу для побудови моделі. Завдяки своїм перевагам у створенні імітаційних моделей було обрано GPSS WORLD.

Для того щоб розширити розуміння моделі, було залучено програмний засіб StarUML, та завдяки ньому побудовано чотири види діаграм: класів, комунікацій, прецедентів та послідовностей. Це дозволило подивитись на модель не тільки з точки зору розробника програмного забезпечення для моделювання, а й як спеціаліста більш широкого спектру, що відповідає за розробку повноцінної великої системи «з нуля».

Для більш простої алгоритмізації та створення програмного засобу, було створено структурну та Q-схеми.

## 3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ЕКСПЕРЕМЕНТИ

### 3.1 Опис обраного програмного рішення для розв'язання задачі

GPSS World (General Purpose Simulation System) – це одна з найпоширеніших мов імітаційного моделювання, яка спеціалізується на розробці моделей систем із дискретними подіями. Ця мова була створена для моделювання складних процесів у промисловості, логістиці, транспорті та інших сферах, де важливо враховувати зміну станів системи у часі [22].

GPSS World є сучасною реалізацією GPSS і пропонує потужний функціонал для створення моделей, що описують потоки об'єктів через систему, їх взаємодію з ресурсами, затримки, черги та інші аспекти. Ключова особливість GPSS полягає в тому, що моделі описуються як набір блоків, кожен з яких відповідає за певну операцію або функцію. Цей підхід робить процес створення моделей інтуїтивно зрозумілим, оскільки блоки виконують роль модульних елементів, які можна комбінувати для відображення логіки системи [22].

GPSS World підтримує роботу з великими моделями, пропонуючи засоби для їхньої організації та аналізу. Завдяки вбудованим інструментам користувачі можуть отримувати детальну статистику про функціонування системи, як-от час перебування об'єктів у чергах, завантаження ресурсів, загальний час виконання процесів тощо. Це дозволяє детально аналізувати ефективність системи та знаходити "вузькі місця".

Інтерфейс GPSS World орієнтований на зручність у розробці моделей і проведенні експериментів. Він поєднує текстовий опис моделі з можливістю її візуалізації, що сприяє кращому розумінню роботи системи та допомагає виявляти помилки ще на етапі розробки. Мова GPSS містить багатий набір вбудованих функцій і операторів, що дозволяють реалізовувати складну поведінку системи без значних зусиль [22].

GPSS World використовується як у навчальних цілях, так і в професійній діяльності. У навчанні ця система дозволяє студентам засвоїти основи дискретно-подієвого моделювання, розуміти поведінку систем, що взаємодіють із потоком об'єктів. У промисловості GPSS World застосовують для оптимізації виробничих процесів, планування логістичних операцій, аналізу завантаження ресурсів і прийняття управлінських рішень [22].

Однією з переваг GPSS World є його адаптивність до різних завдань. Завдяки гнучкості мови та наявності великої кількості прикладних матеріалів користувачі можуть швидко навчитися створювати моделі, що відповідають їхнім потребам. Усе це робить GPSS World потужним інструментом для моделювання систем із дискретними подіями [22].

### 3.2 Алгоритмізація моделі

Для моделювання алгоритму побудуємо алгоритм:

1. Початок.
2. Формування технічного завдання (транзакту).
3. Зайняття черги підготовки до обробки .
4. Початок процесу підготовки .
5. Звільнення черги.
6. Підготовка.
7. Закінчення підготовки.
8. Перехід до етапу лиття кришки.
9. Зайняття черги лиття кришки.
10. Зайняття ливарного верстату.

11. Звільнення черги.
12. Лиття кришок.
13. Закінчення лиття.
14. Перехід до етапу металізації.
15. Зайняття черги металізації.
16. Зайняття верстату для металізації.
17. Звільнення черги.
18. Металізація кришок.
19. Закінчення металізації.
20. Перехід до етапу нарізки.
21. Зайняття черги для нарізки.
22. Зайняття верстату для нарізки.
23. Звільнення черги.
24. Нарізка.
25. Закінчення нарізки.
26. Перехід до етапу встановлення чіпу.
27. Зайняття черги для встановлення чіпу.
28. Зайняття верстату для встановлення.
29. Звільнення черги.
30. Початок встановлення.
31. Закінчення встановлення.
32. Перехід до етапу розділення на кришки.
33. Створення двох копій транзакту.
34. Верхню кришка надходить на перший верстат.
35. Нижня кришка надходить на другий верстат.
36. Паралельне займання першого і другого верстатів.
37. Зайняття черги першого і другого верстатів кришками.
38. Зайняття верстатів.
39. Звільнення черги.

40. Початок обробки на двох верстатах, при чому час обробки на кожному верстаті різний.
41. Закінчення роботи верстатів.
42. Перехід до етапу встановлення чіпів.
43. Об'єднання транзактів.
44. Зайняття черги встановлення чіпу.
45. Зайняття верстату для встановлення.
46. Звільнення черги.
47. Початок встановлення.
48. Закінчення встановлення.
49. Перехід до етапу запайки.
50. Зайняття черги запайки.
51. Зайняття верстату для запайки.
52. Звільнення черги.
53. Початок запайки.
54. Закінчення запайки.
55. Перехід до етапу тестування.
56. Зайняття черги тестування.
57. Зайняття тестувального верстату .
58. Звільнення черги.
59. Початок тестування.
60. Закінчення тестування.
61. З вірогідністю у 77% транзакт проходить тестування, в іншому випадку утилізується.
62. Зайняття черги на маркування.
63. Зайняття маркувального обладнання.
64. Звільнення черги.
65. Початок маркування.
66. Закінчення маркування.
67. Знищення транзакту.

### 68. Завершення роботи програми.

У подальшому будемо вважати, що 1 година об'єктного часу відповідає 1 одиниці моделювального часу.

### 3.3 Проведення машинного експерименту

Проведемо 10 експериментів з моделлю, для того щоб проаналізувати модель та визначити необхідні для розрахунків параметри. Після цього заповнимо табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри, що були отримані після 10 проведених експериментів

№	Ймовірність простою процесу	Кількість розроблених проєктів	Мінімальна завантаженість спеціалістів	Максимальна завантаженість спеціалістів
1	0.334	10	0.139 (MARKING)	0.822 (VERSTAT2)
2	0.387	13	0.181 (MARKING)	1 (VERSTAT2)
3	0.459	18	0.250 (ZAPAIKA)	1 (VERSTAT2)
4	0.458	20	0.250 (INSTALL)	1 (VERSTAT2)
5	0.403	10	0.098 (TESTER1)	1 (VERSTAT2)
6	0.443	15	0.219 (MARKING)	1 (VERSTAT2)
7	0.416	18	0.238 (CUTTING)	1 (VERSTAT2)
8	0.428	17	0.232 (MARKING)	1 (VERSTAT2)
9	0.428	17	0.222 (CUTTING)	1 (VERSTAT2)
10	0.412	17	0.211 (TESTING)	1 (VERSTAT2)

Також необхідно побудувати таблицю з параметрами черг, що допоможе визначити місця затримки транзактив у системі (табл. 3.2). Для цього виберемо такі параметри: MAX – максимальна довжина черги, ENTRY – загальна

кількість входів у чергу, ENTRY(0) – Кількість нульових входів у чергу, AVE.COUNT. – середня довжина черги, AVE.TIME – середній час перебування транзактів у черзі. Характеристики були отримані при проходженні 10-го експерименту.

Таблиця 3.2 – Характеристики можливих черг

Черга	MAX	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.COUNT	AVE.TIME
QUEUEPREPARE	1	18	18	0	0
QUEUELITIE	1	18	17	0	0.002
QUEUEMETAL	1	18	16	0.019	0.076
QUEUECUTTING	1	19	19	0	0
QUEUEINSTALL	1	19	19	0	0
QUEUEVERSTAT2	34	56	0	30.498	39.211
QUEUEVERSTAT1	3	29	10	0.519	1.290
QUEUEINSTALLCHIP	1	16	14	0.012	0.052
QUEUEZAPAIKA	1	17	17	0	0
QUEUETESTING	1	16	16	0	0
QUEUEMARKING	1	16	15	0.002	0.008

Для тих самих потреб, що і таблиця черг, побудуємо таблицю для характеристик об'єктів (табл. 3.3). Для цього виберемо такі параметри: ENTRIES – загальна кількість входів транзакту до об'єкта, UTIL. – завантаження об'єктів, AVE. TIME – середній час обробки об'єктом. Характеристики були отримані при проходженні 10-го експерименту.

Таблиця 3.3 – Характеристики об'єктів

Об'єкт	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME
PREPARE	18	0.500	2
LITIE	19	0.469	1.776
METAL	19	0.537	2.037
CUTTING	19	0.264	1
INSTALL	19	0.264	1
VERSTAT2	24	1	3
VERSTAT1	28	0.737	1.895
INSTALLCHIP	17	0.233	0.987
ZAPAИKA	17	0.225	0.953
TESTING	16	0.211	0.950
TESTER1	12	0.281	1.688
MARKING	17	0.233	0.986

За даними з побудованих таблиць розрахуємо похибку оцінки для події простою виробничого процесу цеху та завантаження верстатів. Розрахунок будемо проводити для першого прогону моделі. Для цього використаємо формулу:

$$\varepsilon = t_{\alpha} \sqrt{\frac{p(1-p)}{N}}, \quad (3.1)$$

де  $t_{\alpha}$  – табличний коефіцієнт, що відповідає достовірності результатів  $\alpha$  (у нашому випадку  $\alpha = 0,95$ , тому  $t_{\alpha} = 1,96$ );

$p$  – ймовірність події (простою виробничого процесу, завантаження спеціалістів);

$N$  – кількість реалізацій моделі (реалізованих проєктів).

Розрахунок статистичної оцінки похибки для простою виробничого процесу:

$$\varepsilon = 1,96 \sqrt{\frac{0.334(1 - 0.334)}{10}} = 0.0711. \quad (3.2)$$

Розрахунок статистичної оцінки похибки для мінімального завантаження верстатів:

$$\varepsilon = 1,96 \sqrt{\frac{0.139(1 - 0.139)}{10}} = 0.0470. \quad (3.3)$$

Розрахунок статистичної оцінки похибки для максимального завантаження верстатів:

$$\varepsilon = 1,96 \sqrt{\frac{0.822(1 - 0.822)}{10}} = 0.0576. \quad (3.4)$$

### 3.4 Висновки по третьому розділу

Отже, у ході проведених експериментів можна зробити багато висновків.

Напевно, головний з них – система працює стабільно, якщо задача яку вона виконує не розтягується на довго, бо можна помітити, якщо проганяти модель кілька разів підряд, що деякі з верстатів просто забиваються і не встигають виконати поставлену на них задачу. В основному це видно на другому верстаті, який відповідає за обробку нижньої кришки. Так як особливістю розробки кришок є розділення на верхню та нижню, а вони мають

різну кількість виходів, то і час обробки в них різний, що не дозволяє одночасно перейти до наступного етапу. Це можна легко виправити, наприклад, встановленням більш ефективного верстату, що допоможе виправити лівову частину проблем моделі та збільшити її ефективність в рази. Але в такому випадку виникає інша проблема, так як верстати які йдуть далі, вже просто не справляються з кількістю корпусів які до них поступають, що виливається в повне завантаження верстатів, і їх швидку поломку. Тому основними порадами для змодельованого виробництва буде покращити якість та ефективність самих верстатів, або брати меншу кількість роботи.

Також варто сказати про способи покращення самого програмного забезпечення. Напевно найголовнішою порадою буде – універсалізація. За допомогою операторів OPEN, READ, CLOSE, можна зробити універсальну програму, в якій можна буде швидко змінювати параметри, я залежності від ваших задач.

Якщо в принципі пройтись по отриманим результатам, як і було сказано вище «вузьким місцем» став верстат №2. Він просто не встигає оброблювати кришку паралельно з першим, що виливається у великі черги та швидку трату ресурсу обладнання. Однак вірогідність простою для всіх 10 прогонів моделі була мала, що і каже про ефективність при невеликих об'ємах роботи. Максимальна кількість отриманих за 72 години моделювального часу корпусів стала – 20, що насправді дуже не великий результат, але варто взяти в увагу, що сам цех працює для різних видів приладів, тому майже для кожного замовлення потрібно робити пере налаштування обладнання. Також було обчислено похибки для простою виробничого процесу, мінімального та максимального завантаження верстатів, результати виявились задовільними, що дозволяє сказати про достовірність отриманих даних.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці є важливою складовою організації будь-якого виробничого процесу, адже саме вона спрямована на збереження здоров'я та життя працівників. Це комплекс заходів, що включає правові, соціально-економічні, технічні та організаційні аспекти. Її основне завдання полягає у створенні умов, які забезпечують безпечну та продуктивну діяльність персоналу, запобігають виробничим травмам і професійним захворюванням.

На підприємстві, що спеціалізується на виготовленні корпусів для пристроїв, існує низка потенційних загроз для здоров'я та безпеки працівників. Наприклад, механічні травми можуть виникати через використання штампувальних машин або інших верстатів для обробки металу. Шкідливі речовини, які виділяються під час фарбування та обробки матеріалів, становлять серйозну загрозу для органів дихання. Несправність обладнання або порушення правил експлуатації може спричинити ураження електричним струмом. Крім того, працівники піддаються тривалому впливу шуму та вібрацій, що виникають під час роботи з важким обладнанням, що може стати причиною професійних захворювань. Особливу небезпеку становлять пожежі через використання легкозаймистих матеріалів і електрообладнання [25].

Технологічний процес виробництва корпусів включає кілька етапів. Спочатку здійснюється різання та штампування металу, що супроводжується високим рівнем шуму та ризиком отримання травм. Далі проводиться механічна обробка заготовок, яка потребує точності та уважності, адже неправильна робота з інструментами може призвести до пошкоджень. Під час фарбування корпусів виникає небезпека вдихання токсичних речовин, а на етапі складання готової продукції важливо уникати неправильного поводження з електроінструментами [25].

Освітлення у виробничих приміщеннях відіграє ключову роль у забезпеченні безпеки та продуктивності праці. Для роботи в цеху з виготовлення корпусів рекомендована освітленість становить 300-500 люкс.

Щоб досягти цих показників, необхідно точно розрахувати кількість і розташування світильників.

Загальний світловий потік розраховується за формулою [23]:

$$F_{\text{заг}} = E \times S, \quad (4.1)$$

де  $F_{\text{заг}}$  – загальний світловий потік (лм);

$E$  – нормативна освітленість (лк);

$S$  – площа приміщення ( $\text{м}^2$ ).

Припустимо, що площа приміщення становить  $400 \text{ м}^2$ , а нормативна освітленість  $1000 \text{ лк}$ . Тоді загальний світловий потік дорівнює:

$$F_{\text{заг}} = 400 \times 1000 = 400000 \text{ лм}, \quad (4.2)$$

Для визначення кількості світильників використовується формула:

$$N = \frac{F_{\text{заг}}}{F_{\text{лам}} \times \eta}, \quad (4.3)$$

де  $N$  – кількість світильників;

$F_{\text{лам}}$  – світловий потік однієї лампи (лм);

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку.

Припустимо, що світловий потік однієї лампи становить  $3600 \text{ лм}$ , а коефіцієнт використання світлового потоку –  $0,6$ . Тоді кількість світильників розраховується наступним чином:

$$N = \frac{4000000}{3600 \times 0,6} \approx 185. \quad (4.4)$$

Таким чином, для забезпечення нормативної освітленості необхідно встановити приблизно 185 світильників.

Ефективна вентиляція в цеху є необхідною для підтримання нормального рівня повітряного обміну, видалення шкідливих речовин і створення комфортних умов для роботи. Для визначення обсягу повітря, який необхідно видалити або подати, використовується формула [24]:

$$L = n \times V, \quad (4.5)$$

де  $L$  – обсяг повітря, що виділяється або подається ( $\text{м}^3/\text{год}$ );

$n$  – кратність повітрообміну (кількість обмінів повітря за годину);

$V$  – обсяг приміщення  $\text{м}^3$ .

Припустимо, що висота стелі становить 8 м, а площа приміщення – 400  $\text{м}^2$ . Об'єм приміщення дорівнює:

$$V = 400 \times 8 = 3200 \text{ м}^3, \quad (4.6)$$

Для цеху з обробки металу, що можна прирівняти до нашого підприємства, рекомендована кратність повітрообміну становить 8-12 обмінів на годину. Виберемо середнє значення,  $n = 10$ . Тоді обсяг повітря, який необхідно подати, буде [25]:

$$L = 10 \times 3200 = 32000 \text{ м}^3/\text{год}, \quad (4.7)$$

Ці розрахунки показують, що для забезпечення ефективної вентиляції приміщення потрібно забезпечити обмін повітря обсягом 32000  $\text{м}^3/\text{год}$ , що дозволить видалити шкідливі речовини і забезпечити комфортні умови роботи.

Система охорони праці на підприємстві, що виготовляє корпуси для пристроїв, включає аналіз потенційних небезпек, дотримання технологічних

інструкцій та забезпечення комфортних умов праці. Усі ці заходи спрямовані на зменшення ризиків для здоров'я працівників та підвищення продуктивності. Розрахунки освітлення показали, що для досягнення необхідного рівня освітленості у приміщенні потрібно встановити 185 світильників, а ефективна вентиляція вимагає повітрообміну обсягом 32000 м<sup>3</sup>/год, що забезпечить безпечні умови для роботи персоналу.

## ВИСНОВКИ

У ході підготовки кваліфікаційної роботи, були отримані основні теоретичні поняття, необхідні для практичного виконання кваліфікаційної роботи.

Завдяки глибинному аналізу теми було визначено вимоги до моделі розподілу і виконання пакетів робіт. Це дало змогу почати пошук теоретичної інформації, необхідної для виконання поставленої задачі. Було розглянуто багато видів моделювання процесу виконання пакетів робіт, та засобів для моделювання виробничих процесів.

Під час виконання роботи було розроблено модель розподілу та виконання пакетів робіт, яка дозволяє підвищити ефективність використання ресурсів та зменшити час виконання робіт у комп'ютерно-інтегрованих системах виробництва, та запропоновано рішення для оптимізації виробничих робіт. Побудовано схеми та алгоритм моделювання процесів виконання робіт з урахуванням їх стохастичного характеру, на основі яких було створено програмне забезпечення з використанням засобів пакету GPSS W.

При аналізі результатів, отриманих під час експериментів, було визначено, що побудована модель працює коректно, та виконує функції, для яких вона була створена. Також це дало змогу дати поради, щодо використання моделі для модернізації інших комп'ютерно-інтегрованих систем.

Було підготовлено тези доповіді на Всеукраїнську науково-практичну конференцію здобувачів вищої освіти і молодих учених «Комп'ютерно-інтегровані технології автоматизації технологічних процесів на транспорті та у виробництві», яка відбулась 20 листопада 2024 р. у Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті (ХНАДУ) [1].

Напрямами подальших досліджень в галузі моделювання процесів виконання робіт технологічних процесів може бути розробка математичних моделей задач оптимізації розподілу пакетів робіт за множиною показників в

умовах неповної визначеності характеристик.

Отримані результати роботи можна віднести до Цілей сталого розвитку 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», а саме 9.4 «Сприяти прискореному розвитку високо- та середньовисокотехнологічних секторів переробної промисловості, які формуються на основі використання ланцюгів «освіта – наука – виробництво» та кластерного підходу за напрямками: розвиток інноваційної екосистеми; розвиток інформаційно-телекомунікаційних технологій (ІКТ); застосування ІКТ в АПК, енергетиці, транспорті та промисловості; високотехнологічне машинобудування; створення нових матеріалів; розвиток фармацевтичної та біоінженерної галузей» [2].

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. Щолоков І. С., Безкоровайний В. В. Моделювання технології виконання пакетів робіт у комп'ютерно-інтегрованому виробничому процесі // Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Комп'ютерно-інтегровані технології автоматизації технологічних процесів на транспорті та у виробництві», Зб. матеріалів форуму. Харків: ХНАДУ. 2024. С. 261-26 URL: <https://mf.khadi.kharkov.ua/departments/avtomatizaciji-ta-kompjuterno-integrovanikh-tekhnologii/konferencija-kit/> (дата звернення: 15.12.2024).
2. Цілі Сталого Розвитку: Україна // Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. 2017. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/natsionalna-dopovid-csr-Ukrainy.pdf> (дата звернення: 15.12.2024).
3. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 26 с.
4. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкоровайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипченко, О. М. Цимбал. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 55 с
5. Положення про академічну доброчесність: Наказ ХНУРЕ від 02 лютого 2021 р. №50. URL: [https://nure.ua/wp-content/uploads/Main\\_Docs\\_NURE/polozhennja-pro-akademichnu-dobrochesnist.pdf](https://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/polozhennja-pro-akademichnu-dobrochesnist.pdf) (дата звернення: 27.08.2024).

6. Гетьман О.О. Економіка підприємства : навч. посібник / О. О. Гетьман, В. М. Шаповал. [2-ге видання]. К. : Центр учбової літератури, 2010. 488 с.

7. Новікова М. М. Конспект лекцій з дисципліни «Організація виробництва» (для студентів усіх форм навчання напряму підготовки 6.030504 – Економіка підприємства та слухачів другої вищої освіти за спеціальністю 7.03050401– Економіка підприємства (за видами економічної діяльності)) / М. М. Новікова, М. В. Боровик ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. 130 с/

8. Ноздріна Л.В., Ящук В.І., Полотай О.І. Управління проектами: Підручник / За заг. ред. Л.В. Ноздріної. К.: Центр учбової літератури, 2010. 432 с.

9. Що таке метод критичного шляху? // Experience Dropbox URL: <https://experience.dropbox.com/uk-ua/resources/critical-path>. (дата звернення: 24.10.2024).

10. Poldrack R. Statistical Thinking for the 21st Century [/ Russell A. Poldrack // Stanford University. 2019. URL: <https://statsthinking21.github.io/statsthinking21-core-site/> (дата звернення: 12.12.2024).

11. Верещак Р. Метод Монте-Карло для Обчислення Інтегралів: Основи та Застосування. 2024. URL: <https://www.mathros.net.ua/chyselne-integrivannja-metodom-monte-karlo.html>. (дата звернення: 24.10.2024).

12. Тетяна К. Використання методу монте-карло у навчанні стохастики в контексті підготовки учителів математики до впровадження stem-освіти/ Журнал Фізико-математичної освіти. 202. Т. 38, №4. С. 42-48.

13. Kerzner, H. Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling. 12th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2017. 848 p.

14. Цикл Демінга (The Deming Cycle), він же – Цикл Шухарта, Цикл PDCA/ PDSA. URL: <https://www.maxzosim.com/deming-cycle-pdca/>(дата звернення: 24.10.2024).

15. What is Plan-Do-Check-Act(PDCA) Cycle? URL: <https://kanbanize.com/lean-management/improvement/what-is-pdca-cycle> (дата звернення: 24.10.2024).

16. Agile Method. URL: <https://www.atlassian.com/agile> дата звернення (25.10.2024).

17. Класифікації методів моделювання систем // Чернігівський національний педагогічний університет ім. Т.Г. Шевченка. 2018. URL: <https://studfile.net/preview/7286771/page:6/>. дата звернення (27.10.2024)

18. Безкоровайний В. В., Чоломбисько Д. В. Моделювання процесу багатокритеріального розподілу та виконання пакетів робіт під час проектування технологічних систем // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, 2024. Вип. 104. С. 7–14.

19. Безкоровайний В.В., Безугла Г.Є., Чоломбисько Д.В. Імітаційне моделювання процесів розподілу та виконання пакетів ремонтних робіт // Міжнародна науково-практична конференція «Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку» / Збірник тез доповідей. Харків. 2024. С. 17–19.

20. Зінов'єва О.Г., Гешева Г.В., Огляд програмних засобів імітаційного модулювання // Вісник ХНТУ. 2022. №3. С. 82-88.

21. Марголін О. UML для бізнес-моделювання: для чого потрібні діаграми процесів / Олександр Марголін // Evergreen. 2021. URL: <https://evergreens.com.ua/ua/articles/uml-diagrams.html> (дата звернення: 01.11.2025).

22. Моделювання систем в середовищі GPSS World: навчальний посібник / Я. І. Соколовський, Ю. В. Шабатура, Я. І. Виклюк [та ін.]; за ред. В. В. Пасічника. Львів: Новий Світ 2000, 2024. 288 с.

23. Як обчислити світловий потік // W.Shop. URL: <https://wattshop.com/ua/blog/149-ua-kak-vyschitat-svetovoj-potok-lum-znayaosveshchennost-lux-ili-moshchnost-w.html> (дата звернення: 24.12.2024)

24. Як розрахувати та організувати правильний повітрообмін у

приміщенні. 2016. URL: <https://alterair.ua/stati/ventilyatsiya-kak-realizovat-vozduhoobmen/>. (дата звернення: 24.12.2024)

25. Охорона праці : навч. посібник / сост.: Бедрій Я.І.; Львівський електротехнікум зв'язку. – Львів : ТзОВ "еК.К.К.о", 1997. – 258 с.