

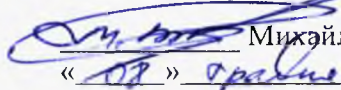
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Приладобудівний факультет Кафедра
виробництва приладів

«На правах рукопису»

УДК 004.42

«До захисту допущено»

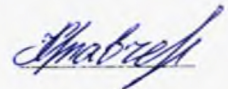
Завідувач кафедри

 Михайло БЕЗУГЛИЙ
« 08 » травня 2023 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
на тему: «Контроль виробничого процесу виготовлення деталей типу фланець з
використанням цифрового двійника»

Виконав:

Студент VI курсу, групи ПБ-11мн
Кравченко Олександр Сергійович



Науковий керівник:

к.т.н., доцент
Філіппова Марина В'ячеславівна



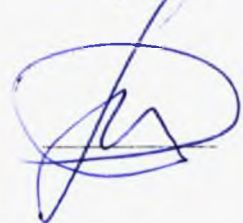
Консультант з розробки стартап-проекту:

д.е.н., професор
Шевчук Олена Анатоліївна



Рецензент:

Проф., д.т.н., професор
Микитенко В.І.



Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент 

Київ – 2023 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Кафедра виробництва приладів**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 151- Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 Михайло БЕЗУГЛИЙ

«10» лютого 2023 р.

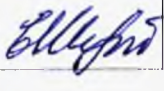
**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Кравченко Олександр Сергійович**

1. Тема дисертації «Контроль виробничого процесу виготовлення деталей типу фланець з використанням цифрового двійника», науковий керівник дисертації Філіппова Марина В'ячеславівна, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «03» квітня 2023 р. №1389-с
2. Термін подання студентом дисертації 8 травня 2023 року
3. Об'єкт дослідження: автоматизовані виробничі процеси.
4. Предмет дослідження: цифровий двійник виробничого процесу виготовлення деталей типу фланець..
5. Вихідні дані: фланець стійки радіолокатора, програмне забезпечення FlexSim, верстати DMG MORI CTX Beta 1250 TC та JET JPSG-1224TD
6. Перелік завдань, які потрібно розробити.
 - 6.1. Зробити аналіз виробничого процесу виготовлення деталей типу фланець.
 - 6.2. Обґрунтувати вибір програмного середовища розробки цифрового двійника.
 - 6.3. Розробити у програмному забезпеченні FlexSim цифровий двійник виробничого процесу виготовлення деталі типу фланець.
 - 6.4. Розробити методику контролю виробничого процесу виготовлення деталей типу фланець з використанням цифрового двійника.
 - 6.5. Провести експериментальне дослідження процесу контролю при застосуванні розробленої методики.
 - 6.6. Розробка стартап-проєкту.

7. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу. Презентація за темою магістерської дисертації

8. Орієнтовний перелік публікацій: Матеріали доповіді конференції «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні 2022», «Погляд у майбутнє приладобудування 2023».

9. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Стартап-проекти	Завідувач кафедрою економічної кібернетики, д.е.н., проф. Шевчук Олена Анатоліївна		

10. Дата видачі завдання 9 лютого 2023 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Зробити аналіз виробничого процесу виготовлення деталей типу фланець	20.02.2023	
2	Обґрунтувати вибір програмного середовища розробки цифрового двійника.	15.03.2023	
3	Розробити у програмному забезпеченні FlexSim цифровий двійник виробничого процесу виготовлення деталі типу фланець.	25.03.2023	
4	Розробити методику контролю виробничого процесу виготовлення деталей типу фланець з використанням цифрового двійника	1.04.2023	
5	Провести експериментальне дослідження процесу контролю при застосуванні розробленої методики.	10.04.2023	
6	Розроблення стартап-проєкту.	20.04.2023	
7	Оформлення магістерської дисертації	4.05.2023	

Студент



Олександр КРАВЧЕНКО

Науковий керівник



Марина ФІЛІПОВА

РЕФЕРАТ

Обсяг роботи:

Кількість ілюстрацій: 51

Кількість таблиць: 32

Кількість джерел: 32

Кількість додатків: 3

У першому розділі проведено аналіз шляхів розвитку підприємства. Розглянуто технології цифрових двійників та області її застосування. Проведено вибір програмного середовища для розробки цифрових двійників. Здійснено аналіз процесу виготовлення деталі типу фланець.

У другому розділі оглянуто алгоритм створення цифрових двійників та ідентифікацію елементів фізичних виробничих систем та взаємозв'язків при створенні цифрового двійника. Оглянуто технологічний процес виготовлення деталі типу фланець та створено цифровий двійник виробничого процесу цієї деталі. Отримано статистичні дані про роботу кожного елементу цифрової моделі.

У третьому розділі здійснено вибір системи для автоматичної генерації звітів по даним отриманих з цифрового двійника. Створено шаблон у вибраній системі для генерації звітів. Розроблено програму для аналізу даних з цифрового двійника. Застосовано даний шаблон та програму на базі даних отриманих з цифрового двійника виробничого процесу деталі типу фланець.

У четвертому розділі розроблений шаблон та програма була застосована на незалежній цифровій моделі виробництва. По рекомендації програми було зменшено кількість персоналу та проведено повторне моделювання виробничого процесу.

У п'ятому розділі розроблено стартап-проект «Автоматизована система аналізу використання трудових ресурсів підприємства». Розглянуто ідею проекту та технічний аудит. Здійснено аналіз ринкових можливостей при запуску проекту. Розроблено ринкову стратегію продукту та маркетингову програму проекту.

Ключові слова: автоматизація виробництва, ресурси виробництва, ефективність, цифрові двійники, FlexSim, Digital Twins.

ABSTRACT

Scope of work:

Number of illustrations: 51

Number of tables: 32

Number of sources: 32

Number of applications: 3

The first section analyzes the ways of enterprise development. The technology of digital twins and its application areas are considered. The choice of the software environment for the development of digital twins is carried out. The process of manufacturing a flange type part is analyzed.

The second section reviews the algorithm for creating digital twins and identifying elements of physical production systems and interrelationships when creating a digital twin. The technological process of manufacturing a flange-type part is reviewed and a digital twin of the production process of this part is created. Statistical data on the operation of each element of the digital model are obtained.

In the third section, a system for automatic generation of reports on the data obtained from the digital twin is selected. A template was created in the selected system for generating reports. A program for analyzing data from a digital twin was developed. This template and program were applied on the basis of data obtained from the digital twin of the production process of a flange type part.

In the fourth section, the developed template and program were applied to an independent digital production model. Based on the program's recommendations, the number of personnel was reduced and the production process was re-simulated.

In the fifth section, a startup project "Automated system for analyzing the use of labor resources of an enterprise" was developed. The project idea and technical audit are considered. The analysis of market opportunities at the project launch is carried out. The market strategy of the product and the marketing program of the project are developed.

Keywords: production automation, production resources, efficiency, digital twins, FlexSim, Digital Twins.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1. АНАЛІЗ ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ ФЛАНЕЦЬ.....	11
1.1. Аналіз шляхів підвищення ефективності роботи підприємства.....	11
1.2. Цифрові двійники виробництва	14
1.3. Вибір програмного забезпечення по розробці цифрового двійника	18
1.4. Аналіз виробничого процесу деталі типу фланець	23
Висновок до розділу 1.....	27
2. РОЗРОБКА ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ ДЕТАЛІ ТИПУ ФЛАНЕЦЬ У СЕРЕДОВИЩІ FLEXSIM.	28
2.1. Алгоритм розробки цифрового двійника виробництва.....	28
2.2. Ідентифікація елементів фізичних виробничих систем та взаємозв'язків при створенні цифрового двійника.....	36
2.3. Огляд деталі типу фланець.	54
2.4. Огляд плану цеху по виготовленню деталі типу фланець.	57
2.5. Розробка цифрового двійника виробничого процесу.	59
2.6. Збір статистичних даних про функціонування цеху.....	67
Висновок по розділу 2	74
3. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ КОНТРОЛЮ ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ ФЛАНЕЦЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА	75
3.1. Вибір середовища аналізу даних.....	75
3.2. Розробка шаблону автоматичного аналізу даних в Zoho Analytics	77
3.3. Розробка програми для створення автоматичного висновку.....	82
Висновок по розділу	84
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ КОНТРОЛЮ ВИРОБНИЦТВА З ЗАСТОСУВАННЯМ РОЗРОБЛЕНОЇ МЕТОДИКИ.....	85
4.1. Робота з початковою моделлю	85
4.2. Корекція цифрової моделі.....	87

Висновок до розділу 4.....	89
5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ.....	90
5.1. Ідея проекту.....	90
5.2. Технологічний аудит проекту.....	92
5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту.....	93
5.4. Розроблення ринкової стратегії продукту.....	101
5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту.....	103
Висновки до розділу	108
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	109
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	110
ДОДАТОК А.....	115
ДОДАТОК Б.....	116
ДОДАТОК В	118

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЦД – цифровий двійник

ПЗ – програмне забезпечення

БД – база даних

АСМ – автоматизований складський механізм

ВСТУП

Актуальність теми

Тема магістерської дисертація пов'язана з контролем виробничого процесу виготовлення деталей типу фланець з використанням технології цифрових двійників, а саме як за допомогою даної технології проаналізувати ефективність використання ресурсів підприємства. В поєднанні з системами автоматичного аналізу даних та мови програмування Python, можна отримати автоматизовану систему для повного аналізу виробництва та його покращення.

Ефективне використання ресурсів підприємства підвищує його конкурентоспроможності на ринку та дозволяє скоротити витрати на запуск виробництва нових виробів. Компанії, які вміло керують своїми ресурсами, мають можливість забезпечити високу продуктивність своєї робочої сили, що може призвести до зниження витрат, збільшення якості продукції та послуг, та забезпечення стабільного зростання.

У даній магістерській дисертації розроблено цифрову модель виробництва деталі типу фланець, шаблон для генерації автоматичних звітів по роботі усіх елементів виробництва та програму на мові програмування Python, яка аналізує всі дані та робить висновок по скороченні елементів на виробництві.

Мета і завдання дослідження

Метою роботи є підвищення продуктивності виробничого процесу шляхом контролю стану виробництва в режимі реального часу з використанням цифрового двійника виробництва.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Виконати аналіз шляхів підвищення ефективності роботи підприємств.
2. Виконати аналіз програмних середовищ для розробки цифрових двійників.
3. Розробити цифровий двійник виробництва деталі типу фланець.
4. Розробити систему для автоматичного аналізу даних отриманих з цифрового двійника.
5. Провести дослідження розробленої системи на цифровій моделі іншого автора.

Об'єкт дослідження - автоматизовані робочі процеси на виробничих лініях.

Предмет дослідження – цифровий двійник виробничого процесу виготовлення деталей типу фланець.

Наукова новизна. За результатами виконання магістерської дисертації отримані наступні наукові результати:

1. Запропонована модель ідентифікації елементів фізичних виробничих систем та взаємозв'язків при створенні цифрового двійника.
2. Розроблено алгоритм створення цифрового двійника виробничого процесу
3. Запропонована методика контролю виробничого процесу виготовлення деталей типу фланець з використанням цифрового двійника

Практична цінність – на основі моделі ідентифікації елементів фізичних виробничих систем та алгоритму створення цифрового двійника виробничого процесу розроблено цифровий двійник виробничого процесу виготовлення деталей типу фланець, який дозволяє підвищити оперативність, гнучкість та ефективність керування ресурсами, а також знизити ризик виникнення помилок, пов'язаних з людським фактором

1. АНАЛІЗ ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ ФЛАНЕЦЬ

1.1. Аналіз шляхів підвищення ефективності роботи підприємства

Підвищення ефективності є однією з ключових задач керівництва підприємств. В сучасних умовах, коли ринок дуже конкурентний, а клієнти вимагають високої якості продукції та послуг за доступною ціною, підвищення ефективності стає ключовим фактором успіху. Аналіз методів підвищення ефективності на підприємствах є актуальною та важливою задачею.

Вдосконалення бізнес-процесів. Одним з методів підвищення ефективності на підприємствах є вдосконалення бізнес-процесів. Це може бути досягнуто за допомогою автоматизації процесів, впровадження нових технологій та методів управління.

Автоматизація процесів дозволяє зменшити час, витрачений на виконання робіт, та знизити кількість помилок. Наприклад, у сучасних виробничих підприємствах застосовуються різноманітні системи автоматизації, такі як САПР (системи автоматизованого проектування), САМ (системи автоматизованого виробництва) та СКС (системи контролю якості). За допомогою цих систем можна значно підвищити продуктивність та якість виробництва, знизити витрати на виробництво та забезпечити швидке та якісне виконання завдань.

Впровадження нових технологій дозволяє підвищити продуктивність та якість продукції, а також знизити витрати на її виробництво. Наприклад, використання сучасного обладнання, новітніх матеріалів та технологій дозволяє зменшити час виготовлення продукції, знизити відсоток браку та підвищити якість продукту.

Впровадження нових методів управління може допомогти забезпечити більш ефективну роботу підприємства в цілому. Наприклад, застосування методів Lean, Six Sigma, Kanban дозволяє знизити втрати, оптимізувати процеси та підвищити продуктивність. Важливо також забезпечити управління персоналом, яке дозволить забезпечити ефективну роботу всіх працівників підприємства та максимально використати їх потенціал [1].

Використання технологій промислового Інтернету речей (ІоТ). Застосування технологій промислового Інтернету речей (ІоТ) є одним з методів підвищення

ефективності на підприємствах. ПоТ дозволяє підключити до Інтернету різні пристрої та обладнання, що використовуються на підприємстві, та забезпечити їх взаємодію та збір даних.

За допомогою ПоТ можна відстежувати роботу обладнання, контролювати рівень енергоспоживання, збирати дані про виробничі процеси та забезпечити моніторинг якості продукції. Це дозволяє підприємству оперативно реагувати на відхилення в роботі, забезпечувати вчасне технічне обслуговування та запобігати виникненню аварій. Також, ПоТ дозволяє підприємствам ефективно використовувати дані та аналізувати їх для підвищення ефективності виробничих процесів та зниження витрат на виробництво [2].

Впровадження систем управління. Впровадження систем управління є ще одним методом підвищення ефективності на підприємствах. Системи управління забезпечують стандартизацію процесів, сприяють зниженню витрат та підвищенню якості продукції. Найпоширенішими системами управління є ISO 9001 (якість), ISO 14001 (екологічна безпека), OHSAS 18001 (безпека та охорона праці).

Впровадження системи управління дозволяє підприємству стандартизувати процеси, знизити відсоток браку та відхилень від норми, забезпечити належний контроль якості продукції та впровадити процедури постійного вдосконалення. Крім того, впровадження системи управління є важливим елементом взаємодії з клієнтами, оскільки вона дозволяє підтверджувати високу якість продукції та послуг, що надаються підприємством [3].

Використання інноваційних технологій та матеріалів. Використання інноваційних технологій та матеріалів є ще одним методом підвищення ефективності на підприємствах. Інноваційні технології та матеріали дозволяють підприємствам знизити витрати на виробництво, підвищити продуктивність та якість продукту.

Наприклад, використання 3D-друку дозволяє знизити витрати на виробництво деталей та збірних конструкцій, зменшити час виготовлення та витрати на транспортування. Використання енергоефективних технологій та матеріалів дозволяє зменшити споживання енергії та знизити витрати на її виробництво. Використання автоматизованих систем управління та моніторингу дозволяє знизити кількість помилок та відходів, а також підвищити точність та швидкість виконання процесів.

Інноваційні технології та матеріали можуть допомогти підприємству розвиватися та залишатися конкурентоспроможним на ринку. Важливо, щоб підприємство мало ясний план розвитку, який враховує використання нових технологій та матеріалів [4].

Підвищення кваліфікації персоналу. Підвищення кваліфікації персоналу є важливим методом підвищення ефективності на підприємствах. Якісний та кваліфікований персонал є ключовим фактором успіху підприємства.

Кваліфікований персонал здатний швидко та ефективно виконувати свої обов'язки, зменшити кількість помилок та відхилень від норми, а також виявляти та вирішувати проблеми на робочому місці. Крім того, підвищення кваліфікації персоналу може підвищити мотивацію працівників, знизити ризик виникнення конфліктів та зменшити кількість відходів працівників.

Підвищення кваліфікації може бути реалізовано через проведення навчання та тренінгів для працівників. Також можна використовувати інші методи, такі як взаємне навчання, менторинг, стажування в інших компаніях та професійна оцінка здібностей.

Використання ефективних систем мотивації працівників. Ефективні систем мотивації працівників є необхідним елементом для підвищення ефективності на підприємстві. Коли працівники мають стимули до праці та отримання високих результатів, вони зазвичай працюють краще та більш продуктивно.

Ефективні системи мотивації можуть включати в себе різні методики, такі як:

- Фінансові стимули, такі як бонуси, премії та підвищення заробітної плати.
- Нематеріальні стимули, такі як можливість розвитку кар'єри, підвищення статусу працівника в компанії, надання більшого рівня відповідальності та ін.
- Системи визнання та похвали, такі як вручення сертифікатів, нагород та грамот, відзнак за виконання завдань та досягнення певних результатів.
- Важливо, щоб система мотивації була ефективною та адаптованою до потреб підприємства та його працівників. Наприклад, фінансові стимули можуть бути ефективними для одних працівників, але не мати значення для інших.

Впровадження системи контролю якості. Впровадження системи контролю якості може допомогти підприємству підвищити якість продукції та послуг, зменшити кількість відходів та помилок, а також підвищити довіру споживачів до компанії.

Система контролю якості може включати в себе різні етапи, такі як:

- Визначення стандартів якості для продукції та послуг.
- Розробка методик контролю якості для кожного етапу виробництва та надання послуг.
- Встановлення процедур контролю та моніторингу якості.
- Аналіз та оцінка результат

1.2. Цифрові двійники виробництва

Технологія цифрового двійника (Digital Twin) - це інноваційний підхід до створення віртуальної копії реального об'єкта або процесу, що відбувається в реальному часі. Цей цифровий двійник забезпечує можливість відстежувати та аналізувати стан реального об'єкта, що сприяє покращенню ефективності та надійності його роботи.

Технологія цифрового двійника на сьогоднішній день є одним із ключових елементів Інтернету Речей, оскільки вона забезпечує зв'язок між реальним світом та віртуальним середовищем. Інтернет Речей (IoT) - це поняття, яке описує мережу підключених пристроїв, які мають можливість обмінюватися даними через Інтернет.

Технологія цифрового двійника забезпечує збір даних від підключених пристроїв та їх інтеграцію з віртуальною копією реального об'єкта. Це дає можливість здійснювати аналіз стану об'єкта, передбачення можливих проблем та відповідне реагування на них в реальному часі.

Основні переваги технології цифрового двійника:

- Підвищення ефективності та надійності роботи об'єкта. За допомогою віртуальної копії реального об'єкта можна вчасно виявляти проблеми та передбачати їх виникнення, що дозволяє забезпечити більш ефективну та надійну роботу об'єкта.
- Зниження витрат на обслуговування об'єкта. Завдяки аналізу даних, отриманих від цифрового двійника, можна вчасно виявляти потребу в ремонті чи заміні окремих компонентів, що дозволяє знизити витрати на обслуговування та підтримку роботи об'єкта.

- Підвищення якості продукту. Віртуальна копія дозволяє проводити віртуальне тестування та оптимізацію процесів, що дозволяє підвищити якість продукту та зменшити його витрати.
- Можливість прогнозування ризиків. Аналіз даних, отриманих від цифрового двійника, дозволяє передбачити можливі ризики та вчасно приймати заходи для їх запобігання.
- Підвищення безпеки. Технологія цифрового двійника дозволяє відстежувати стан об'єкта та вчасно виявляти небезпечні ситуації, що дозволяє забезпечити більшу безпеку роботи об'єкта.
- Підвищення продуктивності. За допомогою віртуальної копії можна вчасно виявляти та вирішувати проблеми, що забезпечує більшу продуктивність та ефективність роботи об'єкта.

Технологія цифрового двійника відноситься до Інтернету Речей, оскільки вона забезпечує зв'язок між реальним світом та віртуальним середовищем. Відомі компанії, такі як General Electric, Siemens та IBM, вже успішно використовують цю технологію для покращення роботи своїх об'єктів та підвищення їх ефективності.

Концепція цифрового двійника (digital twin) вперше була запропонована ще в 2002 році в інституті технологій машинобудування та автоматизації німецького міста Аахен. З того часу технологія досить активно розвивалася і зараз вона знаходить своє застосування в різних галузях, включаючи машинобудування, авіацію, енергетику, медицину, будівництво та багато інших. Далі наведено детальніші приклади використання цифрових двійників у різних галузях та фото, що ілюструють їх застосування[5].

Машинобудування. У машинобудуванні цифровий двійник може бути використаний для віртуального тестування та оптимізації машин та обладнання до їх фізичної реалізації. Він дозволяє інженерам відстежувати різні параметри в режимі реального часу, такі як витрата палива, тиск, температура, знос та інші. Використання цифрових двійників дозволяє знизити витрати на розробку, зменшити кількість дефектів та підвищити ефективність процесів у виробництві.

Наприклад, General Electric вже успішно використовує цифрові двійники для оптимізації дизельних двигунів вантажних суден. Компанія може віртуально перевірити різні конфігурації двигунів, встановити оптимальний режим роботи та підвищити ефективність паливного споживання. Також, General Electric використовує цифрові двійники для моніторингу стану обладнання, що дозволяє прогнозувати можливі поломки та проводити регулярне технічне обслуговування з використанням зібраних даних.

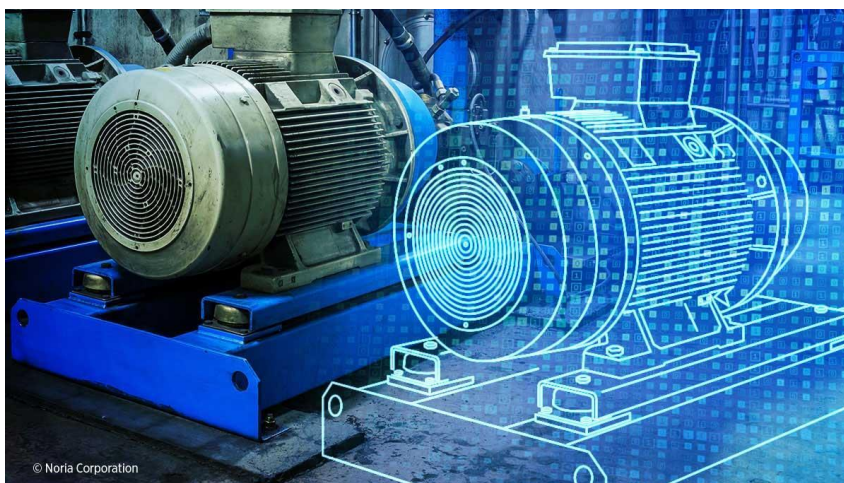


Рис. 1.1 Цифровий двійник електродвигуна

Інший приклад застосування цифрового двійника в машинобудуванні - це віртуальне тестування транспортних засобів. Наприклад, компанія Ford використовує цифрові двійники для тестування своїх автомобілів ще до того, як вони будуть виготовлені. Це дозволяє компанії виявляти можливі проблеми та вдосконалювати автомобілі до початку їх виробництва. Також, цифровий двійник допомагає компанії відстежувати та аналізувати поведінку автомобілів на дорозі та покращувати їх безпеку.

Інші приклади використання цифрових двійників у машинобудуванні включають оптимізацію енергоспоживання у виробництві, віртуальну розробку та тестування нових матеріалів та компонентів, моделювання роботи обладнання та інші[6].

Авіація. У авіації цифровий двійник використовується для моделювання та тестування нових аеродинамічних конструкцій, двигунів, а також для аналізу роботи та діагностики вже експлуатованих літаків. Він дозволяє інженерам відстежувати різні параметри літака, такі як швидкість, тиск, температура, знос деталей та інші, в режимі реального часу.

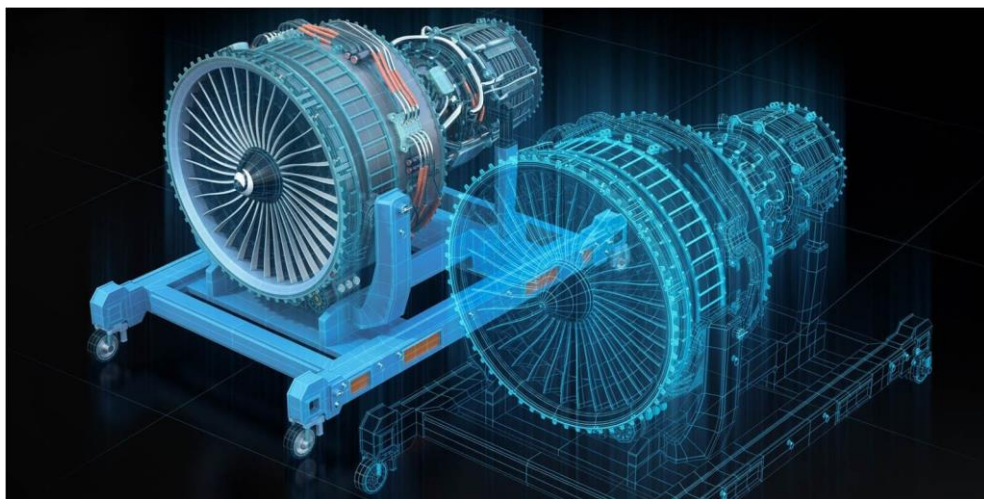


Рис.1.2 Цифровий двійник турбіни літака

Дані, що зібрані за допомогою цифрового двійника, можуть бути використані для вдосконалення та оптимізації конструкції літака, зменшення витрат на його експлуатацію та збільшення його безпеки.

Окрім цього, цифрові двійники використовуються в авіаційному тренажері, який дозволяє пілотам тренуватися на різних умовах польоту, таких як погодні умови, механічні відмови обладнання та інші. Це дозволяє пілотам підвищити свій рівень володіння технікою та підготуватися до можливих непередбачуваних ситуацій[7].

Енергетика. У сфері енергетики цифрові двійники використовуються для моделювання роботи енергетичних мереж та систем, прогнозування попиту на енергію, планування ремонтів та технічного обслуговування. Використання цифрових двійників дозволяє операторам енергетичних систем аналізувати різні сценарії роботи систем та приймати ефективні рішення на основі зібраних даних.

Також, цифрові двійники використовуються для моделювання та тестування роботи вітроенергетичних та сонячних електростанцій, що дозволяє визначати оптимальні параметри роботи та прогнозувати їх ефективність.



Рис.1.3 Застосування ЦД у енергетиці

Автомобільна промисловість. У автомобільній промисловості цифрові двійники використовуються для вдосконалення процесу проектування та тестування нових моделей автомобілів. Цифрові двійники дозволяють створювати віртуальні моделі автомобілів, які можуть бути протестовані на різних дорожніх умовах та умовах навколишнього середовища. Це дозволяє зменшити час та витрати на створення нових моделей автомобілів та зменшити кількість помилок, що виникають при їх розробці.

Окрім цього, цифрові двійники використовуються для прогнозування та аналізу роботи автомобілів, що дозволяє відслідковувати стан окремих деталей та виявляти можливі несправності до того, як вони перетворяться на серйозні проблеми[8].

1.3. Вибір програмного забезпечення по розробці цифрового двійника

На сьогоднішній день, розробка цифрових двійників стає все більш популярною, оскільки це дозволяє відтворити фізичний об'єкт у віртуальному просторі. Це дає можливість протестувати нові продукти та процеси без ризика у використанні техніки та зниженням витрат на розробку. Щоб створити такі цифрові двійники, необхідне потужне програмне забезпечення, яке може допомогти розробникам створювати моделі та симулювати процеси в цифровому середовищі. Ми розглянемо 5 найкращих програмних середовищ для розробки цифрових двійників та їх переваги та недоліки. Крім того, ми детально розглянемо програмне середовище FlexSim, та пояснимо, чому воно є однією з кращих платформ для розробки цифрових двійників.

Siemens Digital Industries Software (Siemens Industry Software Inc, США)- це програмне середовище для розробки цифрових двійників, яке дозволяє створювати моделі та симулювати різні процеси, щоб забезпечити точність та надійність роботи фізичних об'єктів. Однією з переваг Siemens Digital Industries Software є його висока точність, оскільки він використовує точні математичні розрахунки для створення цифрових двійників. Крім того, Siemens Digital Industries Software дозволяє використовувати різні типи моделей, такі як моделі механіки, електроніки та програмування, що дає можливість створювати більш точні цифрові двійники.



Рис.1.4 Приклад застосування Siemens Digital Industries Software

Однак, недоліком Siemens Digital Industries Software є його висока вартість, що робить його менш доступним для менших компаній та стартапів. Крім того, для роботи з Siemens Digital Industries Software потрібні спеціально навчені фахівці.

ANSYS (ANSYS, Inc., США) - це інтегрована програмна платформа для розробки цифрових двійників, яка дозволяє виконувати моделювання та аналіз фізичних процесів в різних галузях, таких як машинобудування, автомобільна промисловість, аерокосмічна промисловість та інші. Однією з переваг ANSYS є його висока точність та можливість використання різних типів моделей для створення цифрових двійників. Крім того, ANSYS має великий набір інструментів для аналізу та візуалізації результатів симуляції, що дозволяє розробникам більш детально досліджувати процеси та знаходити оптимальні рішення.

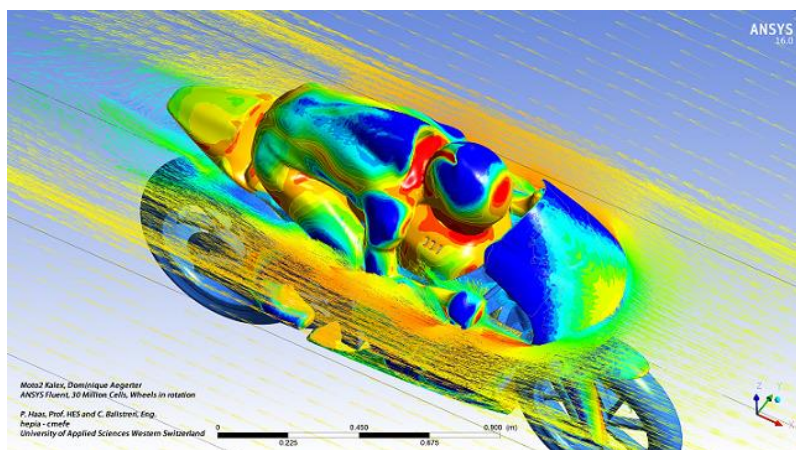


Рис. 1.5 Приклад застосування ANSYS

Однак, ANSYS також має високу вартість та складну систему налаштування, що може затримати розробку цифрових двійників. Крім того, для роботи з ANSYS необхідні спеціалісти з досвідом використання цієї програми, що може бути проблематично для менших компаній[9].

Dassault Systemes (Dassault Systemes, Республіка Франція)- це програмне середовище для розробки цифрових двійників, яке включає в себе різні інструменти для розробки та симуляції фізичних процесів. Однією з переваг Dassault Systèmes є його легкість використання та доступність для користувачів з різним рівнем досвіду в розробці цифрових двійників. Крім того, Dassault Systèmes дозволяє використовувати різні типи моделей та інтегрувати їх з іншими інструментами розробки.

Недоліком Dassault Systèmes є його обмежена функціональність в порівнянні з іншими програмними середовищами, такими як ANSYS або Siemens NX. Крім того, вартість Dassault Systèmes може бути значною, що робить його менш доступним для менших компаній.

Siemens NX (Siemens Industry Software Inc, США)- це програмне середовище для розробки цифрових двійників, яке включає в себе різні інструменти для створення та симуляції фізичних процесів. Однією з переваг Siemens NX є його висока точність та можливість використання різних типів моделей для створення цифрових двійників. Крім того, Siemens NX має великий набір інструментів для аналізу та візуалізації результатів симуляції, що дозволяє розробникам більш детально досліджувати процеси та знаходити оптимальні рішення.

Проте Siemens NX також має недоліки, він також має високу вартість та складну систему налаштування, що може затримати розробку цифрових двійників. Для використання даного програмного потрібні люди з великим досвідом, інакше цифровий двійник може бути недосконалим що погано вплине на аналіз усіх процесів[10].

FlexSim (FlexSim Software Products, Inc., США)- програмне середовище для розробки цифрових двійників систем виробництва та логістики, яке дозволяє моделювати різні процеси та симулювати різні сценарії. Однією з переваг FlexSim є його широкий спектр функціональності та готові бібліотеки для різних типів систем. Крім того, FlexSim має інтуїтивний інтерфейс та можливість інтеграції з іншими програмними системами.

Головним недоліком FlexSim є його обмеженість у розробці цифрових двійників в інших сферах, крім систем виробництва та логістики, й системи охорони здоров'я.

Чому необхідно обрати FlexSim?

FlexSim може бути ідеальним вибором для компаній, які спеціалізуються на виробництві та логістиці. Це програмне середовище має великий набір інструментів для моделювання та симуляції різних процесів, що дозволяє розробникам більш детально досліджувати та оптимізувати різні аспекти системи виробництва та логістики.

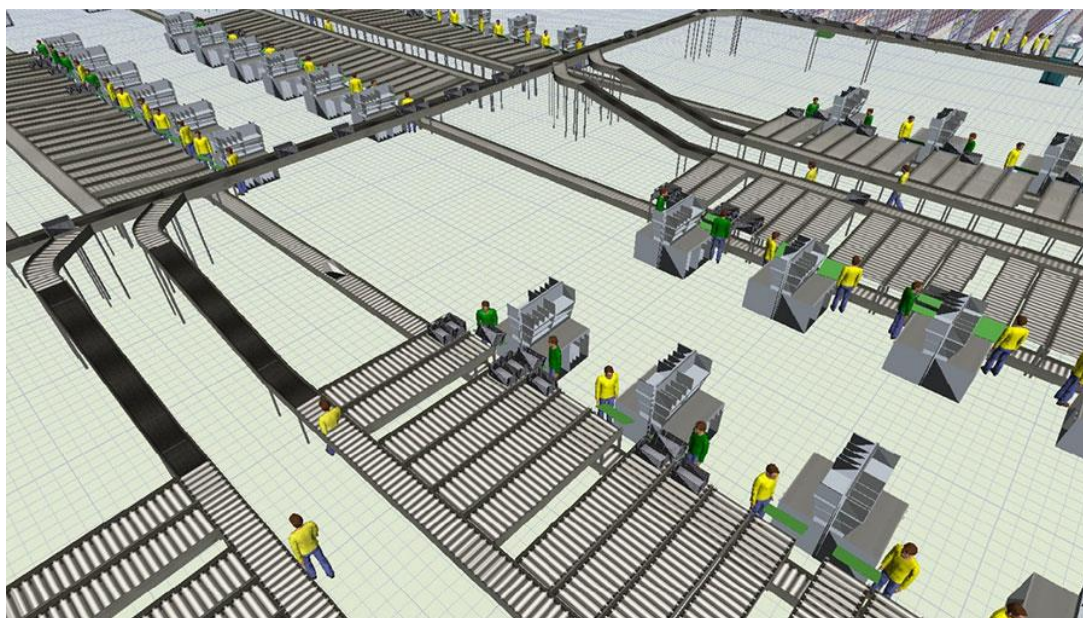


Рис. 1.6 Застосування FlexSim для створення ЦД виробництва

Однією з головних переваг FlexSim є його широкий спектр функціональності та можливість інтеграції з іншими програмними системами, такими як SAP, Oracle, або

Excel. Це дозволяє компаніям створювати більш інтегровані системи, що допомагають забезпечити ефективність виробництва та логістики.

FlexSim також має інтуїтивний інтерфейс, що робить його легким у використанні для розробників з будь-яким рівнем досвіду. Це може допомогти зменшити час, необхідний для навчання персоналу, та забезпечити більш швидкий перехід до ефективного використання програмного забезпечення.

Крім того, FlexSim має можливість візуалізації моделей, що дозволяє користувачам зрозуміти, як будуть працювати їхні системи в реальному часі. Це може допомогти підвищити ефективність та оптимізувати процеси виробництва та логістики.

Вище було розглянуто 5 різних програмних середовищ для розробки цифрових двійників. Кожне з них має свої переваги та недоліки, і вибір програмного забезпечення для розробки цифрових двійників повинен бути зроблений на основі конкретних потреб та вимог компанії.

Наприклад, для компаній, які спеціалізуються на виробництві та логістиці, FlexSim може бути ідеальним вибором, оскільки він має великий набір інструментів для моделювання та симуляції різних процесів у цих галузях. На інший бік, для більш загальних цілей, таких як створення цифрових двійників міст, будівель або інфраструктури, можна розглядати додатки, такі як City Form Lab або Siemens NX.

Важливо пам'ятати, що програмне забезпечення для розробки цифрових двійників є лише інструментом, і успішне впровадження цих технологій залежить від розуміння потреб компанії та її конкретних вимог щодо розробки цифрових двійників. Надійний, ефективний та інтуїтивно зрозумілий інструмент для розробки цифрових двійників може допомогти зменшити час та витрати на розробку, підвищити ефективність та точність моделювання та симуляції, та допомогти компаніям зменшити витрати на тестування та виробництво.

Зважаючи на переваги та можливості, які пропонує FlexSim, можна стверджувати, що ця програма є однією з найкращих для розробки цифрових двійників у сфері виробництва та логістики. Її функціональність та гнучкість дозволяють створювати точні та ефективні моделі процесів виробництва та логістики, що може допомогти компаніям зменшити час

та витрати на тестування та виробництво, а також підвищити ефективність своїх процесів.

Також важливо відмітити, що FlexSim має широку підтримку та спільноту користувачів, що може бути корисним для користувачів програми. Спільнота користувачів може допомогти вирішувати різні проблеми та надавати підтримку під час розробки та моделювання[11].

1.4. Аналіз виробничого процесу деталі типу фланець

Фланець - це деталь, що використовується для з'єднання двох труб, шлангів, деталей циліндричної форми, забезпечуючи їхню герметичність та міцність. Основна функція фланця полягає в тому, щоб з'єднати кінці труби та шлангу з іншими елементами системи, такими як насоси, клапани або резервуари. Виробництво деталей типу фланець може проводитись різними методами, такими як лиття, ковка, обробка з використанням верстатів та інші технології.

Основні вимоги до деталей типу фланець. Однією з основних вимог до деталей типу фланець є герметичність. Фланець має бути здатний утримувати тиск рідини або газу, що протікає через трубу або шланг. Також важливо, щоб фланець був міцним, стійким до корозії та інших деструктивних факторів, таких як вібрації та тертя.

Ще однією вимогою є точність виробництва. Для того, щоб забезпечити герметичність та міцність з'єднання, фланець має мати точні розміри та гладку поверхню. Великі похибки в точності можуть призвести до витоків рідини або газу, що може стати причиною аварії.

Крім того, важливо, щоб виробництво фланців було ефективним та економічним. Це означає, що виробничий процес має бути оптимізованим, з мінімальними витратами на матеріали та робочу силу.

Проблеми виробництва деталей типу фланець. Однією з головних проблем виробництва деталей типу фланець є складність виготовлення, особливо при точному виконанні розмірів, що необхідні для забезпечення герметичності та міцності з'єднання. Також важко забезпечити однакову якість кожної деталі, що виготовляється, особливо якщо виробництво здійснюється великими серіями.

Іншою проблемою є необхідність використання різноманітних матеріалів для виробництва фланців. В залежності від умов експлуатації, вимог до міцності та інших параметрів, можуть використовуватися метали, пластмаси, кераміка та інші матеріали. Кожен матеріал має свої особливості в обробці, що може ускладнити процес виробництва.

Також важко забезпечити повну автоматизацію виробництва фланців, через їх складну форму та потребу в високій точності виготовлення. Це може призвести до необхідності використання ручної праці, що підвищує витрати та знижує продуктивність.

Одним зі способів вирішення проблем виробництва деталей типу фланець є використання цифрових двійників. Цифровий двійник деталі- це його віртуальна копія, що може бути використана для візуалізації, аналізу та оптимізації виробничих процесів. За допомогою цифрових двійників можна забезпечити точність та повноту інформації про деталь, що виробляється, та забезпечити контроль якості виготовлення.

Цифрові двійники можуть бути використані для моделювання процесів виробництва фланців та виявлення проблем, що можуть виникнути на різних етапах виробництва. Наприклад, за допомогою цифрового двійника можна спрогнозувати можливі відхилення від заданої форми фланця та виявити найкритичніші точки, де можуть виникнути проблеми виготовлення.

Цифрові двійники можуть бути використані для вирішення проблеми необхідності використання ручної праці. За допомогою цифрових двійників можна розробити автоматизовані системи виготовлення фланців, які забезпечать високу точність та повноту обробки кожної деталі.

Одним зі способів використання цифрових двійників є використання машинного навчання та штучного інтелекту. Наприклад, можна використати нейронні мережі для аналізу великої кількості даних про виробництво фланців та визначення оптимальних параметрів виготовлення. Використання машинного навчання можна забезпечить автоматизоване налаштування обладнання, що дозволить зменшити кількість відхилень від заданих параметрів та збільшити якість виготовлених деталей.

Щоб виробництво фланців було ефективним, необхідно забезпечити високу якість деталей, оптимальні витрати та високу продуктивність. Використання цифрових

двійників дозволяє забезпечити точний контроль якості виробництва, зменшити кількість відхилень від заданих параметрів та забезпечити автоматизацію виробничих процесів.

Однією з головних вимог до фланців є їхній розмір та форма. Фланці повинні відповідати певним стандартам та вимогам, що встановлені для кожного типу фланця. Наприклад, для фланців, що використовуються для з'єднання труб, встановлені стандарти ANSI та DIN, які визначають розмір та форму фланців.

Ще однією вимогою до фланців є їхня міцність та довговічність. Фланці повинні витримувати певне навантаження та тиск, що залежить від умов використання. Для забезпечення високої міцності та довговічності фланців, вони виготовляються з високоякісних матеріалів, таких як сталь, нержавіюча сталь та інші сплави.

Проблеми виробництва фланців можуть виникати на різних етапах виробництва, починаючи зі збору необхідної інформації про фланець та закінчуючи контролем якості готової деталі. Однією з основних проблем є недостатній контроль якості на різних етапах виробництва. Це може призвести до виробництва дефектних фланців, які не відповідають вимогам щодо розміру, форми та міцності.

Іншою проблемою може бути недостатня автоматизація виробничих процесів, що може призвести до збільшення витрат на виробництво та зменшення продуктивності. Наприклад, вручну обробляти кожну деталь може бути дуже часо- та працезатратним процесом, що не тільки затримує виробництво, але й збільшує ризик виготовлення дефектних деталей.

Один зі способів використання цифрових двійників для вирішення проблем виготовлення фланців - це використання комп'ютерно-числового керування (CNC). CNC-машини використовують програмне забезпечення, яке дозволяє створювати точні та повторювані операції при виготовленні фланців. Це знижує ризик помилок, підвищує точність та забезпечує високу продуктивність.

Ще одним способом використання цифрових двійників для вирішення проблем виготовлення фланців - це використання програмного забезпечення по створенню симуляцій виробництва. Такі програми дозволяють проводити віртуальні тести та експерименти з проектом фланця, що дозволяє виявляти та вирішувати проблеми ще до

початку виробництва. Наприклад, використання програм може допомогти виявити проблеми з міцністю та довговічністю фланця на ранніх етапах проектування.

Нарешті, ще одним способом використання цифрових двійників для вирішення проблем виготовлення фланців - це використання промислового інтернету речей (IIoT). IIoT може забезпечити моніторинг та збір даних з процесу виробництва фланців. Наприклад, сенсори можуть збирати дані про температуру, вологість, тиск та інші параметри в процесі виробництва. Це дозволяє проводити аналіз цих даних, виявляти недоліки та помилки та вносити необхідні корективи в процес виробництва.

Важливою складовою успішного виробництва фланців є знання вимог до деталей та процесів виготовлення. Виробництво фланців має відповідати стандартам та вимогам клієнтів, що забезпечить надійність та безпеку використання фланців в різних сферах. Для забезпечення якості виробництва фланців необхідно використовувати відповідну технологію виробництва, матеріали та обладнання.

У процесі виробництва фланців можуть виникати різні проблеми, такі як дефекти деталей, затримки виробництва, помилки виробництва тощо. Для вирішення цих проблем можна використовувати цифрові двійники, які допоможуть виявити недоліки та помилки в процесі виробництва та підвищити якість продукції.

Процес виробництва фланців включає в себе кілька етапів, включаючи проектування, матеріалознавство, обробку та збірку. Кожен з цих етапів вимагає відповідних знань та досвіду, а також відповідного обладнання та матеріалів. При виготовленні фланців важливо дотримуватися стандартів та вимог клієнтів, що забезпечить якість та надійність використання фланців.

Одним з головних викликів у виробництві фланців є підвищення ефективності та зменшення ризиків помилок. Використання цифрових технологій може допомогти вирішити ці проблеми. Цифрові двійники можуть виявляти можливі помилки та недоліки в процесі виробництва, що дозволить їх виправити до початку виробництва. IIoT може допомогти збирати дані з процесу виробництва та забезпечувати реальний час моніторингу процесу, що дозволить підвищити ефективність та якість виробництва.

Крім того, ще одним викликом у виробництві фланців є забезпечення безпеки працівників. Виробництво фланців пов'язане з ризиком травм та нещасних випадків, тому

важливо дотримуватися вимог безпеки праці та надавати працівникам необхідну оснастку та захисні засоби.

Одним з підходів до покращення ефективності та якості виробництва фланців є використання програмного забезпечення для моделювання процесу виробництва та аналізу даних. Наприклад, програмне забезпечення для розробки деталей може бути використане для створення 3D-моделей фланців та їх розробки з урахуванням вимог клієнта та вимог щодо матеріалів та обробки. Програмне забезпечення для аналізу даних може бути використане для моніторингу процесу виробництва та виявлення можливих недоліків та помилок[12].

Висновок до розділу 1

1. Розглянуто шляхи підвищення ефективності роботи підприємства. Були розглянуті методи від застосування новітніх технологій до використання систем підвищення мотивації працівників.
2. Було розглянуто технологію «Цифровий двійник», описано переваги застосування цієї технології та галузі в яких вона застосовується.
3. Оглянуто програмні середовища по створенню цифрових двійників. Для даної роботи було обрано FlexSim через його простоту та інтуїтивний інтерфейс.
4. Розглянуто виробничий процес деталі типу фланець, її особливості та головні проблеми.

2. РОЗРОБКА ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ ДЕТАЛІ ТИПУ ФЛАНЕЦЬ У СЕРЕДОВИЩІ FLEXSIM.

2.1. Алгоритм розробки цифрового двійника виробництва

При розробці ЦД створюється тривимірна модель, яка складається з наступних частин: фізичну сутність у фізичному просторі (Physical space, PE), віртуальну сутність у віртуальному просторі (Virtual space, VE), зв'язок даних та інформації, який поєднує фізичні та віртуальні сутності (Connection of data and information CN) .

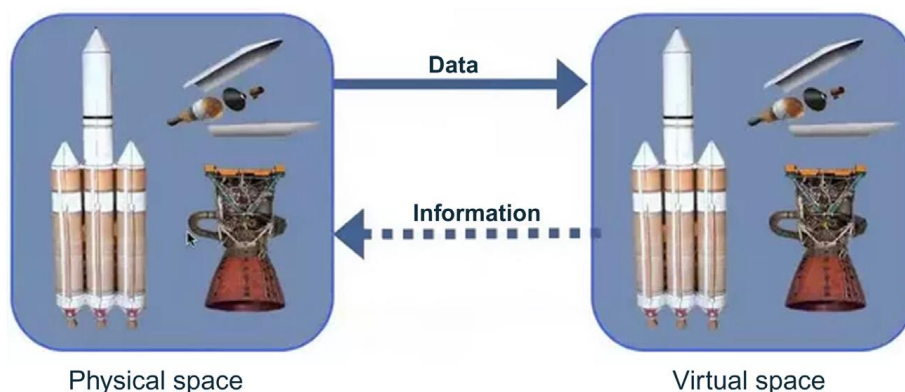


Рис. 2.1 Тривимірна модель

Фізичні об'єкти, такі як літаки, радары та відповідна інфраструктура, існують з власними реальними функціями та можливостями, дозволяючи виконувати різноманітні завдання у фізичному просторі та отримувати реальні результати.

Віртуальні об'єкти складаються з комплексу моделей, які описують фізичні об'єкти з різних поглядів, включаючи геометричні розміри, фізичні властивості, поведінку та інші аспекти. Вони є цифровим відображенням фізичних об'єктів, супроводжують їх у режимі реального часу, забезпечують точне відтворення та високу точність.

Взаємодія між фізичними та віртуальними об'єктами відбувається через взаємодію. З одного боку, дані в реальному часі від фізичних об'єктів збираються та передаються до віртуальної репліки для оновлення та калібрування моделей. З іншого боку, цінна інформація, отримана в результаті віртуального моделювання, повертається до фізичного простору для керування та оптимізації фізичних об'єктів. Цикл цих взаємодій утворює замкнутий контур між фізичним та віртуальним просторами, що дозволяє оптимізувати функціонування об'єктів у реальному часі.

Традиційний тривимірний ЦД, можна розширити до п'ятивимірної моделі, як показано у виразі:

$$M_{DT} = (PE, VE, |Ss, DD, CN|) \quad (2.1)$$

де PE відноситься до фізичної сутності, фактично існуючої у фізичному просторі; VE являє собою віртуальну сутність, що складається з набору моделей; Ss означає послуги як для PE, так і для VE; DD – дані ЦД; а CN – зв'язок даних та інформації, який з'єднує різні частини ЦД.

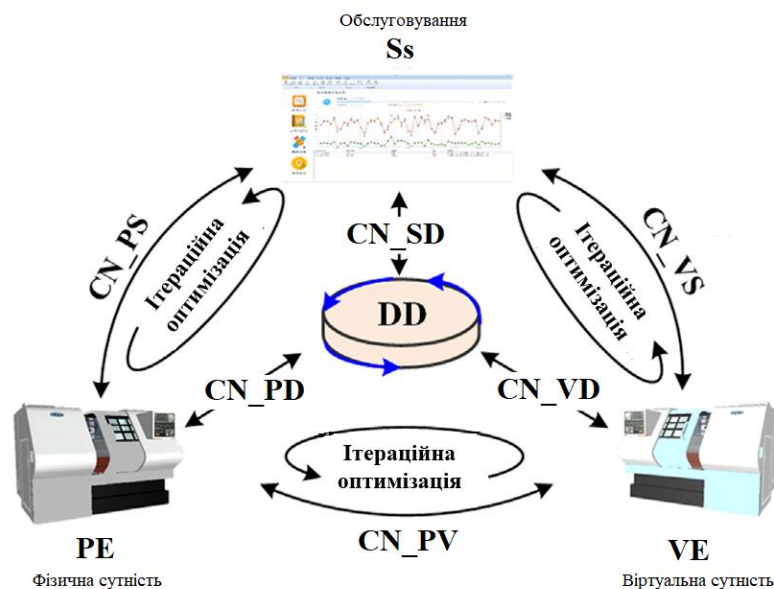


Рис.2.2 П'ятивимірна модель ЦД

Як точне дзеркальне відображення PE, VE представлено виразом:

$$VE = (G_v, P_v, B_v, R_v) \quad (2.2)$$

де G_v , P_v , B_v , та R_v - це моделі, які описують геометричні, фізичні моделі, модель поведінки та правові аспекти об'єктів. G_v відображає геометричні параметри, такі як форми, розміри та зв'язки складання. G_v можна вважати основою моделі, яка забезпечує геометричний контейнер для інших моделей. Загальні системи автоматизованого проектування (САПР), такі як SolidWorks, 3D MAX, ProE, AutoCAD, використовуються для роботи з G_v .

P_v отримує фізичні властивості об'єктів (наприклад, швидкість, знос і силу) на основі G_v і може відображати фізичні явища, такі як деформація, розшарування, руйнування та корозія. На цьому рівні широко використовується метод скінченних елементів (MCE).

B_v описує механізми реагування та поведінку об'єктів, такі як зміна стану, зниження продуктивності та координація, внаслідок впливу рухомих факторів (наприклад, керуючих команд) або зовнішніх втручань (наприклад, впливу людини). Для опису реагуючих процесів можуть використовуватись такі методи, як кінцевий автомат, ланцюг Маркова та моделі на основі онтології.

R_v - це набір правил, отриманих з історичних даних про об'єкти. Ці правила (наприклад, асоціації, обмеження та виведення) дозволяють віртуальному середовищу (VE) мати здатність робити висновки, оцінювати, оптимізувати та/або прогнозувати. Для побудови R_v можуть використовуватись алгоритми машинного навчання, такі як нейронні мережі, опорна векторна регресія та інші.

Дані з цифрового двійника (DD) позначаються як вираз з п'яти частин:

$$DD = (D_p, D_v, D_s, D_k, D_f) \quad (2.3)$$

D_p - це дані з PE, які включають робочі стани та умови роботи. D_v стосується даних з VE, які складаються з параметрів моделі та робочих даних моделі. D_s - це дані з Ss, що описують інкапсуляцію, комбінування, виклик послуг і т.д. D_k представляє знання предметної області, які вилучені зі зібраних даних або отримані з існуючих баз даних і систем. D_f позначає злиття D_p , D_v , D_s і D_k , які можна отримати за допомогою алгоритмів злиття даних, таких як нейронна мережа, алгоритм D_S і фільтр Калмана.

Зв'язок даних та інформації (CN) включає шість частин, виражених наступним чином:

$$CN = (CN_SD, CN_PD, CN_VD, CN_PS, CN_VS, CN_PV) \quad (2.4)$$

де CN_SD , CN_PD , CN_VD , CN_PS , CN_VS і CN_PV позначають зв'язок між Ss і DD, PE і DD, VE і DD, PE і Ss, VE і Ss і PE і VE відповідно. Кожне з них є двонаправленим, і доставлені дані кожного з'єднання (позначені як CN_XX) моделюються наступним чином $CN_XX = (\text{джерела даних; одиниця; значення; сфера застосування; інтервал вибірки})$ [13].

Цифровий двійник виробництва складається з чотирьох компонентів: фізичне виробництво (PS), віртуальне виробництво (VS), обслуговування виробництва (SSS) і цифровий двійник виробництва (SDTD). PS включає низку виробничих ресурсів,

таких як персонал, обладнання, матеріали і т.д., які фактично існують у фізичному просторі. PS організовує виробництво, точно виконуючи попередньо визначені замовлення від VS та послуги від SSS. VS складається з набору моделей, створених в багатьох аспектах, включаючи геометрію, фізику, поведінку та правила, для відображення сутностей у PS з високою точністю. VS може працювати автономно і розвиватися разом з PS, надаючи керувальні команди для PS та стратегії оптимізації для SSS.

SSS - це інтегрована сервісна платформа, яка включає функції корпоративної інформаційної системи (EIS), автоматизовані засоби, моделі та алгоритми, розподілені в підсервіси, що надаються як для PS, так і для VS, відповідно до конкретних вимог. SDTD включає дані з PS, VS, SSS та об'єднані дані цих трьох компонентів, а також наявні знання предметної області для моделювання, оптимізації та прогнозування. Дані в SDTD можуть допомогти усунути ізольовані інформаційні острови та об'єднати дані з фізичного та віртуального простору для отримання більш повної та узгодженої інформації[26].

Існує шість двонаправлених зв'язків між PS, VS, SSS та SDTD, що дозволяють їм взаємодіяти та взаємодіяти один з одним.

Процеси взаємодії (рис. 2.3) в цифровому двійнику виробництва включають ітераційні цикли для постійної оптимізації. Ось як відбувається взаємодія між різними компонентами системи:

1. Взаємодія між PS і SDTD. Фактичні дані з PS (наприклад, графік виробництва, стан роботи машин, рівень запасів матеріалів) неперервно вводяться в SDTD для очищення, перетворення та об'єднання даних. Оброблені дані в SDTD можуть бути доступні агентам, створеним для кожної сутності, щоб надавати цим сутностям інформацію про їх власний стан та стан інших. Якщо необхідно, поведінку суб'єктів можна коригувати для кращої взаємодії з урахуванням глобальної виробничої цілі.
2. Взаємодія між VS і SDTD. Змодельовані дані з VS (наприклад, попередньо визначені замовлення, змодельовані результати аналізу, прогнозовані стани) передаються до SDTD і об'єднуються з іншими даними. Для моделей та

механізмів роботи VS будуються та оновлюються на основі зав'язків, обмежень і правил, отриманих із фактичних та змодельованих даних у SDTD.

3. Взаємодія між SSS і SDTD включає передачу даних про послуги з SSS (наприклад, ринкові дані, планування ресурсів, стратегії технічного обслуговування машини) до SDTD для їх обробки та об'єднання. SDTD надає SSS відповідні дані, алгоритми та моделі, які можуть бути вкладені в підсервіси, щоб забезпечити структуру послуг та подальший процес обслуговування відповідно до конкретного попиту.
4. Взаємодія між PS і SSS полягає в тому, що коли завдання передається в DTS, служби в SSS надають початковий виробничий план для розподілу виробничих ресурсів у PS та запуску виробництва. Під час виробництва дані в реальному часі, зібрані з PS, передаються до SSS. На основі цих даних SSS аналізує поточні потреби в ресурсах та автономно викликає відповідні служби, такі як прогнозування, обслуговування, планування та оптимізація енергоспоживання.
5. Взаємодія між VS і SSS полягає в тому, що послуги для системи планування (PS) передбачають виробничу діяльність і можуть бути передані до системи планування виробництва (VS) для перевірки перед виконанням. VS надсилатиме змодельовані дані та рекомендації щодо оптимізації системи планування виробництва (SSS) для виправлення попередньо визначених виробничих дій, доки вони не зможуть повністю пройти перевірку. Засновуючись на підтверджених діях, можна створити набір попередньо визначених виробничих замовлень для керування фактичним виробництвом. У той же час, SSS надає послуги для забезпечення високої точності VS шляхом калібрування параметрів моделі для підтримки її продуктивності з PS, що забезпечує більш точну перевірку.
6. Взаємодія між PS і VS відбувається під час фактичного виробництва. PS генерує дані в реальному часі та передає їх до VS для оновлення станів відповідних моделей. VS може коригувати попередньо визначені виробничі замовлення відповідно до даних у реальному часі з PS, і повертає скориговані замовлення в режимі реального часу, щоб скоротити фактичний виробничий процес і зробити

його синхронізованим з попередньо визначеним планом. За допомогою описаного вище процесу виробництва можна постійно оптимізувати.

Після виробництва буде випущена продукція, яка відповідає вимогам доставки, вартості, якості та іншим параметрам. Тоді виробничі ресурси будуть готові до наступної виробничої операції[27].

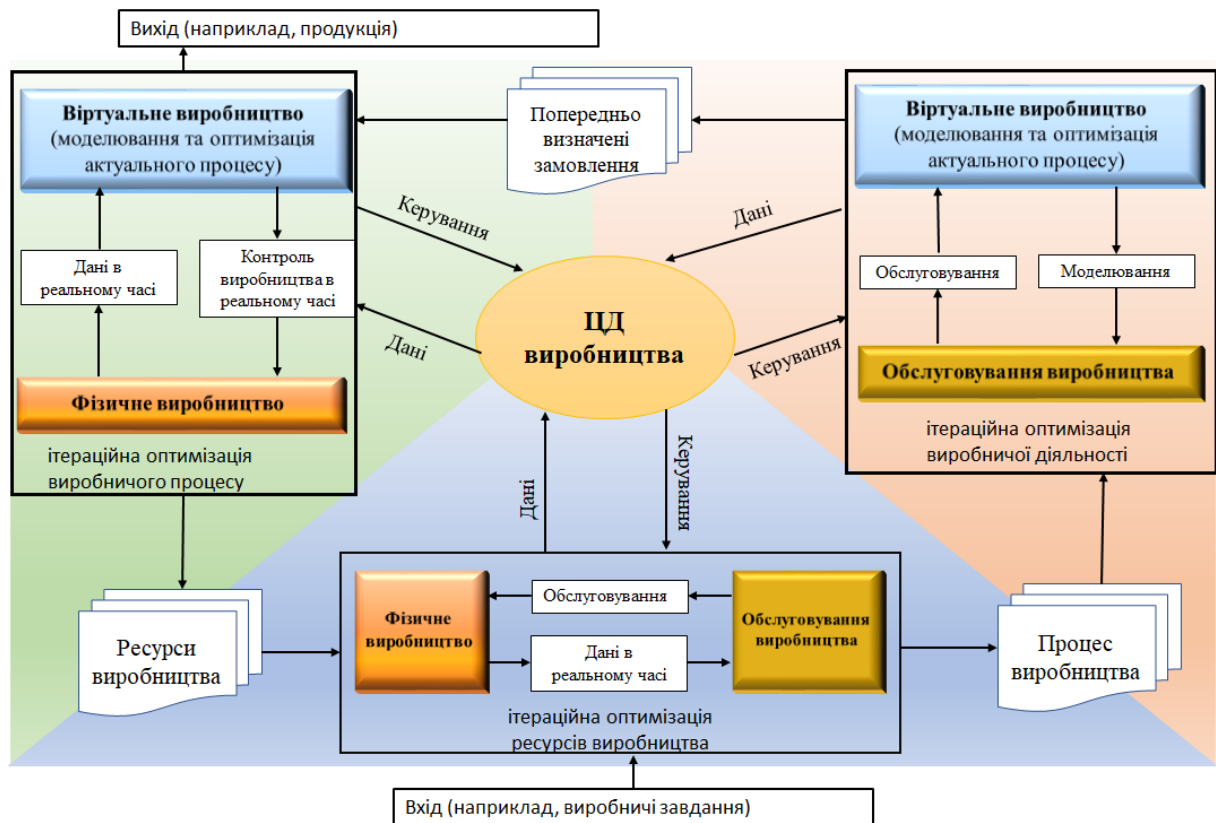


Рис. 2.3. Механізм взаємодії в ЦД виробництва

Процес функціонування ЦД виробництва

На рис. 2.4 жовті блоки, сині блоки та фіолетові блоки представляють PS, VS та SSS відповідно, а їх операції та взаємодії живляться даними, а саме SDTD.

Перед виробництвом, замовлення (наприклад, доставка, кількість, вартість і якість) передаються до служби планування виробництва в SSS. Щоб підтримати формування плану виробництва, збираються відповідні дані, включаючи дані датчиків (наприклад, запаси матеріалів, робоче навантаження на персонал і потужність обладнання), змодельовані дані (наприклад, прогнозування несправності обладнання, оцінка фізичної сили людини та аналіз на продуктивність матеріалу) і

дані EIS (наприклад, дані життєвого циклу продукту, дані про технологічний процес і ринкові дані).

Оскільки ці дані надходять із PS, VS і SSS, то вони об'єднуються і створюється послідовна та цінна інформація для планування. Керуючись об'єднаними даними, служба планування виробництва створює план, який потім передається до VS для перевірки. VS знаходить потенційні конфлікти в плані перед фактичним виробництвом і передає сервісу стратегії модифікації. Після доопрацювання план передається в службу розподілу ресурсів, яка керує підготовкою виробництва в PS.

Якщо стани ресурсів у реальному часі змінюються, поради щодо модифікації також можуть бути повернуті до служби планування виробництва[28].

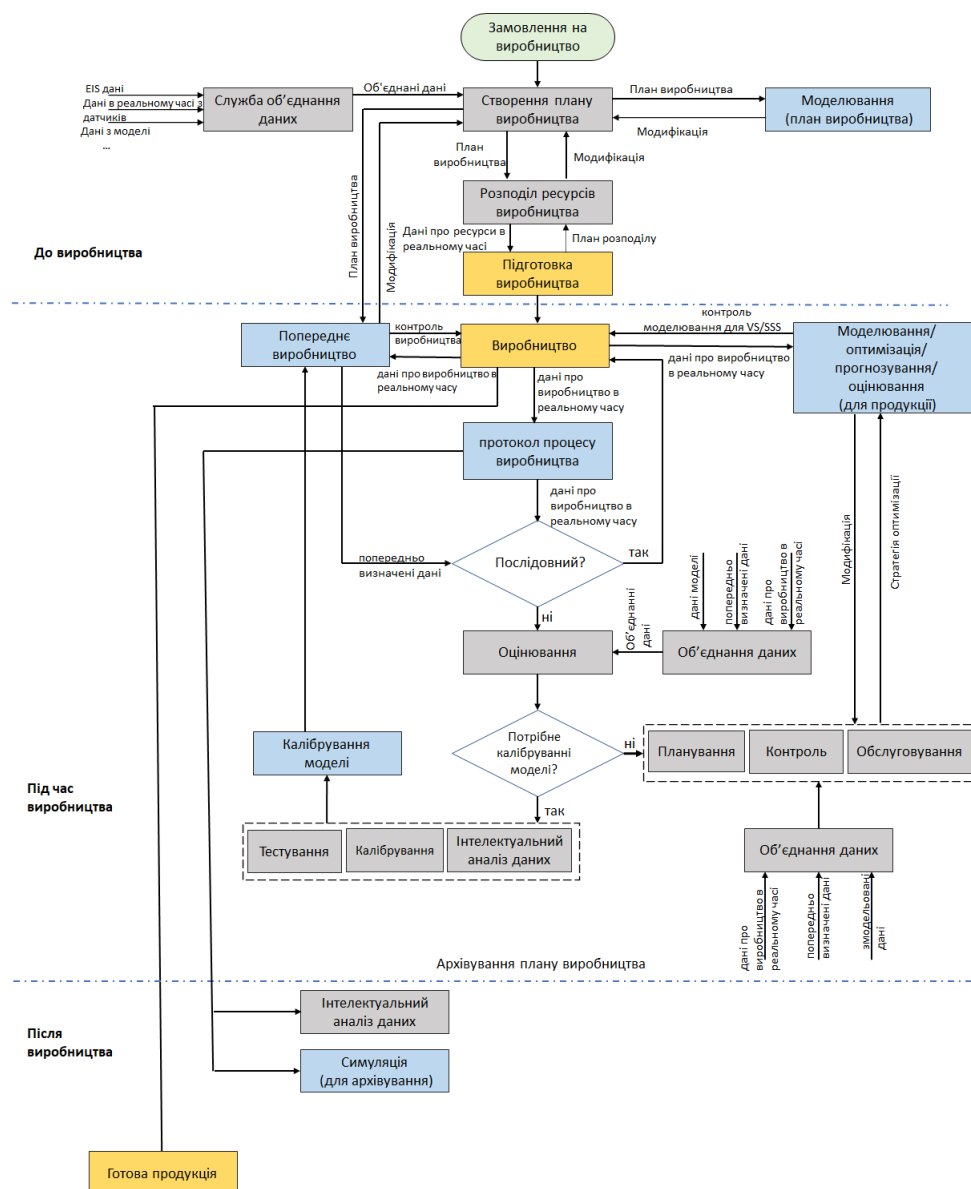


Рис.2.4 Процес функціонування ЦД виробництва

Під час виробництва перевірений план передається до VS для попереднього визначення виробництва у віртуальному просторі. Потім контрольні накази від VS передаються до PS для запуску фактичного виробничого процесу та підтримки його синхронізації з попередньо визначеним. З одного боку, дані в режимі реального часу, створені PS, записуються у VS, а з іншого боку, моделювання, оцінка та оптимізація тощо на основі моделей виконуються в режимі реального часу для створення наказів для регулювання виробництва. в PS, коли це необхідно. Під час цього процесу попередньо визначені дані з VS постійно порівнюються з даними в реальному часі з PS. Якщо дві частини не узгоджені, тобто їх різниця перевищує попередньо визначене порогове значення, буде надано послугу оцінки, керовану об'єднаними даними. Він визначає, чи невідповідність спричинена порушеннями в PS (наприклад, відмова обладнання, дефіцит матеріалу та надзвичайний порядок) чи неточністю моделей у VS (наприклад, необґрунтоване налаштування граничних і початкових умов).

Якщо збої існують в PS, для їх усунення будуть викликані відповідні служби, такі як служба планування, служба якості та служба конгресу. Ці послуги спочатку надаються ВС для перевірки, потім трансформуються в контрольні розпорядження для регулювання PS.

В іншому випадку невідповідність може бути викликана VS. У цьому випадку сервіси для калібрування моделі плануються та реалізуються на PS.

Виробничий план, перевірений попередніми моделями, повинен регулюватися на основі відкаліброваних, тоді як виробничий процес буде відповідно скоригований.

Після виготовлення готова продукція виводиться і транспортується на склади. У той же час дані історії виробництва отримуються із записів у моделях. На основі цих даних служба інтелектуального аналізу даних витягує нові знання для побудови моделі та калібрування.

Завдяки регульованій шкалі часу VS може відтворювати історичні ситуації, що є ефективним способом виявлення дефектів у попередніх виробництвах, а також відповідних рішень[29].

2.2. Ідентифікація елементів фізичних виробничих систем та взаємозв'язків при створенні цифрового двійника

Фізична виробнича системи має різні прояви та різноманітну структуру. Її можна розділити на штучне дрібносерійне виробництво, масове виробництво та масове налаштування відповідно до режиму виробництва. Її також можна розділити на серійні, паралельні, складальні, демонтажні та гнучкі виробничі одиниці відповідно до відносин організації виробництва.

Щоб вивчити основні властивості фізичної виробничої системи, першим кроком є визначення основних елементів та відношень в ній. Компоненти виробничої системи можна узагальнити як людина, машина, матеріал, метод та навколишнє середовище. Відношення можна описати як ієрархічну виробничу структуру з мережевими логістичними відношеннями з погляду організації виробництва. Ієрархічна структура є невід'ємним атрибутом виробничої системи. Виробничі елементи становлять підсистеми чи одиниці, які, своєю чергою, виступають складовими елементами системи вищого рівня. Щодо логістичних відношень, то вони відображають відношення матеріального обміну між логістичним обладнанням, обробним обладнанням та складським обладнанням. Їх можна розділити на логістику у підрозділах та логістику між підрозділами. Перший відносно простий, а другий складніший через участь кількох видів устаткування, великих логістичних відстаней і складних логістичних маршрутів. На рис. 1 показані основні елементи та взаємозв'язки, ідентифіковані у фізичній виробничій системі.



Рис.2.5 Основні елементи та взаємозв'язки, виявлені в фізичних виробничих системах

Представлення фізичної системи у віртуальному просторі. Теорія моделювання дискретних подій є відносно зрілою і може бути використана для опису внутрішньої логіки сутностей та взаємодії між сутностями. Однак відсутність інкапсуляції деталей ускладнює прямий опис складних систем. Отже, ідентифіковані елементи та відношення можуть бути інкапсульовані у відповідні моделі подання відповідно до їх функцій та поведінки. Внутрішня логіка роботи цих моделей уявлення може бути описана за допомогою теорії моделювання дискретних подій. Взаємодії між моделями можна описати, визначивши їх інтерфейси вводу/виводу. Для реалізації уніфікованого вираження різномірних виробничих систем надається набір графічних та формальних моделей. На рис. 2.6 показані ці моделі уявлень на трьох рівнях складу, структури та функціонування. На рівні композиції сім елементів описують основні елементи DMS. На рівні структури сервісні осередки (SC) та мережі логістичних шляхів (LPN) пропонуються для представлення виробничих та логістичних відносин. Нарешті, логічна модель, заснована на мультівіртуальних сервісних вузлах (VSN), описана на операційному рівні, яка поєднує виробничі процеси, сервісні осередки та

мережі логістичних шляхів в органічне ціле для досягнення впорядкованого потоку логічного частин.

Для уніфікації елементів виробничих систем, пропонується модель (див. нижню частину рис. 2.6). Кожен елемент є окремим об'єктом, виконує особливу роль системи, що містить у собі внутрішню логіку і взаємодіє із зовнішнім середовищем. Контролер (C) визначає функції та логіку роботи. Процесор (P), Виконавець (E) та Буфер (B) утворюють базову фізичну структуру, яка представляє "машину" у фізичних системах. Поточний об'єкт (F) – зелена точка на рис. 2.6 представляє матеріал; Логістичний шлях (L) - лінія зі стрілкою на рис.2.6 вказує напрямок потоку і являє собою правило потоку матеріалу; а VSN – червона точка на рис. 2.6, пов'язує перелічені вище елементи для побудови віртуального операційного середовища. Ці основні елементи пов'язані з іншими другорядними елементами.

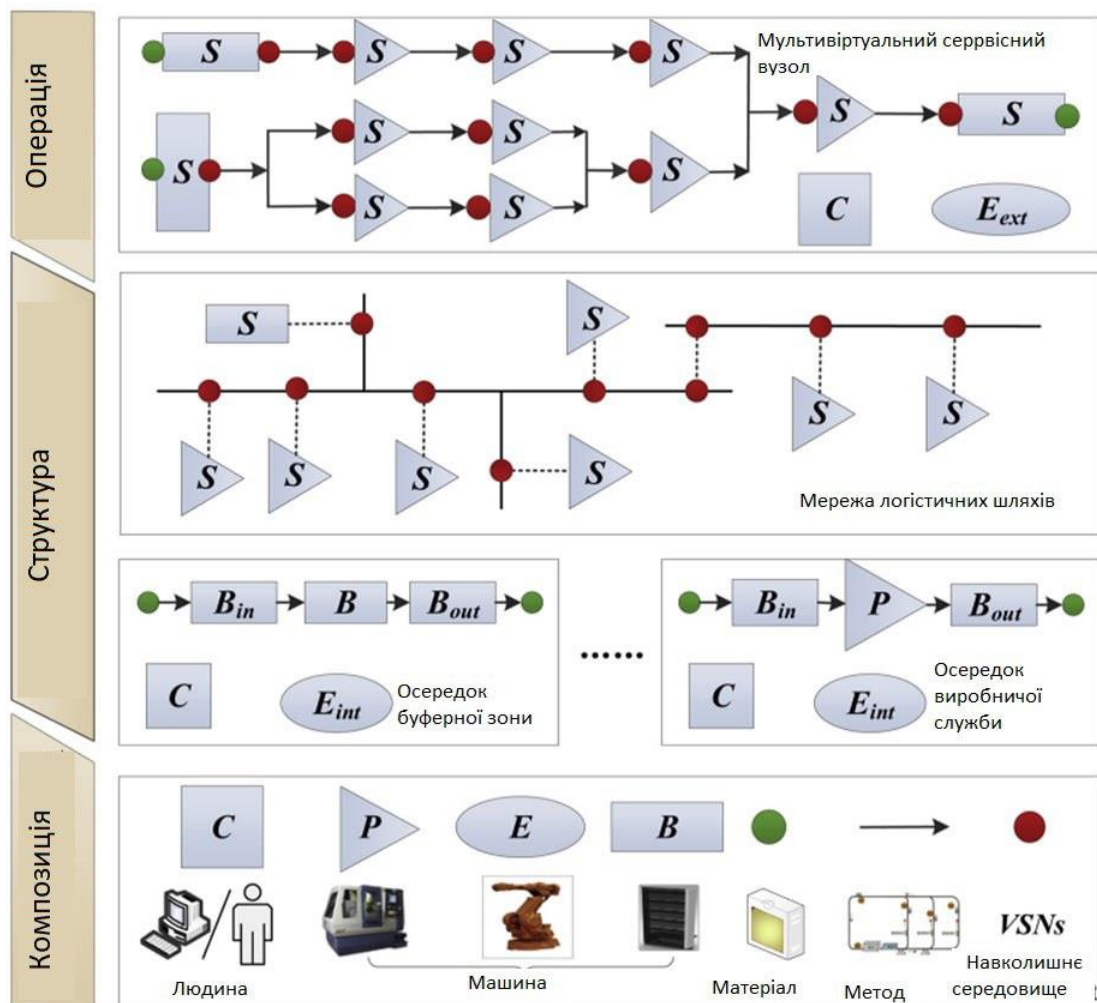


Рис. 2.6 Представлення виробничих систем

Формально модель алгебраїчно визначається наступним чином.

$$SevenElements = \langle C, P, E, B, F, L, VSN \rangle \quad (2.1)$$

- С – контролер, зіставлення різних пристроїв керування або осіб, які приймають рішення, надає служби ухвалення рішень для системних операцій. З одного боку, він перетворює вхідне повідомлення (ІМ) від контролера верхнього рівня, таке як операція, на наказ на виконання, а потім відправляє його іншим логічним моделям для виконання відповідно до визначеного правила обробки повідомлень (MR). З іншого боку, статус виконання та результат повертаються на контролер вищого рівня у вигляді вихідних повідомлень (ОМ).
- Р – процесор, зіставлення різних пристроїв обробки, забезпечує послуги з обробки (конкретна операція, наприклад фрезерування) деталей. Його стан (P_State) можна позначити поточним часом обслуговування (t), а відповідне відношення має вигляд

$$P_State = \begin{cases} 0(t = 0) \\ 1(0 < t < T) \\ 2(t = T) \end{cases} \quad (2.2)$$

де T – час обслуговування певної операції, три числа відносяться до очікувань завантаження, обробки та очікування вивантаження відповідно.

- Е – виконавець, зіставлення різних логістичних пристроїв, відповідає за переміщення деталей, кероване логістичними завданнями відповідно до правил виконання. Логістичну задачу на вході можна визначити як $IT = (F: O_i \rightarrow O_j)$, що означає, що поточна сутність (F) передається від об'єкта O_i до O_j . Правила виконання логістичних завдань (LR) включають програми управління рухом маніпулятора, алгоритми планування шляху автоматизованого керованого транспортного засобу (AGV) та механізми планування. Результати виконання логістичних завдань повертаються контролеру у вигляді вихідних повідомлень (ОМ), включаючи 4 типи завдань, а саме виконання, запущені завдання, успішно виконані завдання і невдало виконані завдання.
- В – буфер, зіставлення різних пристроїв зберігання, забезпечує тимчасове або довгострокове зберігання деталей. Його стан (B_State) можна позначити поточною пропускною здатністю (v), і відповідне відношення має вигляд

$$B_State = \begin{cases} 0(v = 0) \\ 1(0 < v < V) \\ 2(v = V) \end{cases} \quad (2.3)$$

де V — максимальна ємність буфера, три числа відносяться до заборони виведення, дозволу введення та виведення та заборони введення відповідно.

- F : Поточний об'єкт, зіставлення частин, включаючи матеріали або напівфабрикати, отримує послуги від P , E та V . Він ідентифікується глобальним унікальним номером (GUID), і його можна ідентифікувати та відстежувати. Крім того, він діє як носій інформації, включаючи інформацію про виробничий процес, виробничі плани, інформацію про історичні шляхи та інформацію про моделювання.
- L : Логістичний шлях, відображення логістичних відносин, представляє напрямки F між двома об'єктами (елементами або осередками).
- VSN : Віртуальний сервісний вузол, основна концепція є абстракцією та відображенням організації виробництва, логістики та логіки виробництва.

Далі відношення, можна сформулювати наступним чином:

$$SystemStructure = \langle SC, LPN \rangle \quad (2.4)$$

де SC – службовий осередок, підсистема, що складається із семи елементів із певною функцією. Він розділений на комірку виробничого обслуговування (PSC) та комірку буферного обслуговування (BSC); LPN – мережа логістичних шляхів, відображення фактичної схеми логістики та взаємозв'язків.

Представлення відношень у виробничій системі. Виробничу діяльність можна як ряд «послуг», які виконуються впорядкованим чином. Таким чином, всі дії, пов'язані з виробництвом, такі як обробка, складання, тестування та буферизація, можуть бути абстраговані до служби. Набір елементів з певним службовим змістом зв'язується в органічне ціле, яке називається службовим осередком. Подібно до семи елементів, SC також інкапсулює свою внутрішню логіку і взаємодіє із зовнішнім середовищем. На рівні SC Виконавець називається внутрішнім Виконавцем (E_{int}), а логістичний шлях відноситься до спрямованого шляху між сімома елементами. Буфер

підрозділяється на вхідний буфер (B_{in}) і вихідний буфер (B_{out}) залежно з його зв'язку із зовнішньою частиною осередку. Відповідно, на системному рівні Виконавець називається зовнішнім Виконавцем (E_{ext}), а логістичний шлях відноситься до напрямку між SC. Еталонні моделі та логічні моделі СК представлені на рис. 2.7.

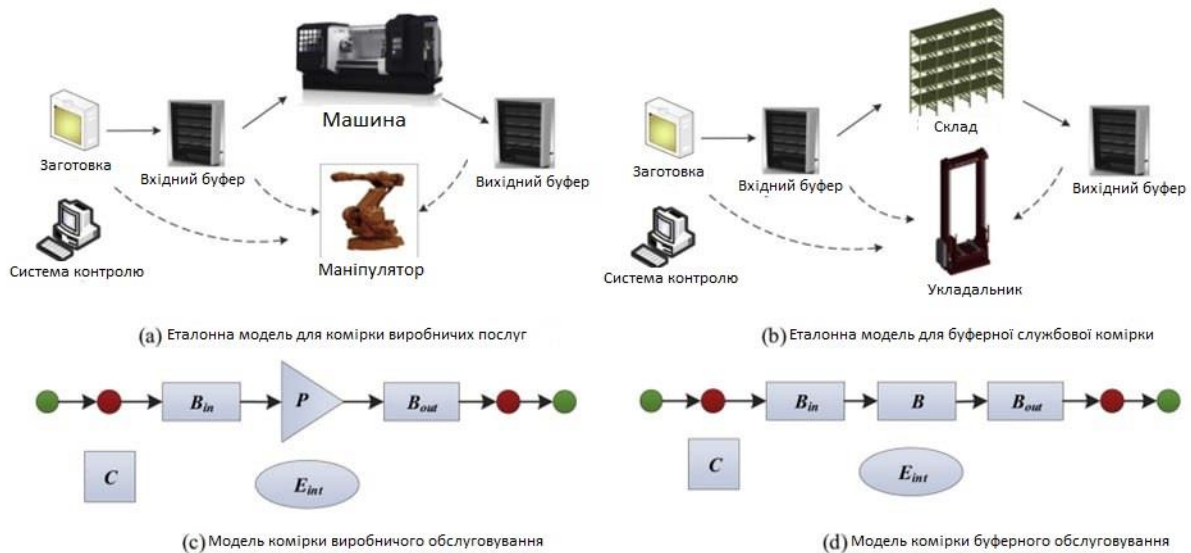


Рис. 2.7 Типові моделі сервісних осередків.

Як показано на рис. 2.7 (а) та (с), в комірці виробничого обслуговування (PSC) процесор є основною частиною, яка забезпечує такі послуги з обробки, як механічна обробка, перевірка, декомпозиція або збирання. F входить PSC через VSN, послідовно проходить через служби прийому B_{in} , P і B_{out} і, нарешті, залишає PSC через VSN. C управляє E_{int} , щоб допомогти потоку F серед перерахованих вище елементів. Вищезгадана логіка визначена як шаблон логіки та інкапсульована C SC.

Як показано на рис. 2.7 (b) і (d), у буферному службовому осередку (PBC) буфер є основною частиною, яка забезпечує буферні послуги, такі як передачі або зберігання для F . Крім різниці у службовому змісті, існує немає істотних відмінностей між BSC і PSC за структурою та логіці.

Конфігурація та комбінація сервісного осередку

Грунтуючись на типових моделях сервісного осередку, різні прояви сервісного осередку можуть бути отримані за допомогою конфігурації елементів. Наприклад, залежно від різних конфігурацій буфера виводяться три основні форми PSC (рис. 2.8(a)–(с)), а тип PSC виводиться із різних конфігурацій E_{int} (рис. 2.8 (d)). Інші форми

можуть бути отримані з комбінації B та E_{int} у різних конфігураціях. Так само BSC також має кілька різних проявів.

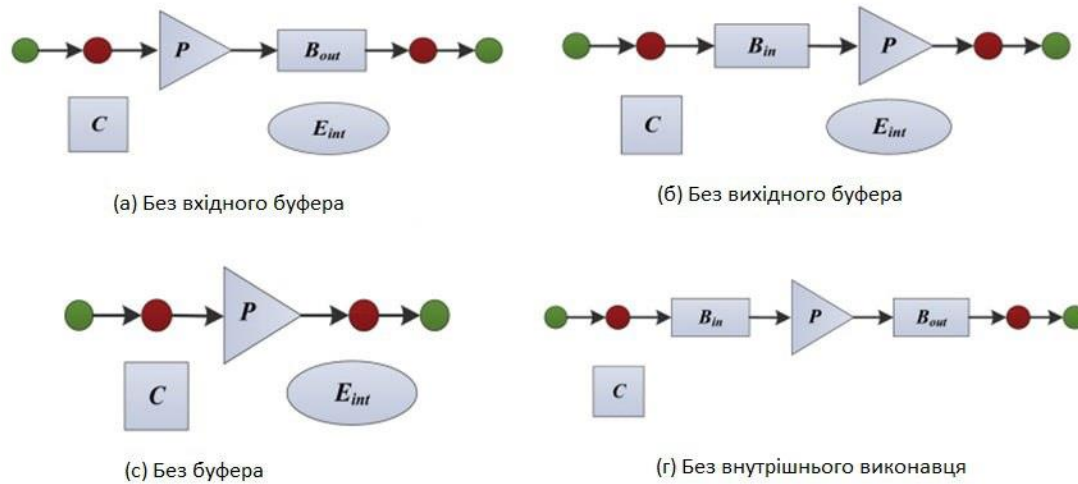


Рис. 2.8. Різні форми сервісного осередку.

Складні відношення організації виробництва може бути виражені через комбінації SC. На рис. 2.9 показано чотири основні типи комбінацій : «послідовна», «паралельна», «складальна» та «розширена».

Властивості сервісного осередку. Властивості SC можна резюмувати нижче.

SC – вільний, автономний агент із незалежною функцією. В основному це вказує на те, що: (a) немає обмежень на відстані для просторового розподілу елементів у SC; (b) SC не має виняткових обмежень на складові його об'єкти, ніби E_{int} міг належати декільком SC одночасно; та (c) SC може виконувати самостійне завдання без зовнішньої допомоги та підтримувати зв'язок із зовнішнім світом лише через VSN. Отже, SC демонструє більш гнучкі і реконфігуровані функції, ніж традиційні функціональні блоки (наприклад, функціональний блок і процес виробництва блоку)

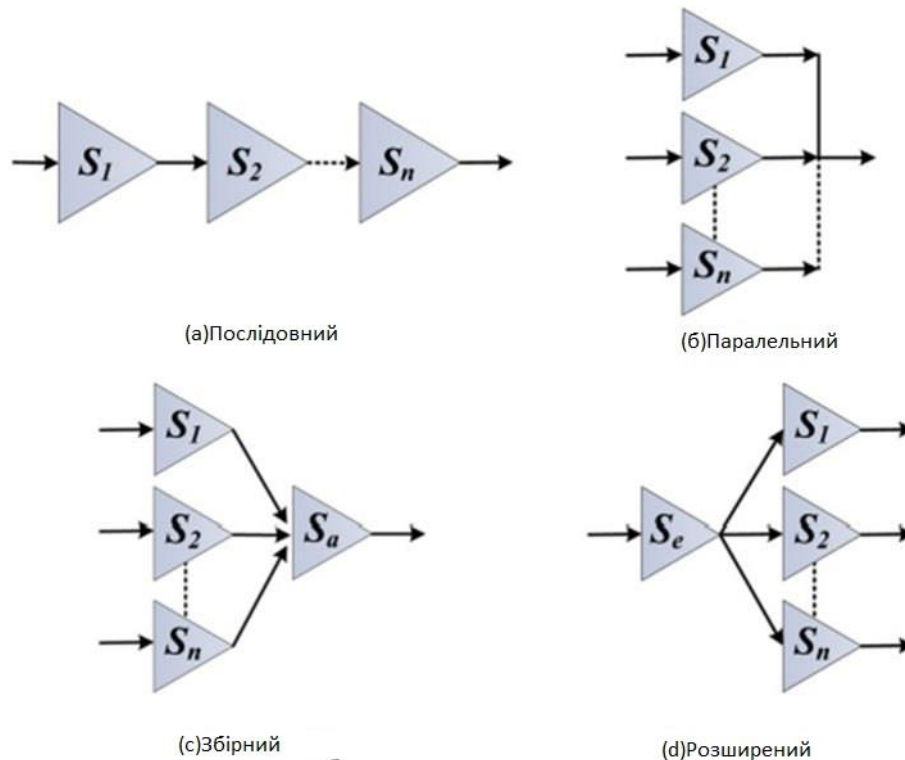


Рис. 2.9 Чотири основні комбінації моделей сервісних осередків.

SC складається з семи елементів або їх підмножини та його внутрішня логіка визначається різною конфігурацією елементів. Постачальник послуг (P PSC або B BSC), C і VSN є основними і незамінними елементами. B_{in} , B_{out} та E_{int} можуть бути гнучко налаштовані залежно від різних вимог (див. рис. 4). Логіка роботи типового SC зумовлена як шаблон. Користувальницький SC є похідним від типового SC, і логіка його роботи може бути створена на основі шаблону, який залежить тільки від конфігурації SC користувача. Таким чином, після завершення налаштування логіка C генерується автоматично.

SC є середнім рівнем системи. SC складається з базових елементів, а він, у свою чергу, виступає як базовий елемент у системі вищого рівня. Складна системна структура може бути спрощена додатково за рахунок комбінації SC (див. рис. 2.9).

Подання логістичних відношень. У виробничій системі існує різне логістичне обладнання (наприклад, штабелі, маніпулятори тощо), різні форми компонування (наприклад, лінійне компонування, кругове компонування та мережеве компонування) та різна логіка управління (наприклад, автоматичне відстеження та

ручне управління). Щоб дійсно відобразити логістичні відносини, пропонується модель мережі логістичних шляхів (LPN), визначення якої наведено нижче.

$$LPN = \langle G, E_Set, VSN_Set \rangle \quad (2.5)$$

• $G = (V, E', W)$ - кінцевий простий неорієнтований граф з безліччю вершин (V), безліччю ребер (E') і вагою $W_{ij} = \text{Distance}(V_i, V_j)$. Він визначає геометричні властивості логістичної схеми. Нехай $G(V_i \times V_j)$ позначає матрицю суміжності групи G .

$$G(V_i \times V_j) = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix}, \quad a_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо є шлях } V_i \text{ до } V_j \\ 0, \text{ інакше} \end{cases} \quad (2.6)$$

де: V_i та V_j - вершини неорієнтованого графа; a_{ij} представляє відношення суміжності V_i і V_j .

$E_Set = \{E_1, E_2 \dots E_n\}$ - кінцева і непуста безліч виконавців (E_s), що поєднує різне логістичне обладнання.

• $VSN_Set = \{VSN_1, VSN_2 \dots VSN_n\}$ — це кінцева і непуста безліч VSN , які є контрольними точками, де виконавці та сервісний осередок обмінюються матеріалом.

Декілька LPN пов'язані між собою через певні VSN для формування «електронної карти» у віртуальному середовищі, яке повністю відображає логістичну структуру складної DMS. І вони забезпечують основу для планування найкоротшого шляху та планування логістики.

Подання операції. Спочатку викладається виробнича логічна модель. Далі виділяються конотації VSN . Нарешті, проілюстровано операцію, засновану на виробничій логічній моделі.

Виробничу діяльність можна як ряд чергуються операцій і логістичної діяльності. Логіку його можна описати як взаємодія між частинами, операціями і логістикою. Тому виробнича логічна модель СДВ описана на рис. 2.10 і позначена трійкою:

$$Production\ Logical\ Model = \langle F_Set, SC_Set, LPN_Set \rangle \quad (2.7)$$

• F_Set це кінцевий непустий набір F , який визначає вхід і вихід виробничої системи.

- SC_Set - це кінцева непорожня безліч SC, що описує ієрархічну виробничу структуру.
- LPN_Set – це кінцевий непустий набір LPN, який описує структуру мережної логістики.

Як показано на рис. 2.11, VSN відіграють важливу роль у виробничій логічній моделі. Три основні ідеї VSN:

Організатор та менеджер елементів у SC. VSN зв'язується з групою об'єктів, пов'язаних з певною службою для формування SC. Він визначає склад комірки, вміст служби та зовнішні інтерфейси. Через VSN можна обійти будь-які елементи SC та отримати його атрибути та статус.

Зв'язок між SC та LPN. VSN є ключовими геометричними точками, дискретно розподіленими за логістичними шляхами, які пов'язують виробництво та логістику за допомогою з'єднання SC і LPN. Крім того, переглядаючи статус E_s , прив'язаних до LPN, можна вибрати відповідних виконавців. Шляхом динамічного додавання двох VSN LPN можна швидко знайти найкоротший шлях між двома відповідними SC на основі алгоритму Дейкстри.

Відображення маршрутів деталей. Порівнюючи виробничі процеси, пов'язані з F_s , з послідовністю упорядкованих VSN, можна швидко і динамічно генерувати виробничу логічну модель. Це дозволяє динамічно організовувати виробничі маршрути під час виробництва, а чи не апіорно пов'язувати процеси з конкретними ресурсами у традиційному програмному забезпеченні для моделювання.

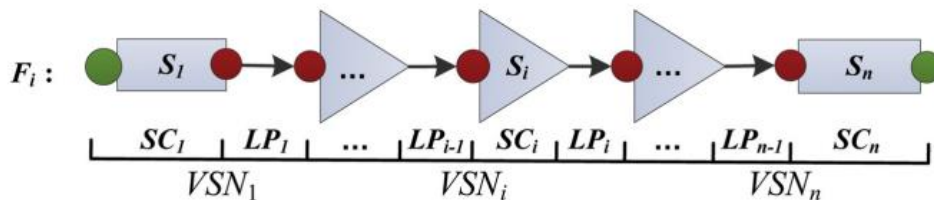


Рис. 2.10 Виробнича логічна модель потокової сутності на основі мульти-BCC

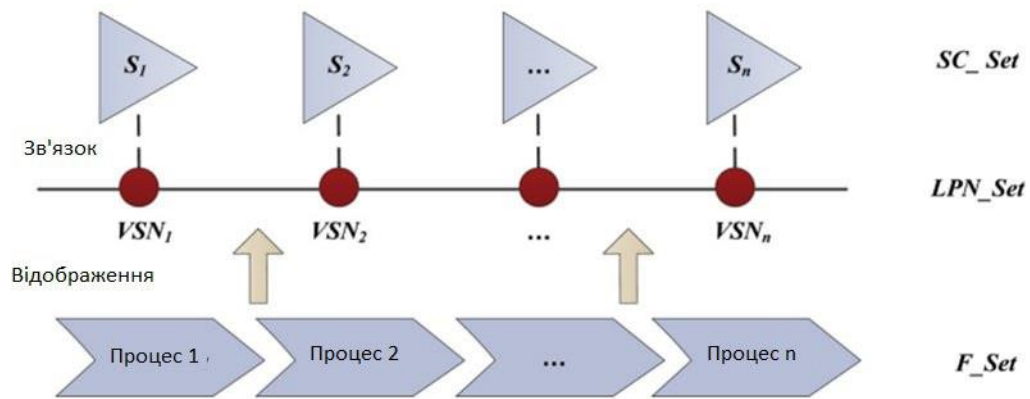


Рис. 2.11 Зв'язки між SC, LPN та F .

Залежно від виробничої логічної моделі процеси функціонування складної СЕД описані нижче.

Вхідний каскад. Нехай F_i – потокова сутність (Flowing entity), а $inf_process$ – отримана від нього інформація про процес. Припустимо, що F_i має n процесів, які послідовно впорядковані від 1 до n , і кожен процес відповідає 1-му по n -му SC. Отже, $inf_process$ можна описати як $\{SC_1, SC_2, \dots, SC_n\}$. Оскільки SC та VSN мають однозначну відповідність, $inf_process$ також може бути описаний як послідовність VSN (від VSN_1 до VSN_n).

Етап виконання. За вхідними даними динамічно генерується продукційна логічна модель F_i (див. рис. 2.10). Спочатку F_i поміщається в S_1 , очікуючи надсилання наступного процесу S_{i-1} для прийняття послуг. Є попит на логістичні послуги, тобто потрібно F_i для переходу з S_1 до S_{i-1} . Припустимо, що S_1 та S_{i-1} з'єднані через LPN_1 , а набір виконавців E_Set_1 прив'язаний до LPN_1 . В результаті відповідний виконавець E вибирається з E_Set_1 і призначається для транспортування F_i з S_1 до S_{i-1} на основі наступних двох правил. По-перше, поточний стан E неактивний. По-друге, загальна відстань транспортування (сума відстані від поточного положення E до S_1 та від S_1 до S_{i-1}) є найкоротшим. Потім, додаючи VSN_1 і VSN_{i-1} до сусідньої LPN_1 матриці, можна знайти найкоротший логістичний шлях LP_1 на основі алгоритму Дейкстри. Таким чином, F_i надходить у S_{i-1} , де службова логіка керується моделлю SC. Після отримання послуги S_{i-1} створюється новий попит на логістику. Таким чином, матеріали течуть упорядковано за логічною моделлю.

Вихідний каскад. Як показано на рис. 2.10, процес обслуговування чергується із процесом логістики. F_i залишає систему, доки не прийме всі послуги. Інформація про логістику, буфер та обробку, згенерована під час моделювання, збирається в інформації про моделювання F_i . Ця інформація про моделювання буде застосовуватись для перевірки виробничих планів та оцінки продуктивності системи.

Проектування зв'язку та взаємодії між фізичними системами та моделями їх подання. Моделі представлення забезпечують абстракцію та інкапсуляцію високого рівня для елементів та взаємозв'язків виробничої системи, які є наріжними каменями моделювання. У цьому розділі схема підключення та механізм взаємодії даних призначені для досягнення віртуально-фізичної взаємодії на практиці, що дозволяє використовувати моделювання протягом усього життєвого циклу виробництва.

Віртуально-фізична схема підключення. Відсутність віртуально-фізичного зв'язку та взаємодії призводить до моделювання не в реальному часі, що обмежує промислове застосування моделювання на основі теорії моделювання DES.

Хоча більшість програмного забезпечення для моделювання в даний час надає середовище тривимірного моделювання, вони більше піклуються про користувацький досвід і простоту моделювання, ніж фактичне відображення фізичної системи. Це ускладнює розгляд фактичної схеми логістики та взаємозв'язків логістики у традиційному моделюванні DES. Наприклад, у традиційному моделюванні DES час виконання кожного логістичного завдання зазвичай встановлюється постійним або моделюється певним статистичним розподілом, і його важко точно порівняти з реальною ситуацією з можливим збуренням. Отже, для реалістичного відтворення виробничої сцени необхідна геометрична модель, яка відбиває фізичну систему. З іншого боку, у традиційному моделюванні DES параметри моделювання не можуть бути отримані автоматично з фізичних об'єктів і можуть бути отримані лише зі статистичних значень та оцінок, що базуються на реальному виробничому досвіді. Наприклад, у традиційному моделюванні DES час роботи процесу на верстаті зазвичай вважається фіксованою константою або задається певним статистичним розподілом. У реальному виробництві час роботи верстата був із конкретним процесом. Отже, модель даних необхідна для зв'язку

фізичного об'єкта та його віртуальної моделі, щоб стан та робочі параметри фізичного об'єкта могли автоматично оновлюватися до його віртуальної моделі.

Схема зв'язку між фізичною та репрезентативною моделями зображена на рис. 2.12 (а). Як показано на рис. 2.12(а), спочатку налаштовується логічна модель на основі її моделі уявлення, що дозволяє моделювати віртуальні моделі. Його властивості моделювання та поведінка описуються дискретними подіями та діями на основі теорії моделювання DES. Геометрична модель - це дзеркальне відображення фізичного об'єкта у віртуальному просторі, що описує геометричні властивості (наприклад, форму, розмір, колір, взаємозв'язок складання тощо) та кінематичні структури (наприклад, кінематичну взаємозв'язок частин, діапазон руху, ступінь свободи тощо). буд.) фізичного об'єкта. Перше може бути виражене моделлю САПР, а друге може бути описано топологічною моделлю. Він також надає тривимірне інтерактивне середовище для моделювання та моніторингу фізичних об'єктів. Нарешті, модель даних відповідає за збирання, обробку, передачу, зберігання та аналіз даних, що забезпечується IoT та великими даними. Це міст, що поєднує фізичні об'єкти та їх віртуальні моделі. З одного боку, геометричні моделі та логічні моделі можуть бути узгоджені з фізичними об'єктами за рахунок конфігурації моделей та оновлень даних, щоб логічні моделі можна було моделювати протягом усього життєвого циклу виробництва. З іншого боку, з підвищенням точності та продуктивності вхідних даних моделювання в реальному часі фізичні системи можна було моделювати в режимі он-лайн і безперервно оптимізувати.

На рис. 2.12 (а) також показано взаємозв'язок між додатками для моделювання та моделями різних вимірювань на різних етапах виробництва, тобто автономне моделювання перед виробництвом, онлайн-моделювання під час виробництва та прогнозне моделювання після певного періоду стабільної роботи.

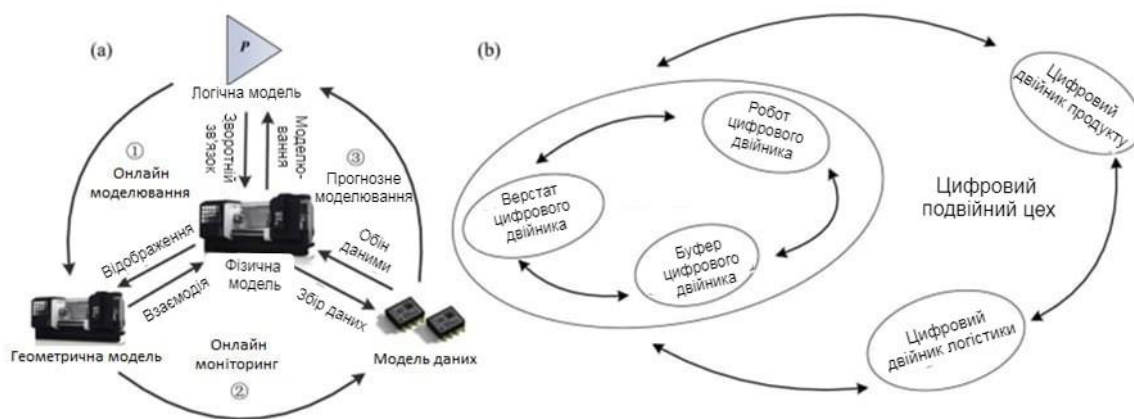


Рис. 2.12 Схема підключення: а - пристрої цифрового двійника; та (b) цех цифрових двійників.

Відповідно до рис. 2.11 логічна модель виробничої системи описується взаємодіями між F, SC та LPN. Таким чином, ЦД можна змоделювати за допомогою взаємодії та інтеграції між ЦД продуктів, ЦД осередків та ЦД логістики. За схемою підключення 2, можуть бути побудовані верстати ЦД, роботи ДП та буфери ДП. Ці моделі DT можуть надалі будувати моделі DT вищого рівня, такі як DT комірки та DT логістики. Нарешті, DT продуктів, DT осередків та DT логістики взаємодіють, утворюючи DTS, як показано на рис. 2.12 (b).

Багато вчених встановили ЦД продукту з погляду PLM. У цьому дослідженні продукт ЦД відноситься до моделі злиття моделі САПР, даних і потокового об'єкта. Його моделі даних включають інформацію про виробничий процес, виробничі плани, історичну інформацію про треки та інформацію про моделювання. Ці дані порівнюються один до одного з інформаційним набором поточного об'єкта. Інформація про виробничий процес та планування може бути вилучена з продукту. Наведена вище інформація надає основні дані моделювання. Розташування продукту в реальному часі може бути ідентифіковано та відстежено за допомогою технології RFID або штрих-коду для формування історичної інформації про відстеження, яка забезпечує довідку для моніторингу виконання виробничого плану та планування в реальному часі. З іншого боку, безперервний об'єкт проходить через весь процес моделювання та збирає інформацію про моделювання, таку як інформація про обробку, зберігання та логістику, яка використовується для оцінки продуктивності системи та перевірки виробничого плану.

Осередок ЦД є сукупністю пристроїв цифрових двійників, що включають верстати, роботи і буфери. Так само його можна описати як злиття геометричних моделей, моделей даних і логічних моделей. Його геометрична модель є тривимірним кресленням компонування, що включає модель САПР і взаємне розташування складових її пристроїв. Його модель даних включає в себе в реальному часі статус та робочі параметри кожного складового пристрою, а також виробничі замовлення та результати виконання. І логіка його роботи описується моделлю C у SC.

ЦД логістики моделюється логістичною схемою, моделлю LPN і даними, що їх зв'язують. Як згадувалося раніше, LPN визначається як неорієнтований граф G , набір E_s та набір VSN . G - це дзеркало схеми логістики, що забезпечує підтримку даних для планування найкоротшого шляху. На основі розробленої схеми та методів підключення логістичні пристрої та відповідні їм логічні моделі можуть бути об'єднані в модель цифрового двійника. У реальній логістичній схемі двовимірний код використовується визначення того, де AGV повертають і взаємодіють. Ці двовимірні коди можуть однозначно взаємно відповідати VSN в LPN. Через відповідність між двовимірним кодом та VSN логістичні пристрої можуть бути синхронізовані з E_s у ключових точках. Крім того, методи планування логістики та операційні механізми у різних режимах виробництва (таких, як виштовхування та витягування) відображаються у відповідні правила та логіку моделювання. Таким чином, модель LPN завжди можна синхронізувати та узгодити з реальною логістичною ситуацією в цеху.

Механізм взаємодії даних. Механізм взаємодії даних, що поєднує проміжне програмне забезпечення повідомлень, базу даних у пам'яті та реляційну базу даних, призначений для реалізації віртуально-фізичної взаємодії. Проміжне програмне забезпечення повідомлень, наприклад Kafka та MQTT, використовується для надсилання виробничих інструкцій та зворотного зв'язку про результати виконання. База даних пам'яті, наприклад Redis, використовується зберігання робочих даних у режимі реального часу під час виробництва. А реляційна база даних, наприклад MySQL, Oracle, SQL Server тощо, використовується для управління даними в системах моделювання.

Розроблений механізм взаємодії з даними забезпечує чотири типи взаємодії з даними, як показано стрілками на рис. 2.13: (1) виробничі замовлення, що надсилаються у фізичний та віртуальний цехи для виконання через проміжне програмне забезпечення повідомлень, тобто замовлення зі складу/на складі одиниці зберігання, операційні замовлення виробничих одиниць та замовлення логістики; (2) результати виконання замовлень повертаються з фізичної майстерні через проміжне програмне забезпечення повідомлень, тобто виконання не вдалося, виконання виконано успішно та виконання почалося; (3) стан у реальному часі та робочі параметри, синхронізовані з фізичними пристроями та майстерні через базу даних пам'яті, наприклад, положення осі руху верстата в реальному часі, швидкість AGV, сигнали датчиків і т. д., що робить віртуальні та фізичні майстерні залишатися синхронізованими у критичні моменти часу; та (4) результати аналізу моделювання та перевірений розклад повертаються з віртуальної майстерні через реляційну базу даних з даними у реальному часі як допоміжні засоби.

За допомогою вищезгаданого механізму взаємодії даних майстерня може працювати як на основі практичної ситуації, так і на моделі. З одного боку, система обслуговування майстерні відправляє замовлення у фізичну майстерню, потім складає графіки та коригує їх відповідно до результатів зворотного зв'язку про виконання. З іншого боку, фізична майстерня та віртуальна майстерня управляються одним і тим самим джерелом даних і залишаються узгодженими в критичні моменти. Аномальні дані та події фізичної майстерні будуть відбивається у віртуальній майстерні як реального часу. Вони фіксуються, моделюються, аналізуються та оцінюються, щоб допомогти у прийнятті рішень. І нові виробничі замовлення можуть бути створені для настроювання та оптимізації фізичного цеху, щоб сформувати замкнутий цикл.

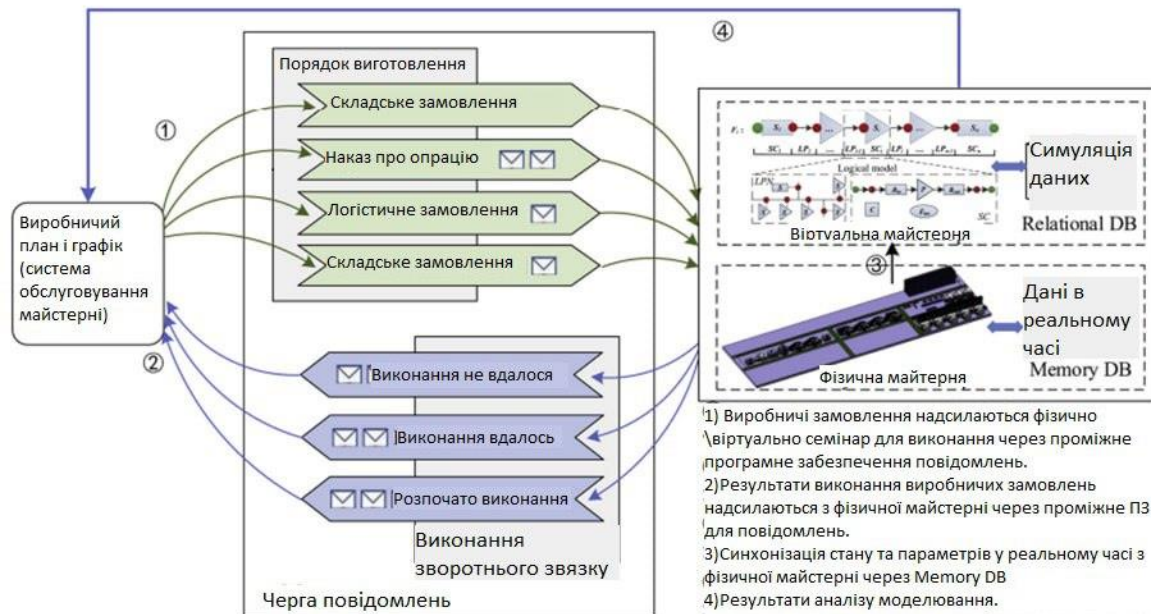


Рис. 2.13. Механізм взаємодії даних.

Механізми моделювання протягом усього життєвого циклу виробництва. На основі розробленої схеми підключення та механізму взаємодії даних віртуальна модель має потенціал для моделювання повного виробничого циклу. Механізм моделювання описано на рис. 2.14 (а). По-перше, DMS представлено через поняття, тобто SC, LPN та їх конфігурації. Далі, дві паралельні лінії життя (тобто фізична система та віртуальна система) існують відповідно у фізичному та віртуальному просторі, які переплітаються через геометричну, логічну та модель даних. З одного боку, автономне моделювання на основі моделей та онлайн-моніторинг на основі даних виконуються паралельно. З іншого боку, коли фізична система порушена, поточні стани системи як вхідні дані моделювання викликають модель моделювання для оцінки впливу цього порушення на виробництво. Нарешті, прогностичне моделювання може бути досягнуто шляхом об'єднання даних у реальному часі та змодельованих даних. Основний сценарій застосування моделювання на різних етапах виробництва описано на рис. 2.14 (б).

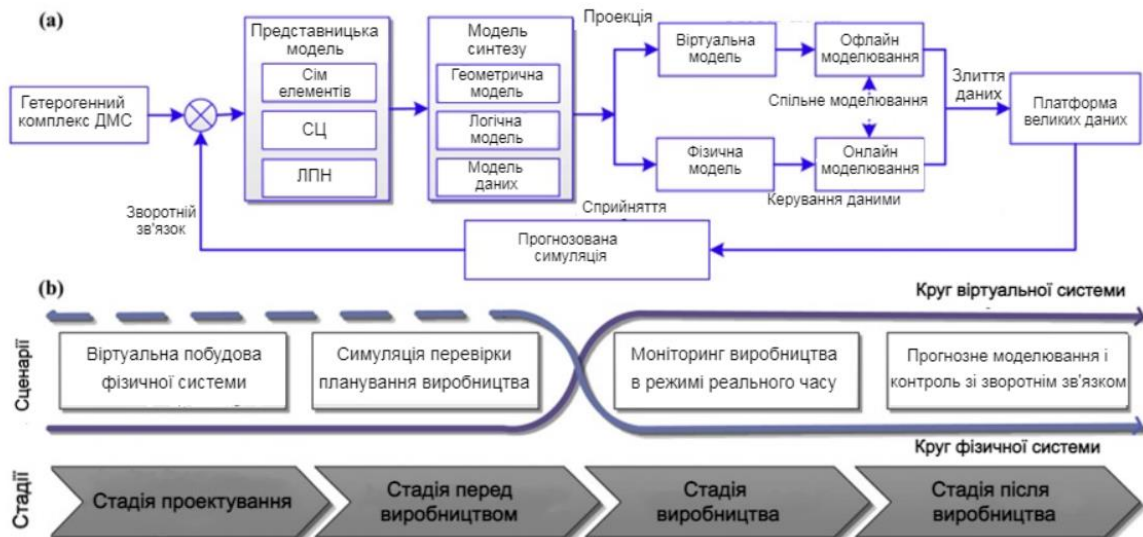


Рис. 2.14. (а) механізм імітації; та (b) сценарії застосування на різних етапах.

На стадії проектування та креслень життя фізичної майстерні ще не почалося (див. синю пунктирну лінію на рис. 2.14 (b)); різні схеми проектування можуть бути швидко згенеровані у віртуальному просторі за рахунок конфігурації та комбінації семи елементів, SC та LPN. Порівнюючи та аналізуючи ці схеми, можна оптимізувати параметри проекту, наприклад, кількість та потужність буферних станцій, кількість логістичного обладнання, налаштування логістичного шляху тощо.

Перед виробництвом виробничі плани із системи розкладу вирушають у віртуальний цех, де моделюються різні робочі умови виявлення потенційних конфліктів у планах. Після перевірки та доопрацювання плани вирушають у фізичну майстерню для виконання.

Під час виробництва фізичний цех та віртуальний цех працюють паралельно. Стан ресурсів у реальному часі синхронно відбивається у віртуальному цеху. Таким чином, виробничий процес може бути контролюватись, і дані в режимі реального часу можуть бути записані. З іншого боку, наслідки різних схем планування при різних порушеннях (наприклад, відмови обладнання, зміни плану та брак матеріалів) можна оцінити за допомогою онлайн-моделювання, яке є основою прийняття рішень для динамічного планування.

Після стабільної роботи системи протягом певного періоду генеруються масивні операційні дані та дані моделювання, які забезпечують основу даних для подальшого аналізу даних, інженерії знань та ітеративної оптимізації моделі. Виробничі сценарії,

особливо сцена перед збоєм, можуть бути відтворені на основі історичних даних, щоб отримати цінний досвід та знайти потенційні проблеми. Більше того, на основі масивних історичних даних стає можливим прогностичне моделювання; і буде отримано можливий стан пристрою/цеху в наступний момент, що має велике значення для підвищення точності прийняття рішень та ефективності управління[31].

2.3. Огляд деталі типу фланець.

Фланець - це плоска деталь з отворами, розташованими рівномірно для герметичного кріплення, яка використовується для з'єднання труб, приєднання труб до машин або з'єднання валів у муфтах фланцевого типу. Їх універсальність та можливість створення герметичного з'єднання зробили їх популярними. Фланці можуть бути приварними або прикручуватися болтами. Приварні фланці поділяються на плоскі, комірцевого типу та вільні фланці на приварному кільці. Зазвичай вони виготовляються з вуглецевих, легованих сталей або нержавіючих металів, таких як сталь 20, 20А, 09Г2С, 06ХН28МДТ тощо. У проектуванні даної деталі використовується сталь 14Х17Н2, хімічний склад якої наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Хімічний склад сталі 14Х17Н2

Елемент	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Cu	Fe
Відсоток, %	0,11 – 0,17	До 0,8	До 0,8	1,5 – 2,5	До 0,025	До 0,03	16 - 18	До 0,2	До 0,3	78

Дана сталь використовується для виготовлення дисків, валів, втулок, фланців, кріпильних деталей тощо.

На рисунку 2.15 представлено колону переходів, що використовуються на радіолокаторі, які відповідають за передачу крутячого моменту від електродвигуна до платформи, на які закріплений екран для прийому сигналу.

Фланець радіолокатора призначений для з'єднання двох переходів W1 і W2 з метою передачі крутячого моменту із одного переходу на другий.

Для з'єднання переходів на стійці радіолокатору з фланцем передбачено два пальці та два пази, а також отвір під фіксуєчий штифт. Креслення деталі наведено на рис. 2.16, де представлені всі необхідні види для повного опису деталі. Розміри з

допусками та необхідна шорсткість вказані на відповідних видах, що дозволить якісно виготовити деталь.

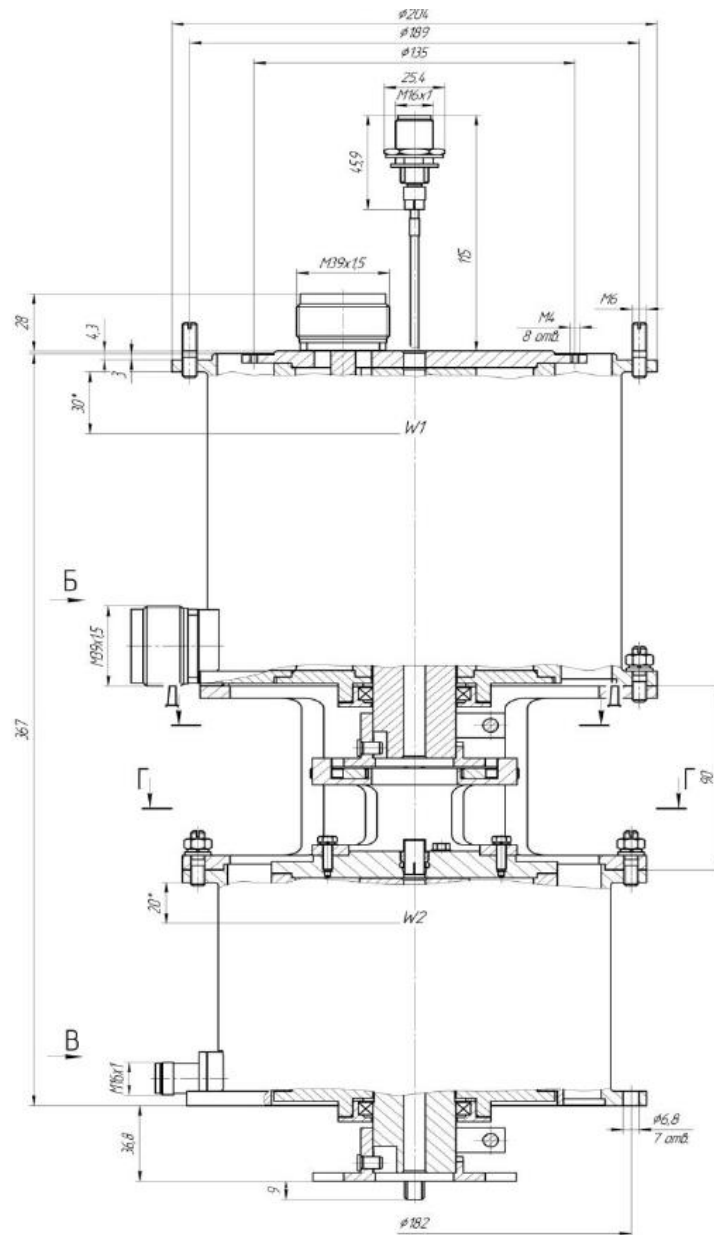


Рис. 2.15 Колонна переходів радіолокатора

Шорсткість поверхні пальців установлено на рівні $Ra 0,8$ мкм, щоб забезпечити точне з'єднання та уникнути ударів під час експлуатації. Цю шорсткість можна досягти за допомогою шліфування відповідних поверхонь. Для точного з'єднання стакану з фланцем на поверхні отвору діаметром 35H9 також встановлено необхідну шорсткість, яку показано на рис. 2.16.

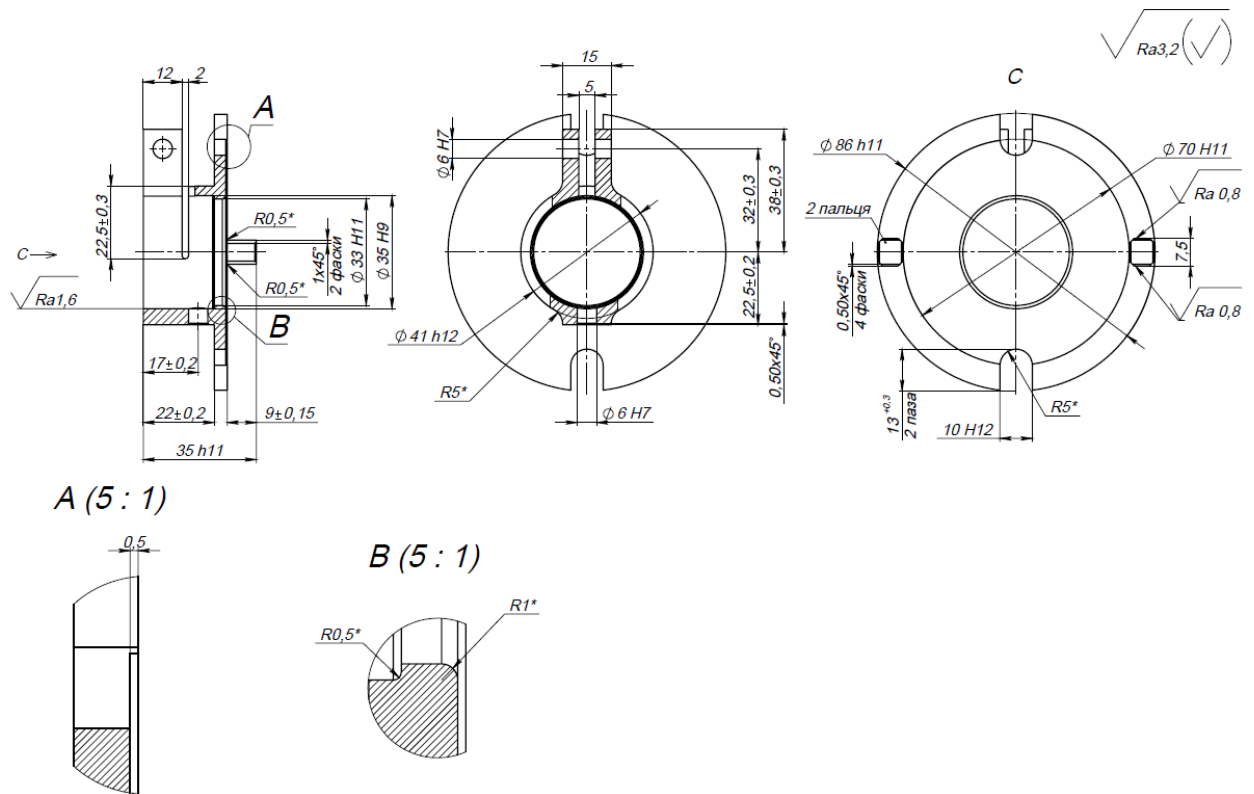


Рис. 2.16 Креслення деталі типу фланець

Основні етапи технологічного процесу виготовлення деталі фланець включають комплексну операцію на ОЦ та плоскошліфувальну операцію з ЧПК. Комплексна операція складається зі свердління, розточування, фрезерування та точіння. Детальний маршрут механічної обробки деталі можна знайти в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 Маршрут механічної обробки деталі

№ операції та переходу	Назва операції та переходу та їх зміст	Обладнання
000	Заготівельна	—
005	Комплексна на ОЦ	Токарно-фрезерний верстат DMG MORI CTX Beta 1250 TC
Перехід 1	Підрізання торця	
Перехід 2	Свердління отвору Ø28мм	
Перехід 3	Чорнове розточування отвору	
Перехід 4	Напівчистове розточування отвору	
Перехід 5	Чистове розточування отвору	
Перехід 6	Фрезерування фасонної поверхні	

Перехід 7	Фрезерування паза	
Перехід 8	Фрезерування паза	
Перехід 9	Свердлити 3 отвори Ø5мм	
Перехід 10	Розгорнути 3 отвори до Ø6мм	
Перехід 11	Точіння зовнішньої поверхні	
Перехід 12	Фрезерування паза	
Перехід 13	Фрезерування пальців	
Перехід 14	Фрезерування фасок на пальцях	
Перехід 15	Зенкування фаски	
010	Шліфувальна	Плоскошліфувальний станок JET JPSG- 1224TD
Перехід 1	Шліфування пальців	
015	Контрольна	

Під час виконання бакалаврської дипломної роботи були порашовані режими різання для кожного переходу. Для виконання цієї роботи ці всі обрахунки нас не цікавлять, нам потрібний лише час, який потрібен для виконання кожної операції. Для виконання комплексної операції потрібно 17 хв, для шліфувальної – 5хв, для контролю – 5хв[32].

2.4. Огляд плану цеху по виготовленню деталі типу фланець.

Для виготовлення деталі типу фланець у необхідній кількості було спроектовано план цеху площею 1010 м². У цеху розміщені маніпулятори, конвеєр, оброблювальні центри, верстати з ЧПУ, контрольна білянка та інше. Більш детально з планом цеху можна ознайомитися на рис. 2.17.

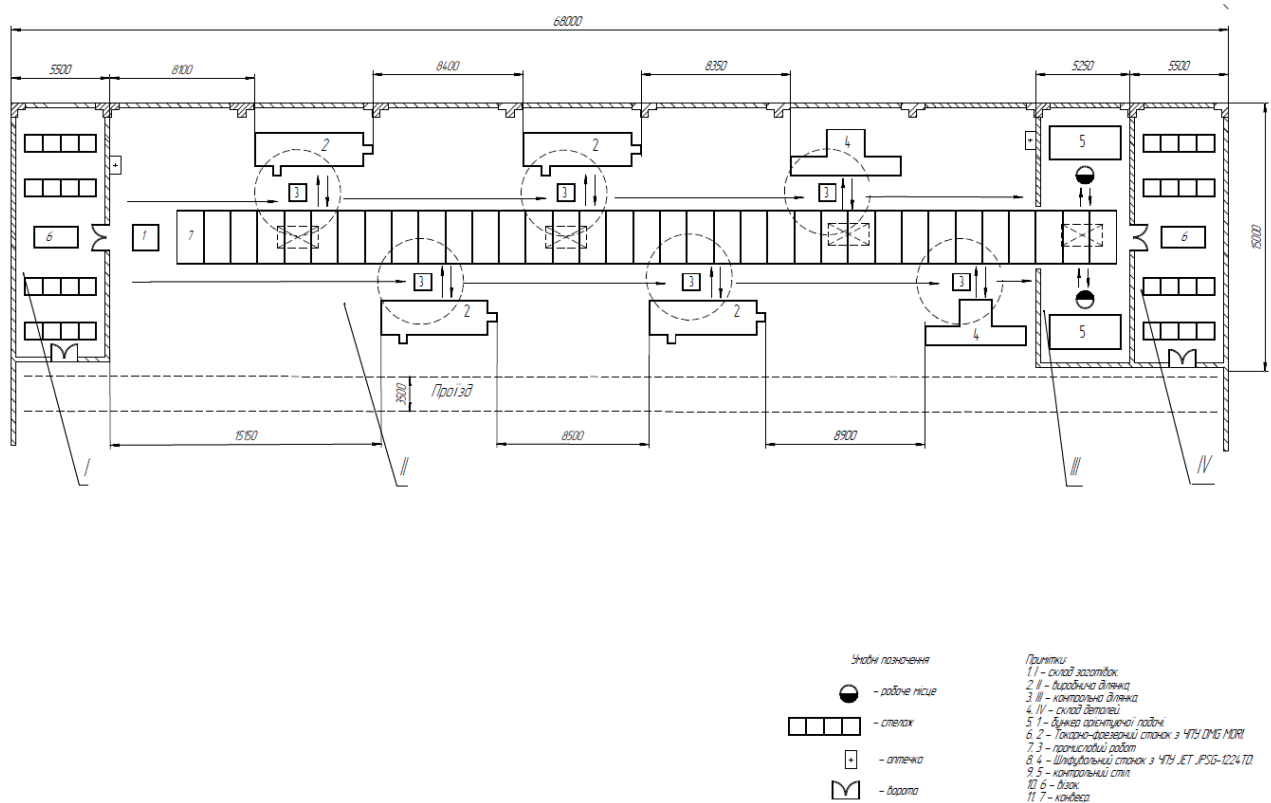


Рис. 2.17 План цеху по виготовленню деталі

Деталь має форму тіла обертання з габаритними розмірами $\varnothing 86 \times 35$ мм і після лиття потребує обробки деяких поверхонь, отворів, пальців та пазів за допомогою точіння, фрезерування та свердління. Вибір обладнання, яке повинне виконувати ці операції, залежить від кількох факторів, таких як розмір заготовки та можливості робочої зони верстату. Після аналізування багатьох оброблювальних центрів було вирішено використовувати токарно-фрезерні центри з ЧПК DMG MORI CTX beta 1250 TC та DMG MORI CTX gamma 3000 TC. Однак, для виготовлення деталей даного типу перевагу було надано верстату DMG MORI CTX beta 1250 TC, який краще підходить для виконання необхідних операцій. Крім того, цей верстат забезпечує підходящу робочу зону для обробки даної заготовки.



Рис. 2.18 Токарно-фрезерний центр DMG MORI CTX beta 1250 TC

Для шліфувальної операції був обраний станок JET JPSG-1224TD, який представлений на рис. 1.19.



Рис. 2.19 Плоскошліфувальний верстат JET JPSG-1224TD

2.5. Розробка цифрового двійника виробничого процесу.

Створення цифрового двійника - це складний та довготривалий процес, який потребує великої концентрації та знань з області програмування та виробництва. Однак, завдяки цифровому двійнику, можна створити віртуальну модель фізичного

об'єкта та його процесів виробництва, яка дозволить змоделювати та випробувати різноманітні сценарії роботи та зменшити ризики помилок на етапі реального виробництва. У цьому тексті ми розглянемо етапи створення цифрового двійника у FlexSim, однієї з найпопулярніших програм для створення цифрових двійників виробничих процесів[14,15].

Процес створення ЦД починається з вибору глобальних одиниць вимірювання часу, відстані та об'єму. Було обрано секунди, міліметри та літри. Ці одиниці будуть використовуватися при створенні моделі, заданні габаритних розмірів верстатів, відстані між ними, часу обробки деталі, часу для захвату деталі маніпулятором і багато іншого.

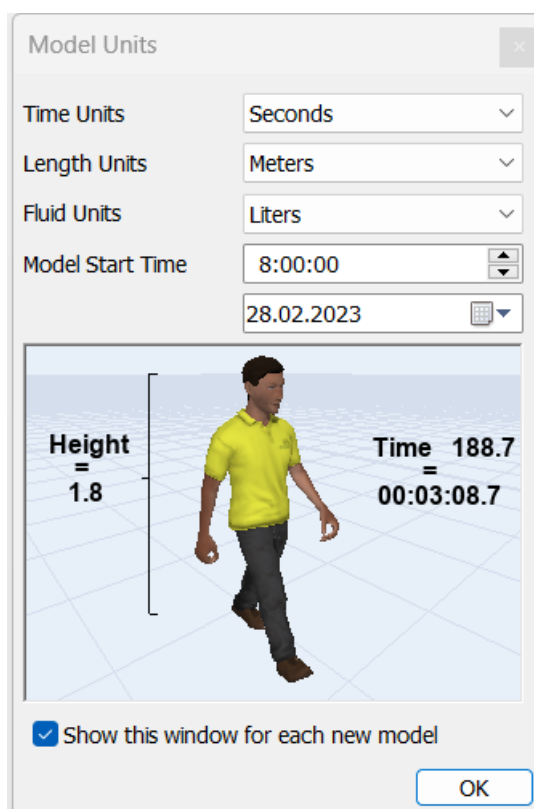


Рис. 2.20 Вибір головних одиниць вимірювання

На рис. 2.17 представлено план цеху по виготовленню деталі типу фланець. На основі маршруту обробки деталі було складено схему переміщення деталі по цеху.



Рис. 2.21 Схема переміщення заготовки

Заготовки зберігаються на складі. Через бункер поштучної подачі робот-маніпулятор FANUK M-10iA/7L забирає заготовку та переміщає її на конвеєр який розташований по всій довжині цеху.

Час, необхідний для захоплення деталі роботом M-10iA/7L, залежатиме від різноманітних факторів, таких як розмір та вага деталі, характеристики захоплюючого пристрою та налаштування робота.

В будь-якому випадку, робот M-10iA/7L є досить швидким та точним промисловим роботом, що може здійснювати рухи з високою швидкістю та точністю. Він має швидкість руху до 420 градусів за секунду та точність позиціювання до 0,02 мм.

У більшості випадків, промислові роботи маніпулятори можуть захоплювати деталі зі швидкістю до 1-2 секунд або менше, якщо деталь має стандартний розмір і вагу, і пристрій для захоплення правильно налаштований. Однак, у більш складних

задачах, наприклад, коли потрібно захопити деталь з нетиповою формою або з великою вагою, час захоплення може збільшуватися. Тому для моделювання коректної роботи робота-маніпулятора обираємо 2 секунди та заносимо ці дану у налаштування пристрою[16].



Рис. 2.22. Налаштування робочих характеристик маніпулятора

Після попадання на конвеєр заготовка прямує до одного із оброблювального цеху DMG MORI CTX beta 1250 TC. Для виконання комплексної операції потрібно 17 хв тобто 1020 с, саме ці дані заносимо до пристрою. Обслуговування ОЦ здійснює подачі робот-маніпулятор FANUK M-10iA/7L як і всіх інших.

Після комплексної операції заготовка відправляється на плоскошліфувальний верстат JET JPSG-1224TD. На виконання даної операції потрібно 5хв, тобто 300с. Нажаль 3D-моделі даного верстата не вдалося знайти, тому було взято модель самого звичайного шліфувального верстату, але це ніяк не вплине на функціонування нашої системи, так як головне тут саме час виконання операції, який ми вказали вірно.

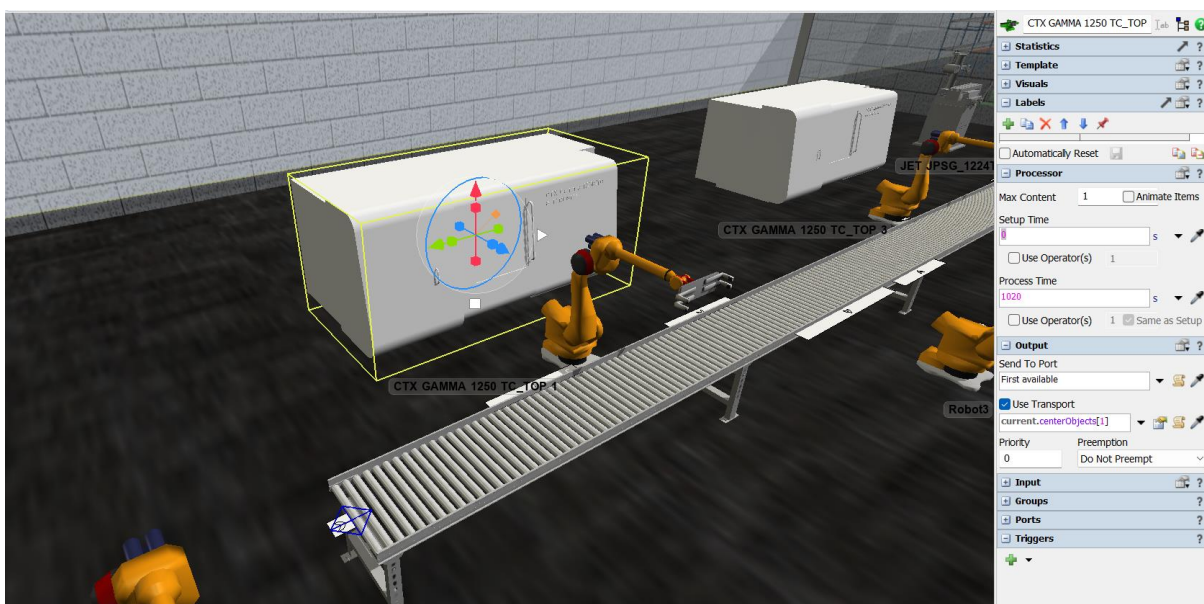


Рис. 2.23 Налаштування робочих характеристик оброблювального центру DMG MORI CTX beta 1250 TC

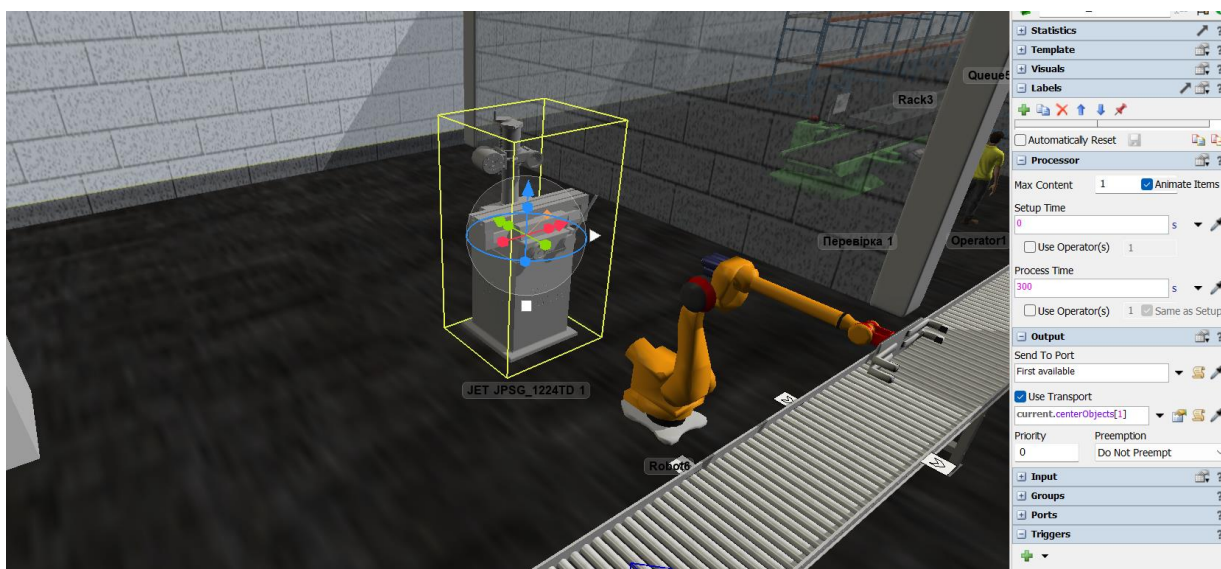


Рис. 2.24 Налаштування робочих характеристик плоскошліфувального верстату JET JPSG-1224TD

Потім після завершення усіх механічних операцій, готова деталь відправляється до контрольного пункту, де перевіряється радіальне биття деталі працівником. Візуального пункт контролю не змінювали і відображається як усі прості операції у FlexSim. Для контролю деталі потрібно близько 5хв із закріпленням та знаттям, що становить 600с.

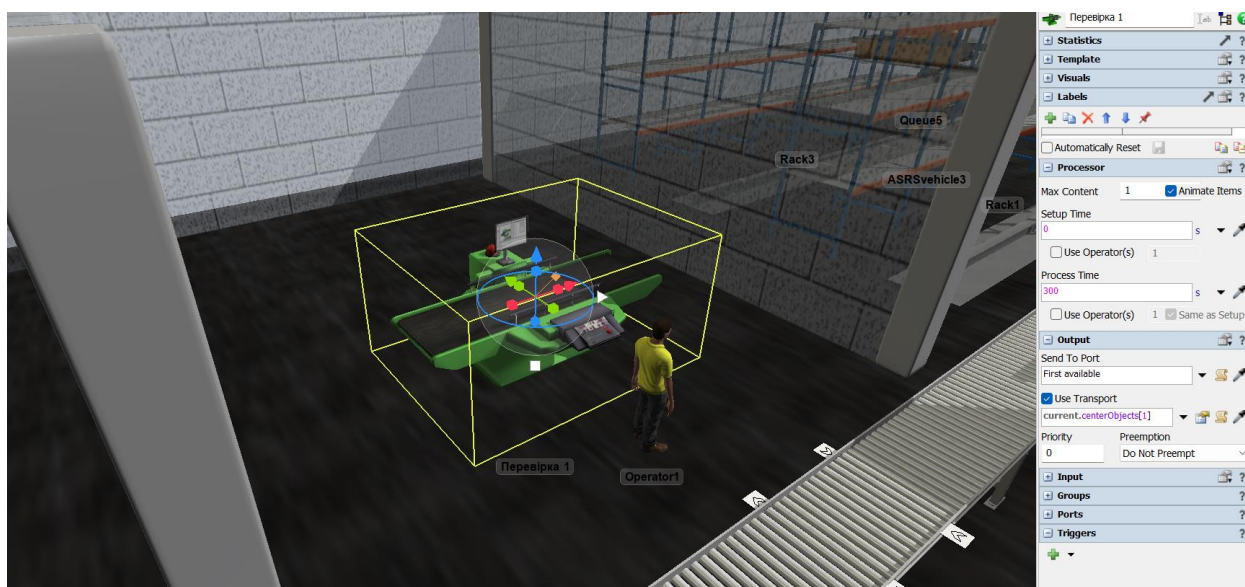


Рис. 2.25 Пункт перевірки деталей

При успішному проходженню контролю деталь повертається на конвеєр та прямує на склад зберігання, який складається із 4 стелажів. Дані стелажі обслуговують 5 ASRSVehicle.

ASRSVehicle - це об'єкт, який використовується для моделювання автоматизованої системи складської техніки AS/RS (Automated Storage and Retrieval System) у програмі FlexSim.

ASRSVehicle є рухомим об'єктом, який може пересуватися по системі переміщення, щоб переміщувати товари або матеріали між зонами зберігання та зонами підготовки до відвантаження. Він може виконувати різні функції, такі як підйом, опускання та переміщення товарів, а також повернення на базову станцію для зарядки або ремонту.

ASRSVehicle є важливим елементом моделювання системи AS/RS в FlexSim, оскільки він дозволяє створювати більш точні та реалістичні симуляції складських процесів. Він може бути налаштований для виконання різних задач, що забезпечує більшу гнучкість та ефективність управління складською технікою в FlexSim.

В нашому випадку одна система розвозить деталі по рядах, де стоять окремі ASRSVehicle і саме вони розставляють готові деталі на стелажах.

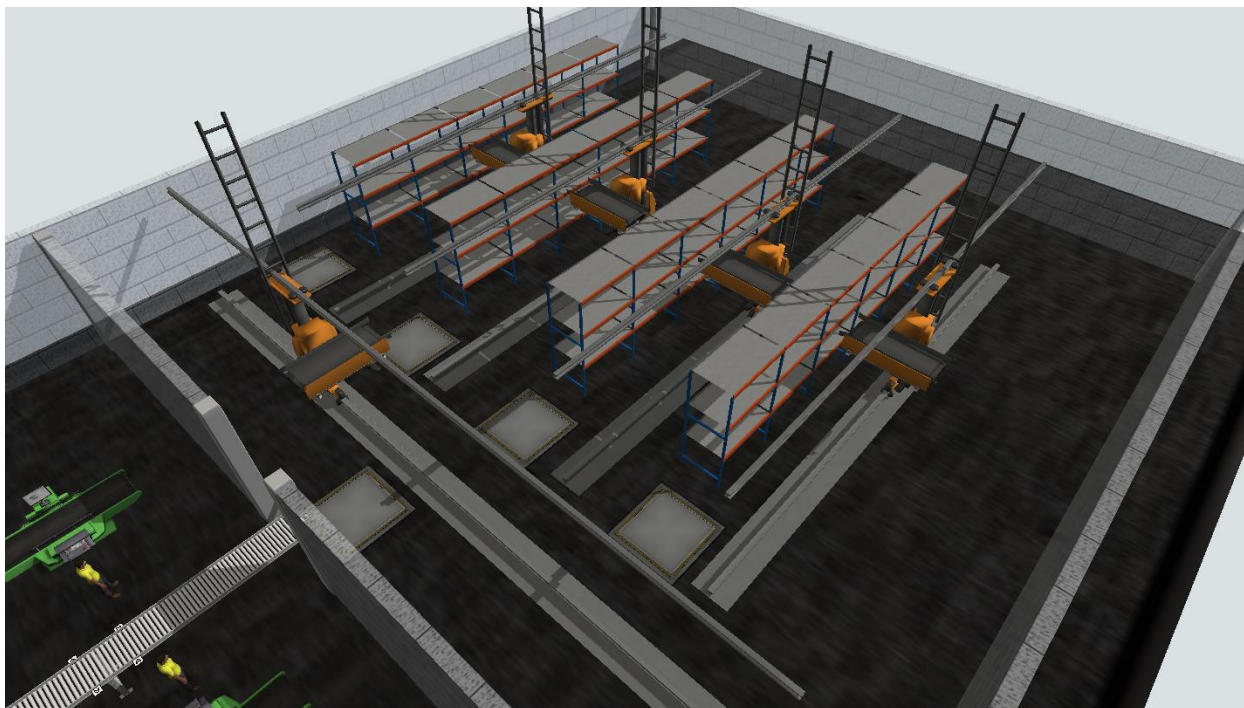


Рис. 2.26 Автоматизоване складське приміщення

На цьому розташування елементів система закінчено, але до закінчення створення системи ще далеко. Тепер потрібно створити зв'язки між усіма елементами системи. Спочатку потрібно з'єднати головні елементи між якими буде переміщатися деталь. Для цього було використано функцію «Connect Object».

Connect Object - це спеціальний об'єкт, який використовується для з'єднання інших об'єктів у середовищі FlexSim. За допомогою «Connect Object» можна створювати зв'язки між об'єктами, що дозволяє симулювати різні процеси і взаємодії між ними.

Зазвичай «Connect Object» використовується для моделювання транспортування матеріалів або продуктів на підприємстві. Наприклад, якщо ви моделюєте виробничу лінію з декількох робочих станцій, «Connect Object» може використовуватись для з'єднання станцій транспортними засобами (наприклад, конвеєром), що дозволяє переміщувати вироблені на одній станції продукти на наступну.

Після з'єднання основних елементів, потрібно до них підключити транспортні засоби, такі як роботи-маніпулятори, автоматизовані складські системи та інше. Для цього використовується функція «Connect Center Ports».

Connect Center Ports - це порти, які використовуються для з'єднання об'єктів у середовищі FlexSim. Ці порти можуть бути розміщені на будь-якому об'єкті, включаючи транспортні засоби, станції обробки, складські зони та інші.

«Connect Center Ports» надають можливість з'єднувати об'єкти з іншими об'єктами або зовнішніми джерелами, такими як бази даних або інші програми, що дозволяє моделювати більш складні процеси та взаємодії між об'єктами. За допомогою «Connect Center Ports» можна передавати дані, змінні та інші параметри між об'єктами, що дозволяє симулювати більш реалістичні процеси та динамічні зміни в системі.

«Connect Center Ports» можуть бути налаштовані залежно від вимог вашої симуляції. Наприклад, ви можете встановити типи даних, які передаються через порти, налаштувати імена портів та інші параметри. Крім того, «Connect Center Ports» можуть бути використані для моделювання інтерфейсів користувача, що дозволяє взаємодіяти з симуляційною моделлю через відповідний інтерфейс.

Візуально можна побачити ці зв'язки між елементами. Зв'язок «Connect Object» відображається лінією між елементами на початку якої розташований червоний трикутник, а в кінці – зелений. Зв'язок «Connect Center Ports» - лінією на початку і кінці якої розташовані червоні квадрати. Як виглядають ці зв'язки ви можете побачити на рис. 2.27 [17].



Рис. 2.27 Приклад візуального відображення зв'язків між елементами

2.6. Збір статистичних даних про функціонування цеху.

Закінчивши із налаштуванням моделі, було запущено симуляцію роботи виробництва. З першу можна сказати що все нормально і модель працює коректно, але те що візуально все добре, не означає що все так і є. Для аналізу роботи моделі було використано інструмент «Dashboard».

Функція «Dashboard» - це інструмент для візуалізації даних моделювання, який дозволяє користувачам відстежувати та аналізувати різні параметри, що відносяться до їх моделі.

«Dashboard» відображає різні статистичні дані про модель, такі як час очікування, кількість оброблених об'єктів, затримки в черзі, ресурсне використання та інші. Користувачі можуть змінювати параметри в режимі реального часу та переглядати, як вони впливають на модель.

Використання функції «Dashboard» дозволяє користувачам отримувати швидкий доступ до важливих даних про їх модель, що допомагає їм ефективно аналізувати та покращувати процеси моделювання. Крім того, використання «Dashboard» може допомогти виявити проблеми в моделі та знайти шляхи їх вирішення.

На рис. 2.28 показано як у програмному середовищі відображаються статистичні дані.



Рис. 2.28 Приклад відображення статистичних даних у FlexSim

Перед детальним аналізом кожної діаграми потрібно знати, що означають кожний елемент легенди.

Таблиця 2.3 Пояснення легенди діаграми

№	Легенда	Пояснення
1	Processing	Стан, в якому об'єкт знаходиться в процесі обробки
2	Idle	Стан, в якому об'єкт не зайнятий і не виконує жодних дій
3	Blocked	Стан, в якому об'єкт зупинився і не може продовжити виконувати свої дії через якусь причину.
4	Waiting for transporter	Стан, в якому об'єкт очікує на транспорт, який буде переносити його до нової локації.
5	Travel empty	Стан, в якому об'єкт пересувається до своєї наступної локації порожнім
6	Travel loaded	Стан, в якому об'єкт пересувається до своєї наступної локації з вантажем
7	Offset travel empty	Стан, в якому об'єкт пересувається до своєї наступної локації порожнім, але з певним затримкою на початку руху
8	Offset travel loaded	Стан, в якому об'єкт пересувається до своєї наступної локації з вантажем, але з певним затримкою на початку руху.
9	Loading	Стан, в якому об'єкт набирає вантаж
10	Unloading	Стан, в якому об'єкт розгружується.

Першою діаграмою являється діаграма стану виробничих станцій, а саме оброблювальний цент DMG MORI CTX beta 1250 TC на якому виконується комплексна операція, плоскошліфувальний верстат JET JPSG-1224TD та контрольний пункт (рис.2.27). Аналіз даної діаграми представлено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 Пояснення легенди діаграми

№	Стан	%	Аналіз
DMG MORI CTX beta 1250 TC			
1	Waiting for transporter	≈ 0,46	ОЦ очікує на загрузку деталі маніпулятором
2	Idle	≈ 1,47	ОЦ не виконує ніяких дій
3	Processing	≈ 98	ОЦ знаходить в процесі обробки деталі
Висновок: ОЦ ≈ 98 % всього часу знаходиться у процесі роботи, що являється дуже високим показником.			
JET JPSG-1224TD			
1	Waiting for transporter	≈ 0,98	ПШВ очікує на загрузку деталі маніпулятором
2	Blocked	≈ 1,01	ПШВ зупинився і не може продовжити виконувати свої дії
3	Idle	≈ 41,4	ПШВ не виконує ніяких дій
4	Processing	≈ 56,4	ПШВ знаходить в процесі обробки деталі
Висновок: ПШВ ≈ 56,4 % всього часу знаходиться у процесі роботи, що не середнім показником, проте також він ≈ 1,01 % всього часу є заблокованим, це відбувається через чергу на конвеєрі.			
Контрольний пункт			
1	Waiting for transporter	≈ 0,59	КП очікує на загрузку деталі маніпулятором
2	Idle	≈ 43	КП не виконує ніяких дій
3	Processing	≈ 56,4	ПШВ знаходить в процесі перевірки деталі
Висновок: КП ≈ 56,4 % всього часу знаходиться у процесі перевірки деталі			

Із даних наведених у таб. 2.4 можна сказати що робочі станції працюють достатньо ефективно.

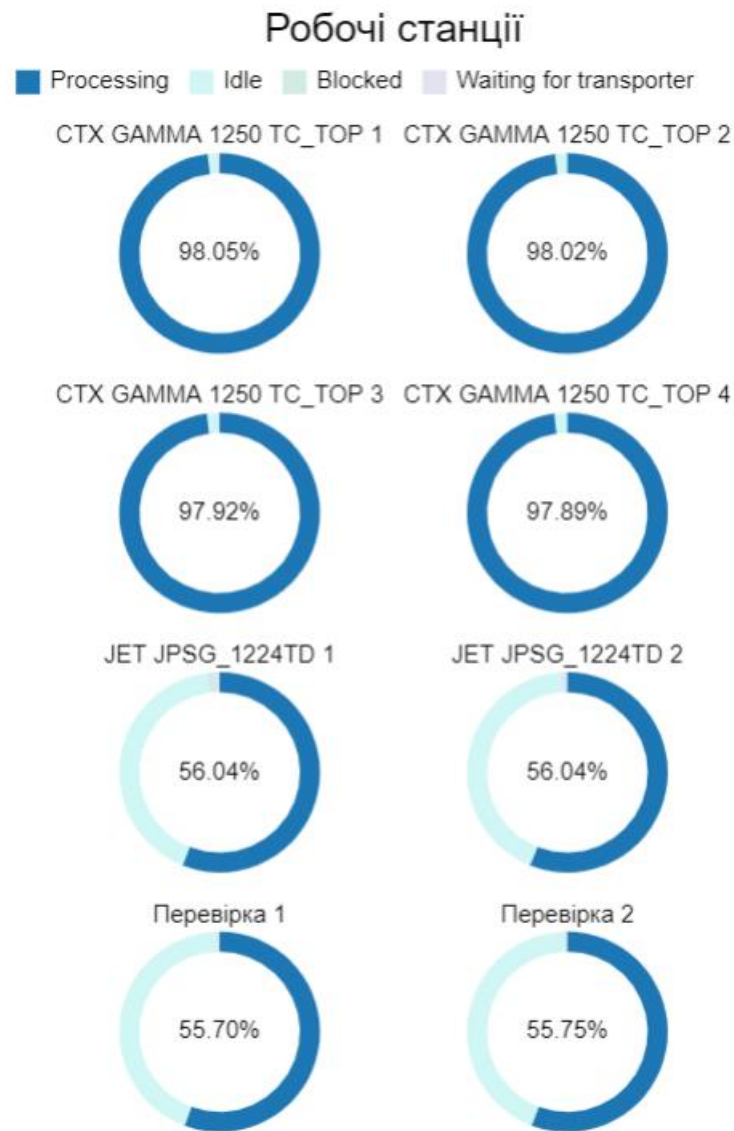


Рис. 2.29 Діаграма стану виробничих станцій

Наступна діаграма представляє з діаграму стану засобів переміщення та операторів (рис.2.30). Robot 1 – переміщує заготовки від поштучного подавача на конвеєр, Robot 2-5 – переміщує заготовки з конвеєра до ОЦ і після закінчення комплексної операції – назад на конвеєр, Robot 6-7 – переміщує заготовки з конвеєра до ПШВ і після закінчення комплексної операції – назад на конвеєр, оператор 1-2 – переміщують готові деталі з конвеєра на контрольний стіл і після успішного контролю назад на конвеєр.

Засоби переміщення

■ Travel empty ■ Travel loaded ■ Offset travel empty
■ Offset travel loaded ■ Loading ■ Unloading ■ Idle

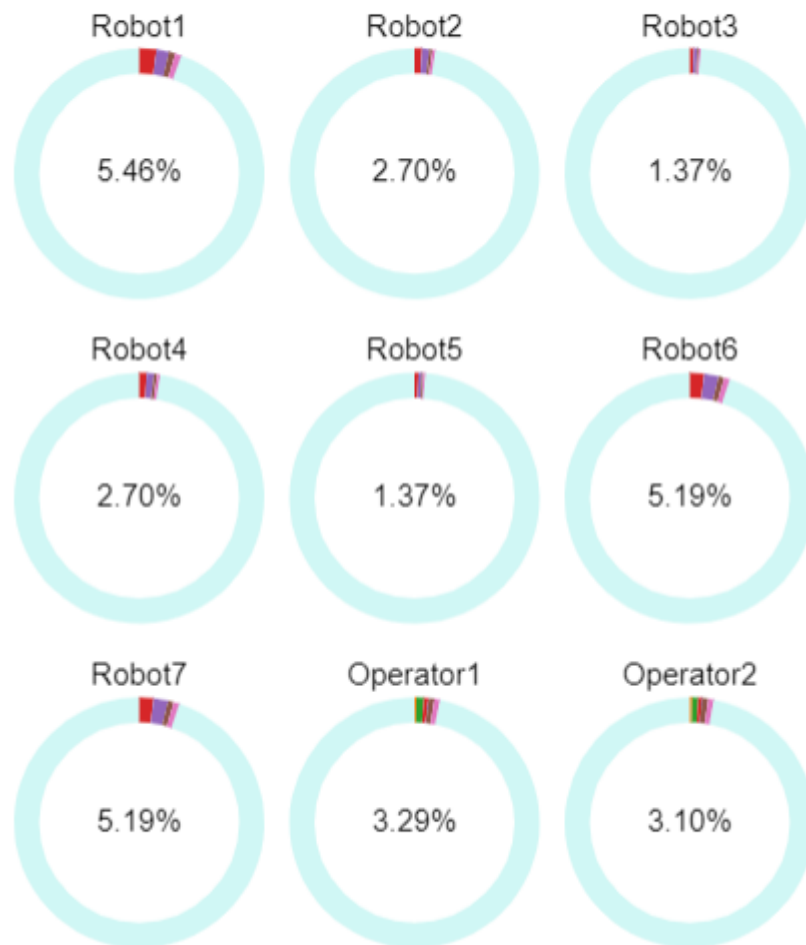


Рис. 2.30 Діаграма стану засобів переміщення

Таблиця 2.5 Пояснення легенди діаграми

№	Стан	%	Аналіз
Robot 1			
1	Loading	≈ 0,8	Маніпулятор захоплює деталь
2	Unloading	≈ 0,8	Маніпулятор розвантажує деталь
3	Offset travel empty	≈ 1,97	Маніпулятор пересувається до своєї наступної локації порожнім, але з певним затримкою на початку руху.
4	Offset travel loaded	≈ 1,97	Маніпулятор пересувається до своєї наступної локації з вантажем, але з певним затримкою на початку руху.
5	Idle	≈ 94,5	Маніпулятор не виконує ніяких дій
Висновок: Маніпулятор ≈ 94,5 % всього часу не виконує ніяких дій, що являється дуже поганим показником.			

Robot 2-5			
1	Loading	$\approx 0,38$	Маніпулятор захоплює деталь
2	Unloading	$\approx 0,38$	Маніпулятор розвантажує деталь
3	Offset travel empty	$\approx 0,95$	Маніпулятор пересувається до своєї наступної локації порожнім, але з певним затримкою на початку руху.
4	Offset travel loaded	$\approx 0,95$	Маніпулятор пересувається до своєї наступної локації з вантажем, але з певним затримкою на початку руху.
5	Idle	$\approx 97,35$	Маніпулятор не виконує ніяких дій
Висновок: Маніпулятор $\approx 97,35$ % всього часу не виконує ніяких дій, що являється дуже поганим показником.			
Robot 6-7			
1	Loading	$\approx 0,75$	Маніпулятор захоплює деталь
2	Unloading	$\approx 0,75$	Маніпулятор розвантажує деталь
3	Offset travel empty	$\approx 1,87$	Маніпулятор пересувається до своєї наступної локації порожнім, але з певним затримкою на початку руху.
4	Offset travel loaded	$\approx 1,87$	Маніпулятор пересувається до своєї наступної локації з вантажем, але з певним затримкою на початку руху.
5	Idle	$\approx 94,76$	Маніпулятор не виконує ніяких дій
Висновок: Маніпулятор $\approx 94,76$ % всього часу не виконує ніяких дій, що являється дуже поганим показником.			
Оператор 1-2			
1	Offset travel empty	$\approx 0,6$	Оператор пересувається до своєї наступної локації порожнім, але з певним затримкою на початку руху.
2	Loading	$\approx 0,75$	Оператор бере деталь
3	Unloading	$\approx 0,75$	Оператор розвантажує деталь
4	Travel empty	$\approx 0,25$	Оператор пересувається до своєї наступної локації порожнім
5	Travel loaded	$\approx 0,97$	Оператор пересувається до своєї наступної локації з вантажем
6	Idle	$\approx 96,6$	Оператор не виконує ніяких дій
Висновок: Оператор $\approx 96,6$ % всього часу не виконує ніяких дій, що є дуже не продуктивно.			

Із даних наведених у таблиці 2.5 можна сказати що засоби переміщення використовуються не ефективно і більшу частину часу нічого не роблять.

Остання діаграма являється діаграмою стану ACM(автоматизованих складських механізмів), яку показано на рисунку 2.20. ASRSvehicle 1 – ACM, який розвозить

деталі по рядах, ASRSvehicle 2-5 – АСМ, які складають деталі на стелажах. Аналіз даної діаграми представлено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 Пояснення легенди діаграми

№	Стан	%	Аналіз
ASRSvehicle 1			
1	Offset travel empty	≈ 1,97	АСМ пересувається до своєї наступної локації порожнім, але з певним затримкою на початку руху.
2	Offset travel loaded	≈ 2,22	АСМ пересувається до своєї наступної локації з вантажем, але з певним затримкою на початку руху.
3	Idle	≈ 95,81	АСМ не виконує ніяких дій
Висновок: АСМ ≈ 95,81 % всього часу не виконує ніяких дій, що являється дуже поганим показником.			
ASRSvehicle 2-5			
1	Offset travel empty	≈ 0,81	АСМ пересувається до своєї наступної локації порожнім, але з певним затримкою на початку руху.
2	Offset travel loaded	≈ 1,2	АСМ пересувається до своєї наступної локації з вантажем, але з певним затримкою на початку руху.
3	Idle	≈ 97,8	АСМ не виконує ніяких дій
Висновок: АСМ ≈ 97,8% всього часу не виконує ніяких дій, що являється дуже поганим показником.			

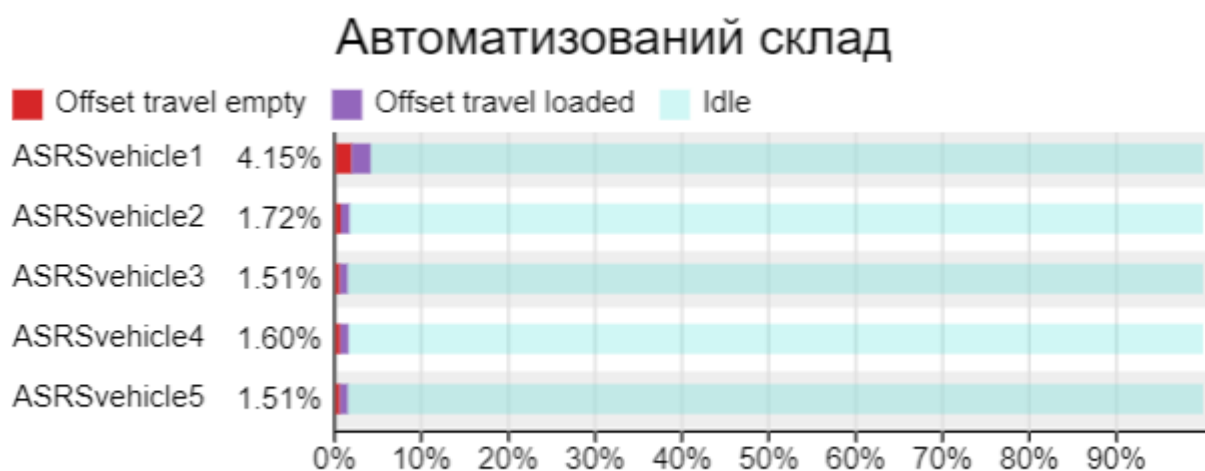


Рис. 2.31 Діаграма стану засобів АСМ

Із даних наведених у таблиці 2.6 можна сказати що АСМ використовуються не ефективно і більшу частину часу нічого не роблять[18,19].

Висновок по розділу 2

1. Розглянуто деталь типу фланець, виробництво якої розглядається в даній роботі.
2. Розглянуто план цеху по виготовлення деталі та верстатів, які використовуються для виготовлення.
3. Створено ЦД виробництва у програмному середовищі FlexSim.
4. За допомогою інструментів FlexSim отримано статистичні дані про роботу кожного елементу двійника.

3. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ КОНТРОЛЮ ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ ФЛАНЕЦЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА

3.1. Вибір середовища аналізу даних

Автоматичний аналіз баз даних є важливим процесом, що забезпечує можливість виявлення та аналізування цінної інформації великих масивів даних. Цей процес дозволяє виявити залежності, тенденції та інші корисні дані, що можуть бути використані для прийняття стратегічних рішень, покращення бізнес-процесів та забезпечення конкурентоспроможності на ринку[23].

Автоматичний аналіз баз даних переплітається з технологією цифрових двійників, що дозволяє створювати точне цифрове відображення реального світу. Це дає можливість створювати віртуальні моделі даних, які можуть бути використані для аналізу та прогнозування різних сценаріїв[24,25].

Загалом, автоматичний аналіз баз даних є важливим процесом для підвищення ефективності та конкурентоспроможності бізнесу. Середовища для аналізу баз даних, такі як Tableau, Zoho Analytics, Microsoft Power BI та, дозволяють використовувати дані для прийняття стратегічних рішень та покращення бізнес-процесів. Завдяки цим інструментам бізнес може аналізувати дані з різних джерел, побудувати візуалізації та зробити обґрунтовані висновки[20].

Tableau (*Tableau Software, Inc.*) - це програмне забезпечення для візуалізації та аналізу даних, що дозволяє користувачам звертатися до даних у режимі реального часу та створювати графіки, таблиці та інші візуальні елементи. Перевагами Tableau є його простота використання, можливість інтеграції з іншими інструментами бізнес-аналітики та багата функціональність.

Ще одним середовищем для аналізу баз даних є **Microsoft Power BI** (Microsoft). Power BI є інтегрованим рішенням для візуалізації даних та бізнес-аналітики. Він підтримує підключення до різних джерел даних та може інтегруватися з іншими продуктами Microsoft, такими як Excel, SharePoint та Dynamics 365. Power BI надає широкий спектр можливостей для візуалізації даних, таких як графіки, таблиці та географічні карти.

Інше середовище для аналізу баз даних – **QlikView** (QlikTech, США). QlikView дозволяє користувачам візуалізувати та аналізувати дані у режимі реального часу. Він надає можливість виконувати аналізи даних відразу ж після завантаження, що дозволяє реагувати на зміни у реальному часі. QlikView надає широкий спектр можливостей для візуалізації даних, таких як діаграми, графіки та таблиці.

Однак, **Zoho Analytics** (Zoho, США) може бути ще більш ефективним інструментом для аналізу баз даних. Zoho Analytics є більш доступним та бюджетним рішенням, порівняно з Tableau. Він надає можливість створювати дашборди, звіти та графіки відразу ж після імпортування даних зі сховища даних або з інших джерел

Однією з головних переваг Zoho Analytics є наявність Zia - інтелектуального помічника зі штучним інтелектом, який дозволяє автоматично розпізнавати та аналізувати дані без необхідності вручну налаштовувати звіти та фільтри. Zia допомагає виявляти залежності та тенденції, що дозволяє більш ефективно використовувати дані для прийняття рішень.

У таб.1 перераховані усі функції по яким здійснювався вибір середовища для автоматичного аналізу даних, отриманих з нашого цифрового двійника.

Таблиця 3.1 Вибір середовища для аналізу даних

Функції/Переваги	Zoho Analytics	Tableau	QlikView	Microsoft Power BI
Підтримка різноманітних джерел даних	+	+	+	+
Розширені засоби фільтрації та сортування	+	+	+	+
Розширені засоби аналізу даних	+	+	+	+
Вбудована підтримка нейромереж	+	-	-	+
Візуалізація даних	+	+	+	+
Підтримка мобільних пристроїв	+	+	+	+
Співпраця та розподіл даних	+	+	+	+
Наявність онлайн-академії для навчання	+	-	-	-
Можливість зміни зовнішнього вигляду інтерфейсу	+	+	+	+

Для аналізу даних отриманих з FlexSim були обрано онлайн платформу Zoho Analytics. Головною перевагою перед іншими стала наявність нейромережі Zia та великої кількості навчального матеріалу.

3.2. Розробка шаблону автоматичного аналізу даних в Zoho Analytics

Zoho Analytics є хмарним сервісом аналізу даних, який дозволяє користувачам збирати, аналізувати та візуалізувати дані з різних джерел. Вона дозволяє користувачам легко створювати та обмінюватися потужними звітами за лічені хвилини без допомоги IT-фахівців.

Основні можливості Zoho Analytics:

1. З'єднання даних з різних джерел, таких як бази даних, електронні таблиці, файлові системи, хмарні сервіси тощо.
2. Візуалізація даних у вигляді звітів, графіків, діаграм тощо, що дозволяє користувачам здійснювати швидкий та ефективний аналіз даних.
3. Автоматизація процесу збору та аналізу даних, що дозволяє користувачам економити час та зусилля.
4. Підтримка різних видів аналізу даних, включаючи статистичний аналіз, аналіз співставлення, прогнозування тощо.
5. Можливість створювати інтерактивні звіти та панелі управління для зручного моніторингу даних.
6. Забезпечення безпеки даних та контролю доступу до них.

Загалом, Zoho Analytics є потужним інструментом для аналізу даних, який може бути використаний в багатьох галузях бізнесу та для різних видів аналізу даних.

У даному середовищі розроблений шаблон для аналізу даних, схема якого представлена на рис.3.1. У таблиці 3.2 наведено пояснення стосовно кожного блоку шаблону.

Таблиця 3.2 Пояснення до схеми шаблону

Назва блоку	Пояснення
Блок 1.1	Вираховує стільки всього часу відпрацювала модель.
Блок 1.2	Вираховує найменший часу простою всіх елементів.
Блок 1.3	Вираховує найбільший часу простою всіх елементів.
Блок 1.4	Вираховує середню час простою всіх елементів.
Блок 2.1	Виводить кільцеву діаграму стану усіх елементів.
Блок 2.2	Виводить стовпчасту діаграму стану простою всіх елементів.
Блок 3.1	Виводить кільцеву діаграму стану усіх груп.

Блок 3.2	Виводить таблицю із кількістю елементів у групі, і сумарним часом простою.
----------	--

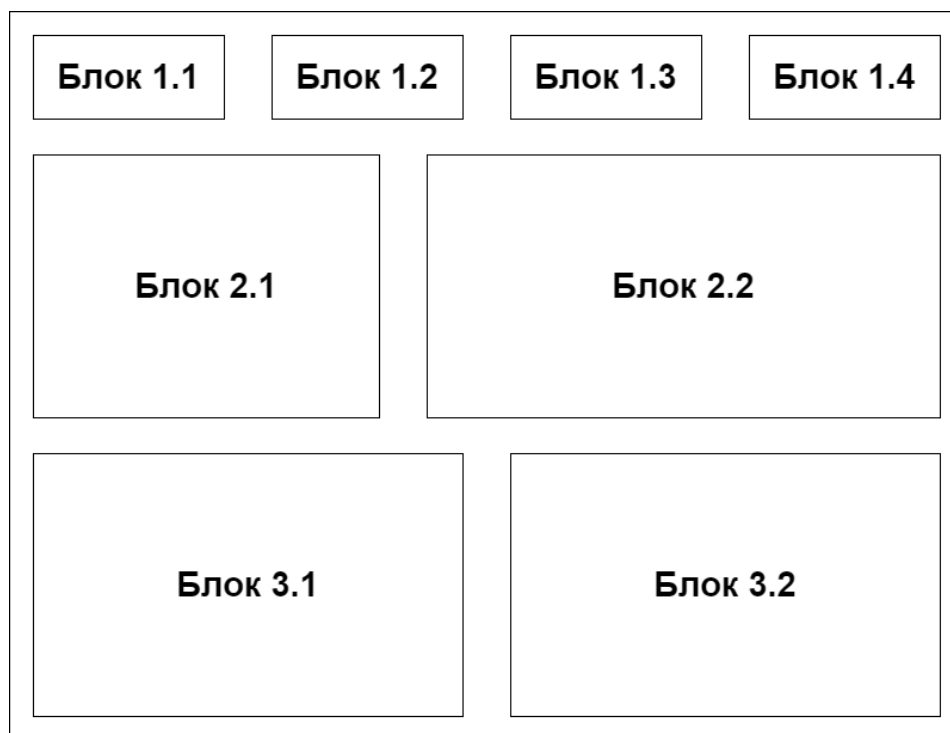


Рис. 3.1 Схема шаблону створеного в Zoho Analytics

Підчас створення шаблону були використані вбудовані віджети для створення карточок(Блок 1.1-1.4) та функції для побудови діаграм та таблиць.

Блок 2.1 та блок 3.1 є найскладнішими, тому потребують пояснення. На рис.3.2а представлено початковий вигляд діаграми. На ній розміщені всі елементи, для яких був проведений аналіз. При наведенні на якийсь сектор, з'являється модальне вікно в якому можна дізнатися до якого елементу відноситься даний сектор і скільки часу пропрацював елемент. Після ознайомлення з даною інформацією, нажимає лівою кнопкою миші по даному сектору і робимо деталізацію за станом. На рис.3.2б зображено діаграма стану для маніпулятора який відповідає за переміщення заготовок від поштучного подавача заготовок на конвеєр.

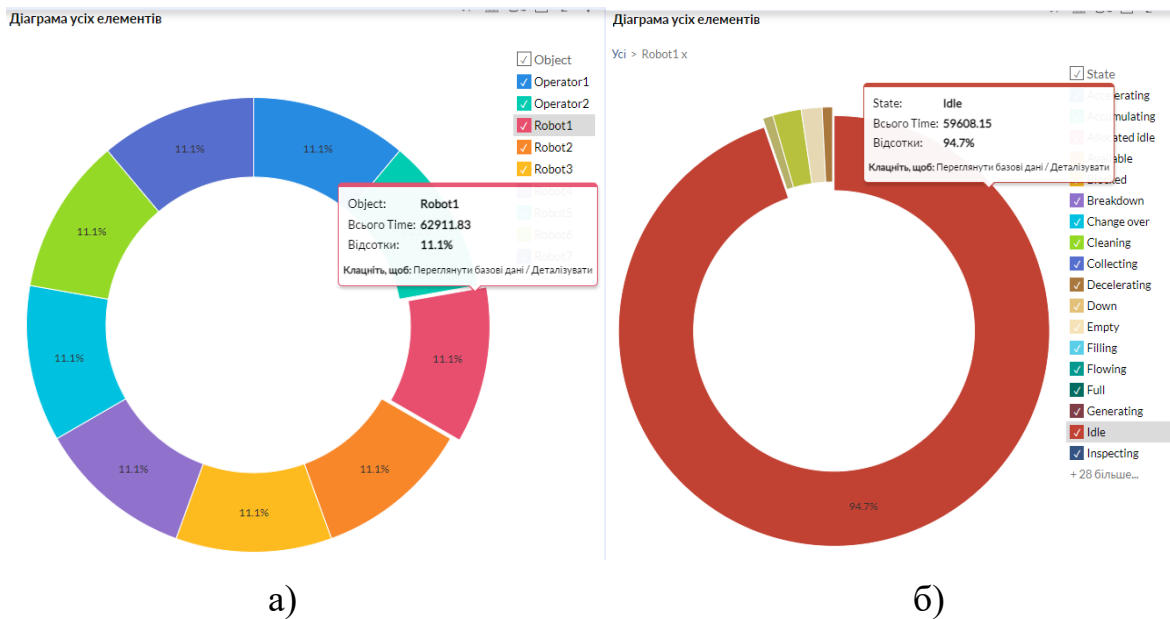


Рис.3.2 Діаграма а) усіх елементів б) елемента деталізована за станом

Блок 3.1 створює подібну діаграму, але по групах. Після вибору групи, робимо деталізацію за станом. Після вибору стану, який нас цікавить, робимо деталізацію за об'єктами і можемо побачити скільки часу кожен елемент групи знаходився в даному стані (рис.3.3).



Рис. 3.3 Приклад деталізації блоку 3.1

На рис. 3.4 представлено аналіз засобів переміщення. Відразу бачимо що ефективність даних елементів дуже погана, так як найбільш ефективний елемент знаходиться в стані простою дуже багато часу. Найбільше знаходиться в стані простою Robot5, а група – Second Robot Group.



Рис. 3.4 Аналіз засобів переміщення

Аналогічно на рис. 3.5 та 3.6 представлено аналіз робочих станцій та АСМ. Після формування звіту стає відразу зрозуміло що робочі станції працюють ефективно. Найбільший час простою з робочих станцій становить не більше 50% від всього часу, коли найменший становить близько 2%, що являється чудовим показником. Проте з АСМ все погано найбільш ефективний елемент знаходиться в стані простою аж 95% часу.

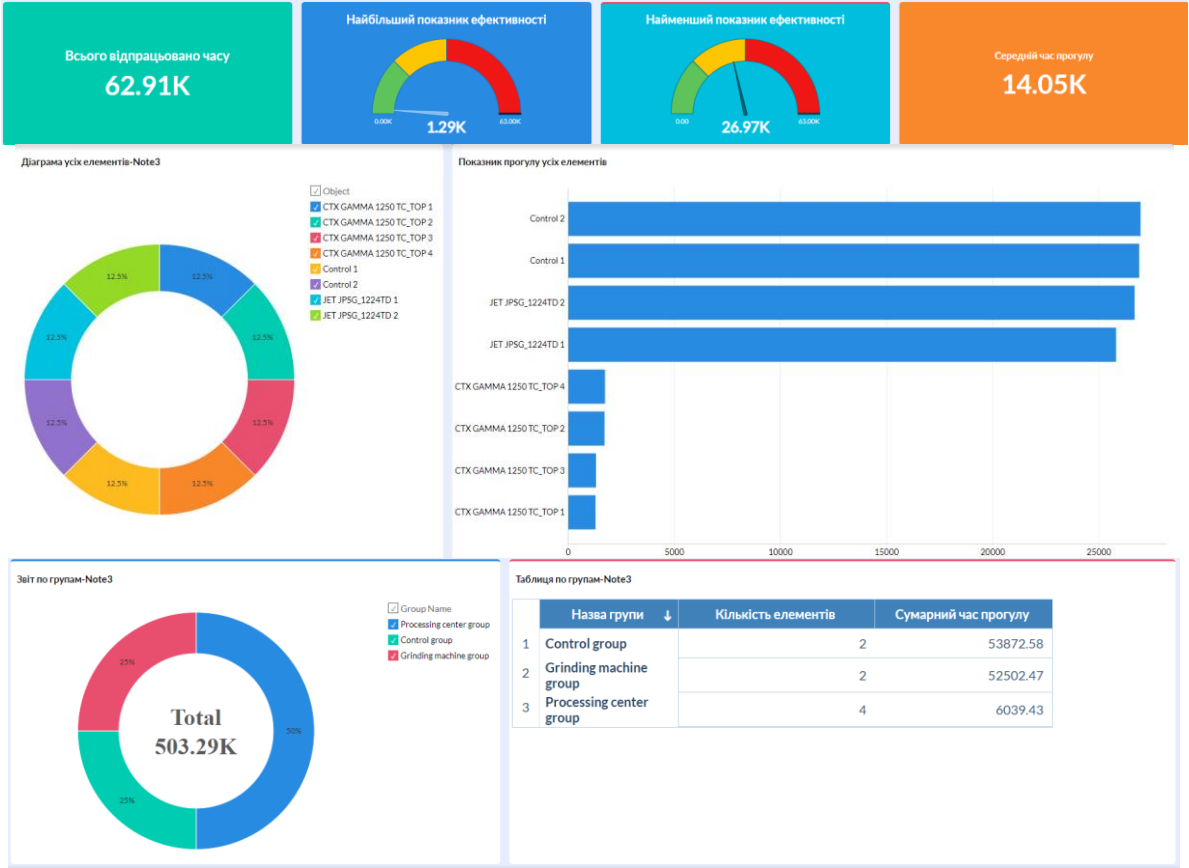


Рис. 3.5 Аналіз робочих станцій

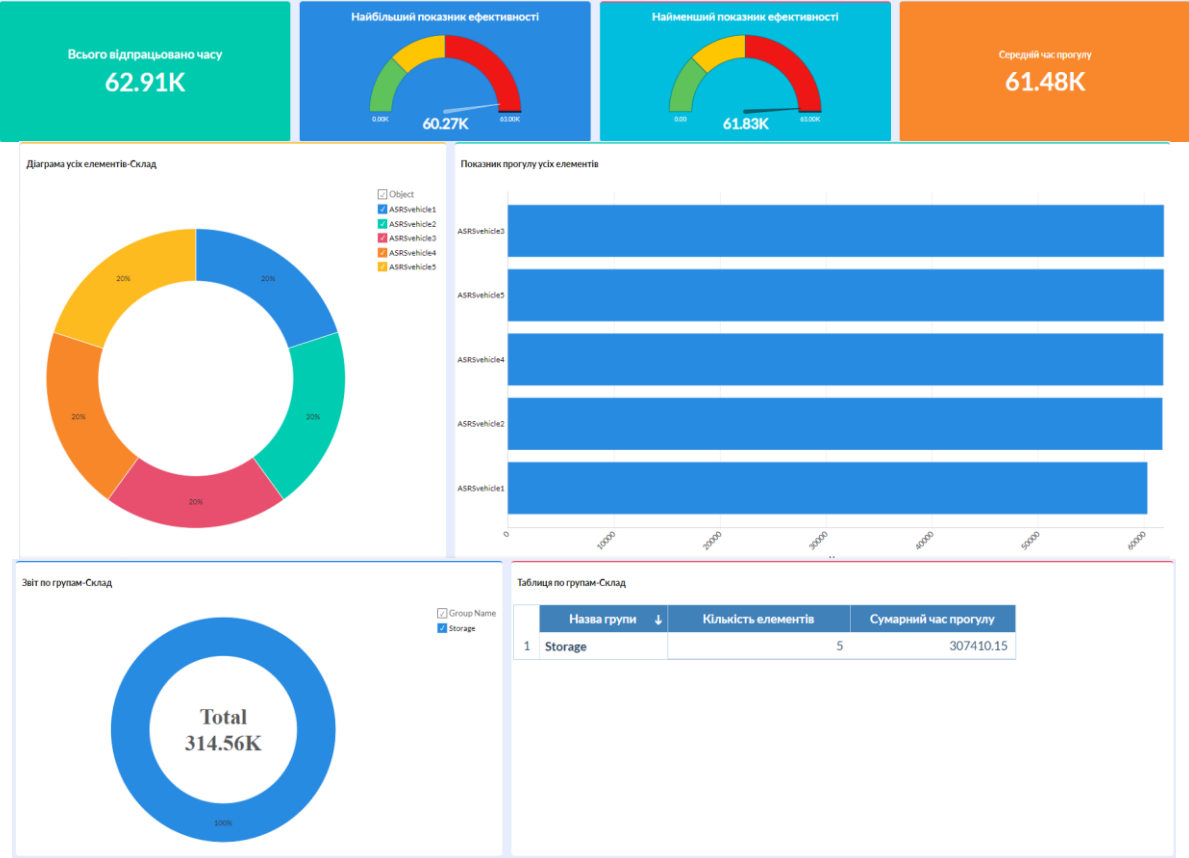


Рис. 3.6 Аналіз АСМ

3.3. Розробка програми для створення автоматичного висновку

У пункті 3.1 описано вибір середовища для автоматичного аналізу даних. Всі вони мають потужний функціонал, але не можуть створювати текстові висновки. Вони можуть створити велику кількість графіків і таблиць, але аналізувати їх доведеться людині.

Для вирішення даної проблеми було вирішено написати власну програму для аналізу даних на мові програмування Python. Програма повинна відкрити базу даних отриманих з FlexSim та на основі цих даних згенерувати висновок. Дана БД зберігається у форматі «.xlsx», для читання даного формату використовується спеціальна бібліотека в Python, яка називається «xlrd».

«xlrd» - це бібліотека Python для читання даних з електронних таблиць формату Excel (.xls і .xlsx). Ця бібліотека дозволяє зчитувати дані з окремих комірок, рядків або стовпців, а також отримувати інформацію про листки, що містяться в файлі Excel, їх назви, розміри та інші атрибути.

«xlrd» є досить поширеною бібліотекою для роботи з даними в Excel в середовищі Python, особливо в випадках, коли потрібно аналізувати великі обсяги даних. Це дозволяє зручно зчитувати та обробляти дані, знаходячи певні значення, статистику, чи проводячи інші дії.

Опис роботи програми. Після запуску, програма відкриває відповідний файл і зчитує всі дані рядок за рядком, записуючи дані у відповідні масиви. Всього створюється три основні масиви: масив із назвами груп, масив із масивів назв об'єктів по групах та масив із сумарним часом простою по групах. Після цього відбувається аналіз отриманих даних та формування висновку. Висновок формується на основі часу простою та кількість елементів у групі. У висновку вказується ефективність роботи групи(чудова/нормальна/погана/дуже погана) та кількість елементів, яку можна скоротити.

На рис. 3.7 представлено роботу програми. Були взяті дані, отримані з цифрового двійника виробничого процесу деталі типу фланець. Об'єкти поділені на 3 основні групи: робочі станції, засоби переміщення та АСМ.

```

C:\Users\kraw4\anaconda3\p...
Processing center group складається з 4 об'єктів: CTX GAMMA 1250 TC_TOP 1, CTX GAMMA 1250 TC_TOP 2,
CTX GAMMA 1250 TC_TOP 3, CTX GAMMA 1250 TC_TOP 4 .
Сумарний час простою становить – 9.60 %, це чудовий показник.
У даному вузлі не можна скоротити кількість елементів

Grinding machine group складається з 2 об'єктів: JET JPSG_1224TD 1, JET JPSG_1224TD 2 .
Сумарний час простою становить – 83.45 %, це хороший показник.
У даному вузлі не можна скоротити кількість елементів

Control group складається з 2 об'єктів: Control 1, Control 2 .
Сумарний час простою становить – 85.63 %, це хороший показник.
У даному вузлі не можна скоротити кількість елементів

Press any key to continue . . .

```

а)

```

C:\Users\kraw4\anaconda3\p...
First Robot Group складається з 1 об'єкта Robot1 .
Сумарний час простою становить – 94.75 %, це дуже показник. Ефективність групи дуже погана, але так як група складаєтьс
я з одного елемента, покращення даного вузла не можливе.
У даному вузлі не можна скоротити кількість елементів

Second Robot Group складається з 4 об'єктів: Robot2, Robot3, Robot4, Robot5 .
Сумарний час простою становить – 391.98 %, це дуже поганий показник.
Даний вузол можна скороти на 3 елемента.

Third Robot Group складається з 2 об'єктів: Robot6, Robot7 .
Сумарний час простою становить – 189.49 %, це дуже поганий показник.
Даний вузол можна скороти на 1 елемент.

Operators Group складається з 2 об'єктів: Operator1, Operator2 .
Сумарний час простою становить – 193.49 %, це дуже поганий показник.
Даний вузол можна скороти на 1 елемент.

Press any key to continue . . .

```

б)

```

C:\Users\kraw4\anaconda3\p...
Storage складається з 5 об'єктів: ASRSvehicle1, ASRSvehicle2, ASRSvehicle3, ASRSvehicle4, ASRSvehicle5 .
Сумарний час простою становить – 488.64 %, це дуже поганий показник.
Даний вузол можна скороти на 4 елемента.

Press any key to continue . . .

```

в)

Рис. 3.7 Автоматичний висновок для а) робочих станцій б) засобів переміщення в) автоматизованих складських механізмів

З висновків зроблених програмою, видно що робочі станції працюють ефективно, кількість засобів переміщення можна скоротити на 5 шт., кількість АСМ – на 4. В результаті, на виробництві деталі типу фланець кількість елементів можна зменшити на 9 шт., при збереженні ефективності виготовлення. Це призведе до зменшення витрат на закупівлю обладнання.

Висновок по розділу

1. Проведено аналіз середовищ автоматизованого аналізу даних.
2. На онлайн платформі Zoho Analytics створено шаблон для формування звіту по даних, отриманих з цифрового двійника.
3. Написано програму на мові програмування Python із застосуванням бібліотеки «xlrd».
4. Отримано кількість елементів, які можна скоротити, при збереженні показників ефективності виробництва.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ КОНТРОЛЮ ВИРОБНИЦТВА З ЗАСТОСУВАННЯМ РОЗРОБЛЕНОЇ МЕТОДИКИ

4.1. Робота з початковою моделлю

Для експериментального дослідження взято ЦД, який було отримано від офіційного представника Flex Sim в Польщі, який відповідає за користувачів у нашому регіоні.

Дана модель представляє виробництво 12 типів деталей, для цього використовується 3 виробничі лінії, 15 верстатів та 12 операторів для їх обслуговування. Для зручності, біля верстатів виводиться кількість виготовлених деталей. Підчас експерименту взято 8-годинний робочий день.

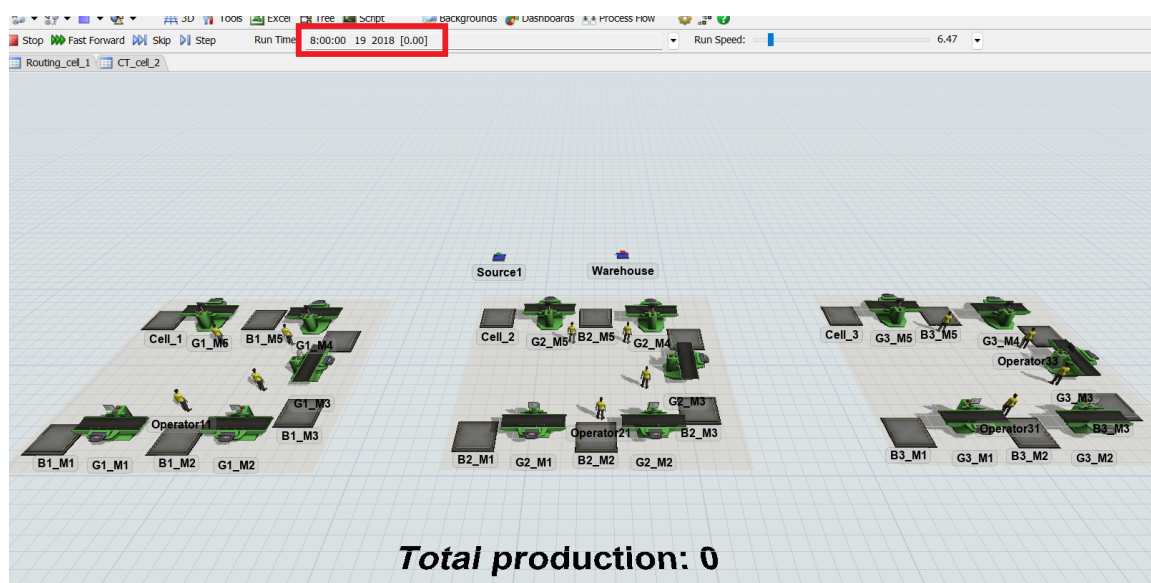


Рис. 4.1 Експериментальна цифрова модель

Після моделювання 8 годин даного виробництва, отримали дані про кожен елемент виробництва та кількість елементів, яке встигло за цей час виготовити виробництво, а саме 503 деталі(рис. 4.2). Так як ми не знаємо деталей виробничого процесу, ми зможемо проаналізувати тільки ефективність роботи операторів.

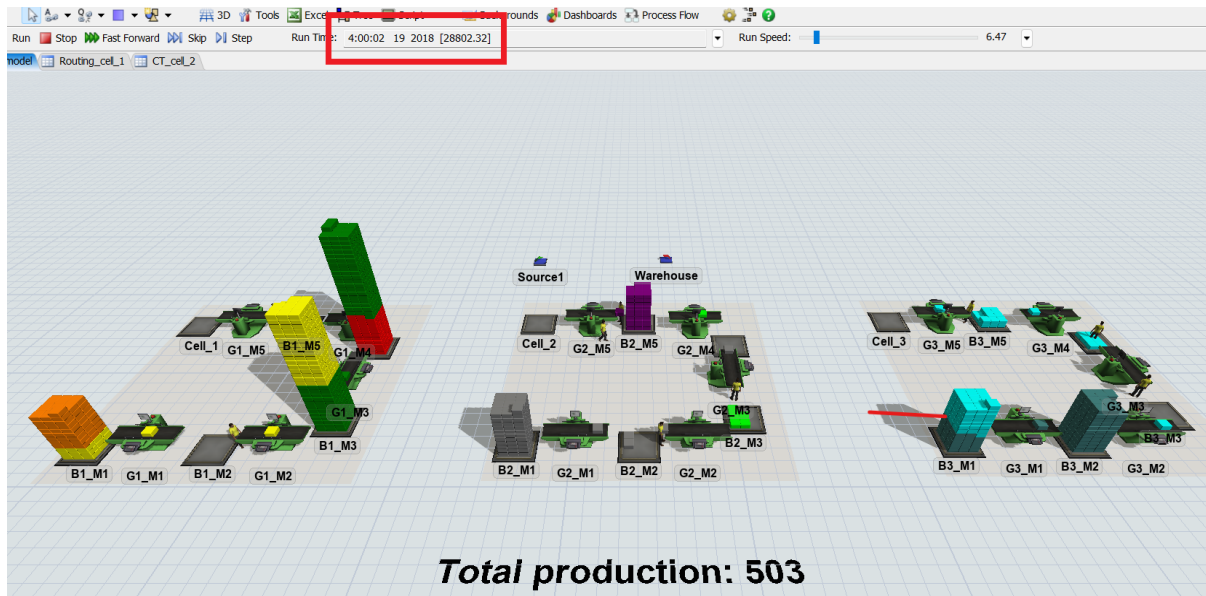


Рис. 4.2 Моделювання 8-годинного робочого дня

По отриманим даним згенеровано автоматичний звіт у Zoho Analytics (рис.4.3).

Найбільший та найменший показники ефективності дуже погані, середній час простою 27.27 тис. сек, що становить 94,7 % від всього часу, це дуже поганий показник. Для підвищення ефективності використано програму, написану на мові програмування Python.

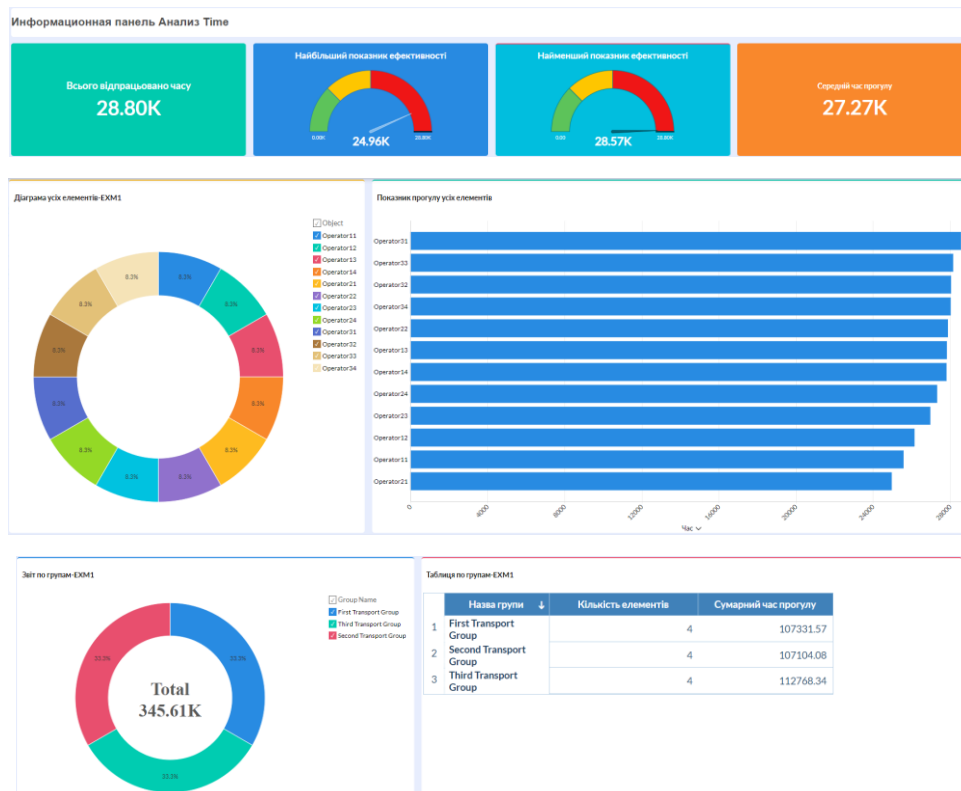


Рис. 4.3 Звіт по роботі експериментальної моделі, згенерований Zoho Analytics

У висновку, який згенерувала програма, надані рекомендації по скороченню персоналу, так як усі транспортні групи працюють неефективно. Програма пропонує скоротити кількість персоналу на 9 осіб (рис. 4.4).

```

C:\Users\kraw4\anaconda3\p: x + v
First Transport Group складається з 4 об'єктів: Operator11, Operator12, Operator13, Operator14 .
Сумарний час простою становить - 372.66 %, це дуже поганий показник.
Даний вузол можна скороти на 3 елемента.

Second Transport Group складається з 4 об'єктів: Operator21, Operator22, Operator23, Operator24 .
Сумарний час простою становить - 371.87 %, це дуже поганий показник.
Даний вузол можна скороти на 3 елемента.

Third Transport Group складається з 4 об'єктів: Operator31, Operator32, Operator33, Operator34 .
Сумарний час простою становить - 391.54 %, це дуже поганий показник.
Даний вузол можна скороти на 3 елемента.

Press any key to continue . . .
  
```

Рис. 4.4 Висновок згенерований програмою на Python, стосовно ефективності роботи операторів

4.2. Корекція цифрової моделі

По рекомендації програми, кількість операторів у цифровій моделі виробництва скорочено на 9 осіб та проведено моделювання роботи підприємства.

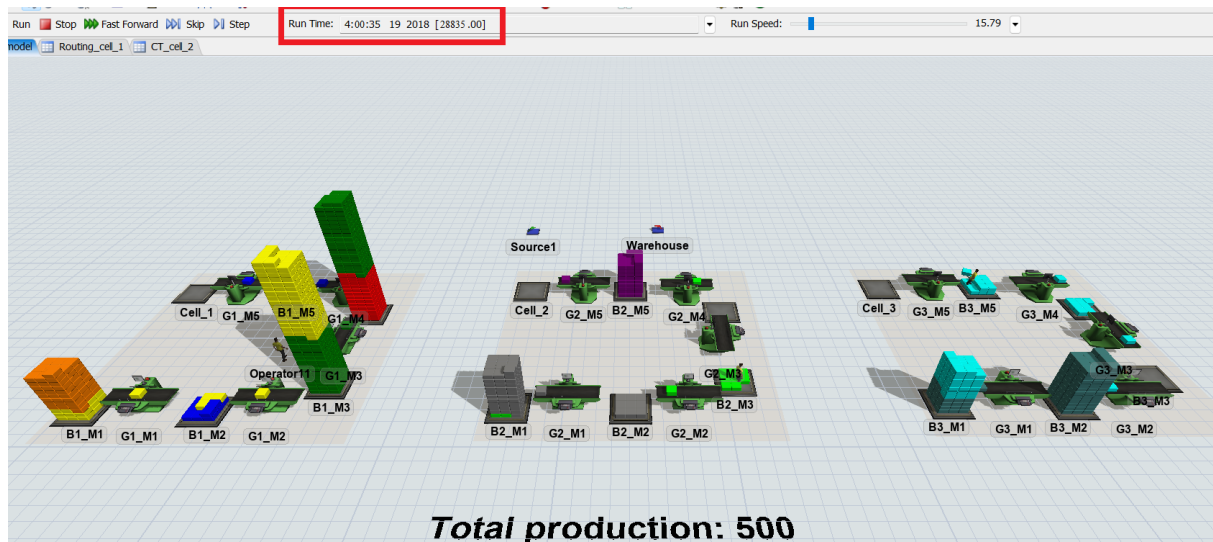


Рис. 4.5 Моделювання роботи виробництва після корекції

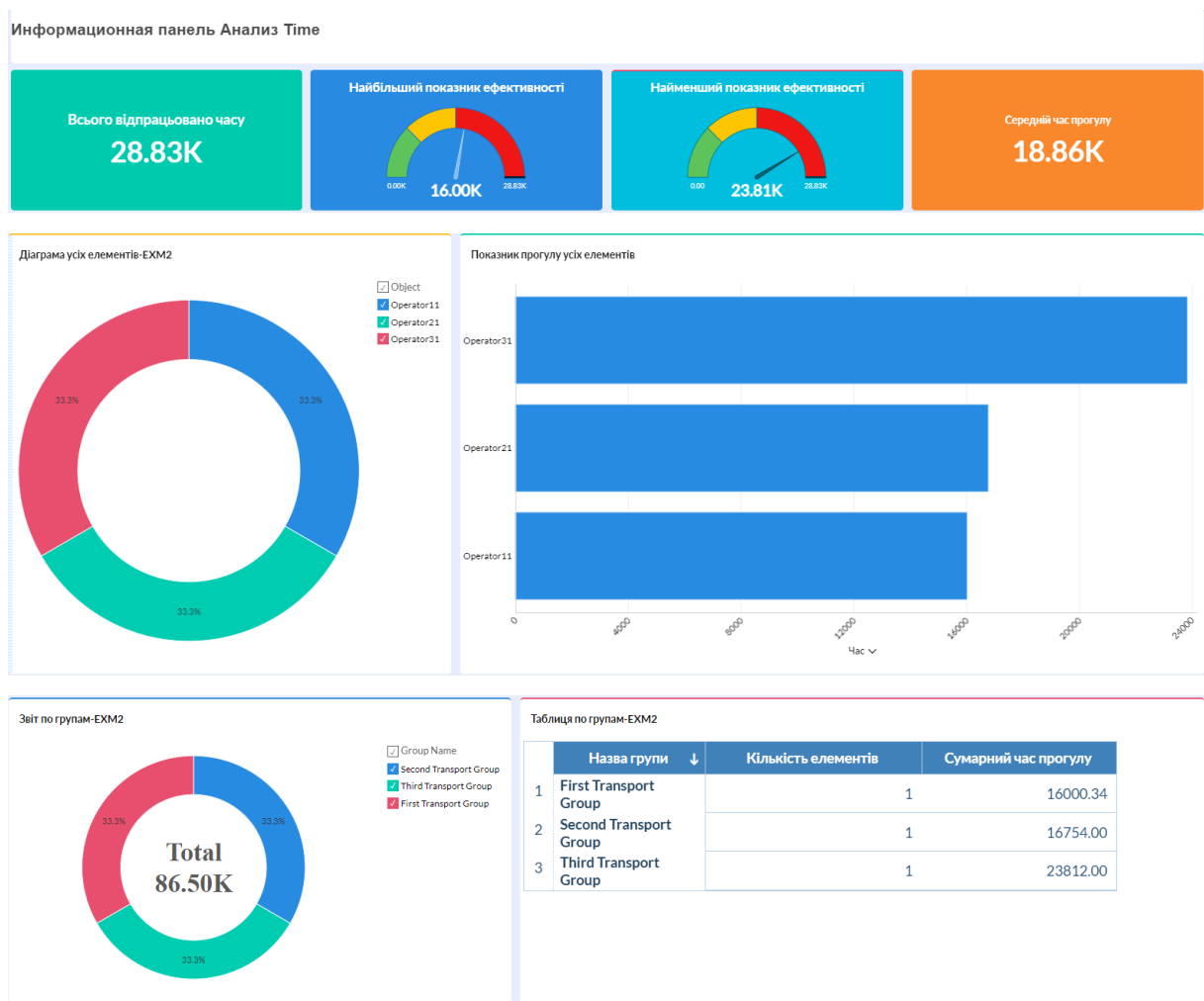


Рис. 4.6 Звіт по роботі моделі після корекції, згенерований Zoho Analytics

```

C:\Users\kraw4\anaconda3\p: x + v
First Transport Group складається з 1 об'єкта Operator11 .
Сумарний час простою становить - 55.50 %, це поганий показник. Ефективність групи погана, але так як група складається
з одного елемента, покращення даного вузла не можливе.
У даному вузлі не можна скоротити кількість елементів

Second Transport Group складається з 1 об'єкта Operator21 .
Сумарний час простою становить - 58.11 %, це поганий показник. Ефективність групи погана, але так як група складається
з одного елемента, покращення даного вузла не можливе.
У даному вузлі не можна скоротити кількість елементів

Third Transport Group складається з 1 об'єкта Operator31 .
Сумарний час простою становить - 82.59 %, це дуже показник. Ефективність групи дуже погана, але так як група складається
з одного елемента, покращення даного вузла не можливе.
У даному вузлі не можна скоротити кількість елементів

Press any key to continue . . .
  
```

Рис. 4.7 Висновок згенерований програмою на Python, стосовно ефективності роботи операторів після корекції

На рис. 4.5 – 4.7 зображено моделювання роботи виробництва після корекції, звіт стосовно роботи усіх операторів та висновок по покращенню ефективності роботи операторів.

Середній час простою зменшився з 94,7% до 65,4%, що є суттєвим покращенням. Після скорочення персоналу кількість деталей, які виготовляються за один день, зменшилася на 3од., що становить 0,59% від всієї кількості.

Розрахуємо теоретичну кількість скорочених витрат. Станом на квітень 2023 року, середня заробітна плата робітників на виробництві становить 15 тис. грн на місяць. Відповідно за місяць виробництво буде економити на заробітній платі близько 135 тис. грн, після зменшення кількості операторів на 9 шт, за рік – 1,62 млн грн.

Тобто якщо взяти один місяць, то буде виготовлено на 60 деталей менше, але при цьому зекономлено на заробітній платі – 135 тис. грн. Дане співвідношення є достатньо рентабельним.

Висновок до розділу 4

1. Здійснено моделювання роботи виробництва 12 різних деталей.
2. Згенеровано звіт по роботі підприємства, отримано рекомендації по зменшенню кількості персоналу.
3. Здійснено повторне моделювання після корекції моделі.
4. Згенеровано новий звіт. Дану модель покращити вже не можна.
5. Після корекції, виробництво виготовлятиме на 0,59% деталей менше, проте буде економія в 135 тис. грн на місяць.

5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ.

«АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА АНАЛІЗУ ВИКОРИСТАННЯ ТРУДОВИХ РЕСУРСІВ ПІДПРИЄМСТВА»

5.1. Ідея проекту

Стартап базується на ідеї використання сучасного обладнання та засобів управління на всіх етапах виготовлення - цифрового двійника виробництва (ЦД). Використання ЦД сприяє підвищенню ефективності та надійності роботи об'єкта, адже за допомогою віртуальної копії реального об'єкта можна вчасно виявляти проблеми та передбачати їх виникнення, що дозволяє забезпечити більш ефективну та надійну роботу об'єкта. Також ЦД може знайти застосування у різних галузях, таких як: машинобудування, авіація, енергетика, автомобільна промисловість. Особливість даного стартап-проєкту полягає в поєднанні технологій цифрового двійника з середовищем для автоматичного аналізу даних Zoho Analytics та мовою програмування Python для створення автоматичних висновків.

В даному розділі буде проведено аналіз стартап-проєкту, головною метою якого є визначення, чи зможе цей продукт вийти на ринок та чи зможе він скласти конкуренцію компаніям, які вже в цій ніші займають пріоритетні місця.

Таблиця 5.1. Опис ідеї стартап-проєкту

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигода для користувача</i>
Основна ідея, це розробка цифрового двійника, яка дозволяє моделювати різні процеси та симулювати різні сценарії на виробництві. Поєднання цифрового двійника з середовищем аналізу даних.	Використання на підприємствах у різних галузях виробництва	-Мала вартість -Зручний формат відображення результатів -Простий у використанні
	Для наукових досліджень	

Загалом, у стартап-проєкті пропонується середовище, яке дає змогу розробити віртуальну копію фізичного об'єкта, що може бути використана для візуалізації, аналізу та оптимізації виробничих процесів. Та не потребуючи великих зусиль, швидко отримати повну інформацію стосовно якості виробництва.

Наступним кроком буде оцінка можливих переваг з техніко-економічної точки зору порівняно з пропозиціями конкурентів. Для цього необхідно визначити техніко-економічні властивості та характеристики ідеї та скласти перелік конкурентів, що мають товари-аналоги або товари-замінники, які вже присутні на ринку. Потім потрібно зібрати інформацію щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів, які входять до переліку. Наступним етапом є проведення порівняльного аналізу показників, який передбачає визначення показників(гірші значення (W, слабкі); аналогічні значення (N, нейтральні); кращі значення (S, сильні), що мають гірші, аналогічні або кращі значення для власної ідеї порівняно з конкурентами (таблицею 5.2).

Конкуренти:

Конкурент1 – "Deloitte Ukraine" - це відділення глобальної аудиторської компанії Deloitte, яка надає послуги з консультування та аудиту для бізнесу. Компанія також має практику управління персоналом та надає послуги з аналізу використання трудових ресурсів на підприємствах, включаючи аналіз робочого часу, витрат на оплату праці та підвищення ефективності виробничих процесів.

Конкурент2 – "BDO Ukraine" – фірма є відокремленим підрозділом міжнародної аудиторської компанії BDO, яка надає послуги з аудиту, консультування та аналізу бізнесу в Україні. Вони також мають практику управління персоналом та надають послуги з аналізу використання трудових ресурсів на підприємствах, включаючи робочий час, витрати на оплату праці та підвищення ефективності виробничих процесів.

Таблиця 5.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні Характеристики ідеї	Товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент 1 "Deloitte Ukraine"	Конкурент 2 "BDO Ukraine"			
1	Вартість, грн	25000					+
2	Використання цифрових двійників	Використовує просту програму для цифрових двійників FlexSim	Так, використовують програму ANSYS	Ні		+	
3	Обробка даних у середовищах автоматичного аналізу даних	Так, Zoho Analytics	Так	Так			+
4	Авторська програма для генерації висновків	Є	Немає	Немає			+

З Таблиця 5.2 можна зробити висновок, що ми маємо деяку перевагу над конкурентами, а саме у вартості послуг та використанні авторської програми, яка сильно впливає на швидкість аналізу даних. До того ж для глобального аналізу даних в нашому проекті використовується передова платформа Zoho Analytics, коли в конкурентів використовуються старіші програми.

5.2. Технологічний аудит проекту

У підрозділі "Технологічний аудит проекту" ми проводимо аудит технологій, які можуть бути використані для реалізації ідеї проекту. Зокрема, ми досліджуємо технології цифрових двійників, автоматизованих систем аналізу даних та мови програмування для аналізу баз даних. Для визначення технологічної здійсненності ідеї проекту ми проводимо аналіз складових, які вказані в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3. Технологічна здійсненість ідеї проєкту

№	Ідея проєкту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Створення цифрових двійників підприємства	Технологія Digital Twins	Наявна	Доступна
2	Створення шаблону для детального аналізу	Tableau	Наявна	Не доступна
		Zoho Analytics	Наявна	Доступна
3	Розробка програми для висновку по скороченню кількості елементів на підприємстві	Python	Наявна	Доступна
Для реалізації нашого стартап-проєкту ми обрали технологію Digital Twins. Для аналізу отриманих даних ми використовуємо Zoho Analytics, а для генерації висновків обрали мову програмування Python.				

Результати даного аналізу проєкту показують, що за допомогою технологій Digital Twins, Zoho Analytics, Python ми маємо можливість самостійно створити систему, а також самостійно створити ПЗ, що зробить ціну системи значно меншою, що збільшить конкурентоспроможність стартапу.

5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

У даному розділі ми визначаємо ринкові можливості та загрози, що можуть вплинути на реалізацію проєкту. Визначення ринкових можливостей дозволяє спланувати напрямок розвитку, розуміти потреби потенційних клієнтів та проєктів-конкурентів. Спочатку ми проводимо аналіз попиту на ринку: його наявність, обсяг та динаміку розвитку (див. таблицю 5.4). У світі існує багато компаній, що займаються розробкою цифрових двійників, але найбільший вплив на ринок мають лише 5 з них: Siemens Digital Industries, Dassault Systèmes, Accenture, IBM та PTC.

Таблиця 5.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5
2	Загальний обсяг продаж, грн	Невідомий
3	Динаміка ринку	Стабільна
4	Наявність обмежень для входу	Немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	100

Аналіз Таблиця 5.4 показує, що ринок має стабільну динаміку і хороший попит на запропонований нами продукт, тому є доцільним вихід на ринок. Закордонних конкурентів багато, але вони мало функціонують в межах нашої країни, що дає змогу вільно увійти на ринок. Визначимо потенційних клієнтів, котрим будемо пропонувати нашу систему.

Таблиця 5.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Потреба в доцільному аналізі використання трудових ресурсів під час проектування виробництва.	Підприємці, які збираються запускати нове виробництво; Науковці які шукають нові технологічні рішення у виробництві;	Основні критерії, що впливають на поведінку потенційних клієнтів: швидкість надання послуг, суттєве скорочення майбутніх витрат, збільшення їх конкурентоспроможності на ринку.	Детальний аналіз усіх ресурсів, який прорахує ефективність використання всіх ресурсів і надасть рекомендації щодо скорочення кількості елементів, при збереженні коштів та ефективності виробництва.

В даній таблиці ми описали фактори, котрі формують поведінку користувачів відносно нашої системи та їх основні вимоги до продукції. Основна цільова аудиторія це підприємці, які планують запуск нового виробництва, та науковці, які працюють над новими технологічними рішеннями для виробництва.

При застосуванні даної технології існують певні загрози, тож буде доцільно провести аналіз факторів ризику та можливостей при виведенні товару на ринок.

Таблиця 5.6. Фактори загроз

<i>№</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Введення на ринок більш інноваційних систем	Поява продукції на ринку із суттєвішими перевагами	Постійна робота над вдосконаленням товару та періодичне оновлення програмного забезпечення; маркетингова діяльність.
2	Зниження попиту на продукцію	Неактуальність товару	Маркетингова діяльність, зниження ціни товару.
3	Клієнтська база	Оскільки система специфічна, потрібно постійно доповнювати клієнтську базу	Присутність на тендерах, співпраця з фірмами які їх виграють
4	Копіювання методу	Можливість конкурентами написання такого самого програмного забезпечення використовуючи незаконні методи	Захист методу патентом, а також захист у правовій сфері України
5	Відсутність початкового попиту	Не бажання переходити на нові технології	Приведення аргументованих доказів, що змінатехнології приведе до збільшення попиту на продукт.

В Таблиця 5.6. ми визначили можливі фактори загроз, такі як: введення на ринок більш інноваційних систем, зниження попиту на продукцію клієнтська база, відсутність початкового попиту, конкуренція. Вони в майбутньому можуть перешкоджати ринковому впровадженню нашого проекту, а також можливу реакцію компанії на загрози та шляхи їх усунення.

Але на одному рівні з загрозами є також і можливості.

Таблиця 5.7. Фактори можливостей

<i>№</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливостей</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Менша вартість ніж у відомих конкурентів	У відомих конкурентів висока вартість розробки цифрових двійників під замовлення	Збільшення оборотності послуг
2	Технічні конференції, виставки, семінари	Можливість представляти нашу систему шляхом написання оглядових статей	Написання оглядових статей в журнали, тематика яких зав'язана на автоматизації виробництва
3	Ринок збуту	Легкий шлях виходу на міжнародний ринок	Розробка та виготовлення системи у відповідності до закордонних стандартів якості
4	Наявність власного ПЗ	В процесі розробки стартапу була розроблена власна програма для аналізу даних, отриманих з цифрового двійника	Акцентування уваги на самостійності стартапу, та не потрібності покупки додаткового ПО
5	Участь в виставках	Так як продукт новий та інноваційний маємо можливість участі в виставках з найсучаснішими обладнанням	Розповсюдження рекламної продукції, даної системи

В Таблиця 5.7. були визначені фактори можливостей такі як: підвищення обороту послуг, наявність власного ПЗ, , участь в виставках, написання оглядових статей у журнали, розповсюдження рекламної продукції. Вони посприяють ринковому впровадженню даного проекту.

Також доцільно буде провести аналіз ринку для подальшого формування стратегії. Це допоможе більш чітко зрозуміти, що чекає на проєкт під час виходу на ринок[21].

Таблиця 5.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства(можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
1. Тип конкуренції: олігополія	Існує 5 прямих конкуренти, інші мають схожий функціонал, але не систему	Зменшення ціни продукту та працювати над розширення можливостей програмного забезпечення
2. За рівнем конкурентної боротьби: глобальний	Конкуренти – загалом іноземні компанії, які реалізують функціонал під своїх користувачів	Забезпечити доступність в усіх країнах, де це можливо. Додання локалізації в програму та підтримку іноземних користувачів
3. За галузевою ознакою: міжгалузева	Дана система може використовуватися для багатьох галузей: енергетика, машинобудування та виробництва в цілому	Постійне вдосконалення продукту, розбиття продукту на підсистеми під конкретні галузі
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Можлива конкуренція між постачальниками схожих за функціоналом продуктів	Наявний система більш автоматизований ніж конкурентні та спроможний задавати тренд використання
5. За характером конкурентних переваг: цінова та нецінова	Цінова – зробити продукт доступнішим ніж в конкурентів, нецінова – полягає в високій якості наданих послуг, вдосконалення алгоритму аналізу даних	Цінова – зекономити за рахунок більш оптимізованих алгоритмів обробки. Нецінова – широкі можливості застосування у різних галузях
6. За інтенсивністю: марочна	Конкурентні компанії пропонують подібний продукт	Отримання держзамовлення й подальше розширення ринку

Із запропонованої вище таблиці можна зробити висновок, що на ринку панує вільна конкуренція в межах локальних масштабів, що свідчить про відсутність факторів, що однозначно обмежують можливість вступу на ринок. Детальніші умови конкуренції наведено в Таблиці 5.9.

Таблиця 5.9. Аналіз в конкуренції в галузі за М. Портером

	<i>Прямі конкуренти</i>	<i>Потенційні конкуренти</i>	<i>Постачальники</i>	<i>Клієнти</i>	<i>Товари-замінники</i>
<i>Складові аналізу</i>	Siemens Digital Industries, Dassault Systèmes, Accenture, IBM, PTC.	Молоді стартап команди, які вносять більш інноваційний підхід	Постачальники відсутні	Клієнтами є підприємства, які планують запускати нові виробництва	На даний момент, не спостерігається технологія яка б могла замінити дану
<i>Висновки</i>	Конкурентна боротьба є високою, але власне ПЗ дає значну перевагу над конкурентами	Є гарні шанси вийти на ринок попри те, що наявні конкуренти. Термін виходу: 6-9 місяців	Постачальники не диктують умови роботи на ринку	Для клієнтів найбільш важлива цінова доступність послуг, захист персональних даних, якість послуг	Товари-замінники не впливають на умови виходу на ринок

Зробивши аналіз таблиці конкуренції в галузі за М. Портером, було визначено прямих та потенційних конкурентів, чи диктують умови на ринку постачальники та клієнти, а також чи є товари-замінник. Також були визначені характеристики, які повинен мати проект і які дії повинна проводити компанія, щоб бути конкурентоспроможною на ринку.

Після аналізу визначається та обґрунтовується перелік факторів що впливають на конкурентоспроможність. Допоки проект не впроваджено в життя, цей аналіз важко провести точно, можна дати тільки попередню оцінку конкурентоспроможності.

На основі дослідження конкурентного середовища, а також враховуючи особливості проекту, вимоги клієнтів до продукту та інші маркетингові фактори можна визначити перелік чинників, що визначають конкурентоздатність проекту. Аналіз таких чинників наведений у Таблиці 5.10.

Таблиця 5.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, щороблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Візуалізація виробничого процесу	Візуалізація всього виробничого процесу дозволить по бачити, як буде відбуватися виробничий процес, що може допомогти при вирішенні стратегічних рішень.
2	Зручний та інформативний звіт по використанню трудових ресурсів	Завдяки задумці реалізується відображення, зберігання, перегляду звітів, мій продукт матиме великі переваги в зручності використання.
3	Ціна	Використання власного ПЗ дозволяє зменшити витрати на купівлю ПЗ, що дозволяє зменшити ціну на власний продукт.
4	Гнучкість системи	Нашу ПЗ можна використовувати майже у всіх галузях, що дозволяє набирати велику клієнтську базу.
5	Авторська програма	Авторський підхід до аналізу даних.

За визначеними факторами конкурентоспроможності таблиця 5.10, проведемо аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту таблиця 5.11.

Таблиця 5.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг у порівнянні з конкурентами						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Візуалізація виробничого процесу	12					+		
2	Зручний та інформативний звіт по використанню трудових ресурсів	15						+	
3	Ціна	18						+	
4	Гнучкість системи	15			+				
5	Авторська програма	18							+

Провівши аналіз мого стартапу у порівнянні з конкурентами, зваживши переваги та недоліки, можна зробити висновок, що проект є конкурентоспроможним.

Основні переваги – зручний та інформативний звіт по отриманим даним, ціна та авторський підхід до оцінки використання трудових ресурсів.

Таблиця 5.12. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: -інформативне ПЗ; -низька собівартість; -інноваційний характер; -широка напрямленість; -наявність постійної команди, яка підтримує ПЗ;	Слабкі сторони: -недосвідченість команди; -знання пошуку клієнтів; -обмежений бюджет;
Можливості: -стати провідним гравцем на ринку; -залучення інвестицій для нововведень; -удосконалення готового продукту; -створення модулів ПЗ для відповідних галузей.	Загрози: -зниження активності клієнтів через різні фактори; -поява нових конкурентів на ринку з більш інноваційними технологіями; -недостатній досвід у наборі клієнтів, що може призвести до банкрутства. -копіювання авторсько підходу до роботи:

У Таблиці 5.12 перераховані сильні та слабкі сторони стартапу, а також ринкові можливості та загрози. Цей перелік складений на основі факторів, які були заздалегідь визначені. Ринкові можливості та загрози ще не реалізовані на ринку, але мають певну ймовірність здійснення.

SWOT-аналіз дозволяє розробити різні альтернативи для введення продукту на ринок та найбільш оптимальний час для їх реалізації з огляду на потенційних конкурентів, які можуть також вивести свої проекти на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

Таблиця 5.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	6 -9 місяців
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.	Висока	4 – 7 місяців
3	Стратегія виходу з ринку	Низька	

5.4. Розроблення ринкової стратегії продукту

Перед розробкою ринкової стратегії необхідно визначити, яку частину ринку плануємо охопити. Це можна зробити шляхом визначення цільових груп потенційних користувачів, які мають інтерес до нашого продукту або послуги.

Таблиця 5.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Підприємства, які планують відкривати нове виробництво	Середня	Високий	Середня	Середня
2	Підприємства, які мають виробництво, але його ефективність низька і воно потребує модернізації	Середня	Високий	Середня	Середня
3	Науковці, які працюють над передовими технологіями виробництва	Середня	Середній	Низька	Проста
Для розроблення ринкової стратегії визначено цільові групи, серед яких підприємства, які планують створення нового виробництва, підприємства, які вже мають виробництво, але його ефективність низька і потребує модернізації, а також наукові установи, які займаються розробкою передових технологій виробництва.					

Виходячи з результатів аналізу потенційних груп користувачів ми обираємо такі цільові групи, як наукові підприємства, підприємства, які планують відкривати нове виробництво та підприємства, які мають виробництво, але його ефективність низька і воно потребує модернізації. Саме для них ми будемо пропонувати нашу систему аналізу даних про функціонування усіх елементів виробництва.

Для роботи в даному сегменті ринку потрібно сформулювати базову стратегію розвитку.

Таблиця 5.15. Визначення базової стратегії розвитку

<i>№</i>	<i>Обрана альтернатива розвитку проекту</i>	<i>Стратегія охоплення ринку</i>	<i>Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи</i>	<i>Базова стратегія розвитку*</i>
1	Вдосконалення	Диференційний маркетинг	Ціна, вдосконалення алгоритму обробки даних та візуалізація звітів	Стратегія диференціації

За базову стратегію розвитку було взято стратегію диференціації, що передбачає надання товару важливих, з точки зору споживача, відмінних властивостей, які роблять систему, яка відрізняється від тієї, що є в конкурентів. Можна поліпшувати алгоритми обрахунків, візуалізацію звітів та зменшувати ціну на послуги.

Таблиця 5.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

<i>№</i>	<i>Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?</i>	<i>Стратегія конкурентної поведінки*</i>
1	Ні	Компанія буде шукати нових споживачів та забирати споживачів у конкурентів	Не буде копіювати основні характеристики	Стратегія заняття конкурентної ніші

Компанія обрала базову стратегію конкурентної поведінки - зайняття конкурентної ніші, що означає вибір одного або кількох ринкових сегментів малого розміру в якості цільового ринку. Основне завдання компанії в цьому випадку - постійна підтримка та розвиток своєї конкурентної переваги. Для цього розробляється стратегія позиціонування, яка визначає ринкову позицію, за якою споживачі мають ідентифікувати проект. Розробка цієї стратегії відбувається на основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника та продукту, а також залежно від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки.

Таблиця 5.17. Визначення стратегії позиціонування

<i>№</i>	<i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>	<i>Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту</i>	<i>Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)</i>
1	Повна автоматизованість обрахунків та її представлення у вигляді діаграм/таблиць; Висока точність обрахунків	Стратегія диференціації	Повна автоматизація обрахунків та візуалізація; Авторський підхід до обрахунків, який забезпечує високу точність	Швидкість Інформативність Дешевизна

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку.

5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим етапом у розробці маркетингової програми є формулювання маркетингової концепції, яка буде використовуватися для просування товару та залучення користувачів. Для цього необхідно оцінити результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Ціна	Низька ціна, за рахунок власного ПЗ	Збільшення кількості клієнтів
2	Автоматизація розрахунків та візуалізації	Через повну автоматизацію обрахунків та візуалізацію звітів, зменшує час, потрібний на виконання замовлення	Зменшення часу очікування клієнтом
3	Інтеграція авторського алгоритму	Точність обрахунків даних	Звіти будуть дуже точними та інформативними

В таблиці формуємо комплекс асоціацій, які будуть пов'язуватися з нашим торговельним проектом ідентифікованим споживачами. Результатом цього підрозділу є система рішень, яка визначає напрямки діяльності компанії на ринку. Для розробки маркетингової програми спочатку уточнюється ідея продукту або послуги, його фізичні складові та особливості процесу надання, які представлені у трьохрівневій маркетинговій моделі товару (Таблиця 5.19).

Таблиця 5.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Автоматизована система аналізу використання трудових ресурсів на підприємстві		
II. Товар у	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Довговічність	Нм	Тх
	2. Простота у використанні	Нм	Тх
	3. Висока інформативність	Нм	Тл

реальному виконанні	4. Низька вартість	М	Вр
	5. Швидкість	Нм	Тх
	Якість: стандарти виставляються кожною фірмою окремо		
	Пакування: ПЗ встановлюється на комп'ютер		
	Марка: Dwins		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: Демонстрація можливостей програмного забезпечення		
	Після продажу: після продажне підтримка продукту		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: патент, свідоцтво на авторське право			

В Таблиця 5.19. ми створюємо трьохрівневу модель нашого товару що включає задум товару та його вигоди, основі характеристики готового товару та захисту від копіювання та плагіату. Описали з якими характеристиками буде асоціюватися наш майбутній продукт, а саме: довговічність, простота, інформаційністю, низькою вартістю та швидкістю.

Перед тим, як встановити ціну на новий товар, ми повинні визначити цінові межі. Це можна зробити, проаналізувавши ціни на аналогічні товари, а також рівень доходів тих, хто буде цей товар купувати. Ми використовуємо експертний метод для проведення такого аналізу. Ця інформація міститься в Таблиці 5.20.

Таблиця 5.20. Визначення меж встановлення ціни

<i>№</i>	<i>Рівень цін на товари-замінники</i>	<i>Рівень цін на товари аналогів</i>	<i>Рівень доходів цільової групи споживачів</i>	<i>Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу</i>
1	25 тис	20 тис – 30 тис	100 тис- 200 тис	15 тис – 45 тис

На основі проведеного аналізу ринкової ціни на товари-аналоги та товари-замінники, а також середнього рівня доходів користувачів було встановлено верхні та нижні цінові межі нашого продукту.

Далі необхідно визначити оптимальну систему збуту для ефективного просування продукту на ринку.

Таблиця 5.21. Формування системи збуту

<i>№</i>	<i>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</i>	<i>Глибина каналу збуту</i>	<i>Оптимальна система збуту</i>
1	Роздрібна продаж	Продаж клієнтам продукції	Висока	Проведення збуту силами фірм посередників, та власними силами

Було проведено розробку концепцію маркетингових комунікацій між користувачами та виробником. В нашому випадку, дана робота з виробником та реалізація продукту через прямий продаж.

Розробимо концепцію маркетингової комунікації, котра опирається на попередньо обрану основу для позиціонування, обрану специфіку поведінки користувачів.

Таблиця 5.22. Концепція маркетингових комунікацій

<i>№</i>	<i>Специфіка поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Канали комунікацій якими користуються цільові клієнти</i>	<i>Ключові позиції, обрані для позиціонування</i>	<i>Завдання рекламного повідомлення</i>	<i>Концепція рекламного звернення</i>
1	Пошук в інтернеті через спеціальні ресурси, та нові тендери	Інтернет, прямий зв'язок з виробниками	Автоматизація, ціна, якість	Акцентування уваги клієнтів, на широкі можливості, автоматизацію процесу	Ціна, автоматизація

Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів було обрано власну систему збуту, коли виробник безпосередньо продає товар клієнту. Ціноутворення відбувається на основі аналізу товарів – аналогів і відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту з залученням експертів.

Представимо команду стартап-проекту та її розвиток.

Таблиця 5.23. Команда стартап-проекту

<i>Розвиток команди</i>	<i>Учасники</i>	<i>Завдання учасників в</i>	<i>Освіта</i>	<i>Досвід роботи</i>	<i>Спеціалізовані знання</i>	<i>Витрати, тис. грн.</i>
Мінімальна команда	Кравченко Олександр	Керівник; розробник	Магістр	Інженер; розробник; програміст	Найвищий досвід інженером; досвід по роботі з цифровими двійниками; програміст;	10000
	Кухтіна Олександра	Бухгалтер; Маркетолог;	Бакалавр	Бухгалтер; Маркетолог;	Найвищий досвід: ведення бухгалтерської документації; просування товару через соцмережах;	12000
	Рябуха Андрій	Інженер	Магістр	Інженер	Має великий досвід із розробки цифрових двійників та обробки даних	20000
Разом:						32000

Дана таблиця представляє повну команду розробників системи, що являється мінімальною життєздатною командою, але дана команда без зволікань може повністю представляти інтереси стартап-проекту

Таблиця 5.24. Обсяги інвестицій

<i>№</i>	<i>Вид інвестицій</i>	<i>Сума, грн</i>
1.	Першо-початкові інвестиції	100000
2.	Інвестиції на стадії калібрування продукції	50000
3.	Інвестиції на просування стартапу	40000
Разом:		190000

В даному підрозділі було визначено загальні обсяги інвестицій необхідних для

запуску стартап-проекту, в які входять ціни на сировину, матеріали, комплектуючі, заробітна плата працівникам, просування та першо-початкові інвестиції[22].

Висновки до розділу

Узагальнюючи проведений аналіз стартап проекту під назвою «Автоматизований система аналізу використання трудових ресурсів на підприємстві» можна зробити висновок, що ринкова комерціалізація проекту опирається на наявний попит, та рентабельність продукту на ринку. Беручи до уваги потенційні групи користувачів та клієнтів, перспектива впровадження проекту є достатньо високою, також цьому сприяє, малу кількість прямих конкурентів, так як даний прилад має більший функціонал. Це не просто система для аналізу використання ресурсів , які вже представлені на ринку, а ціла автоматизована система. Також цьому сприяє наявність власного ПЗ для відображення результатів аналізу даних отриманих з цифрового двійника.

Продукт відразу буде націлений на власний ринок, але з ним можна виходити і на міжнародний ринок. Також передбачений захист на дану систему в вигляді, реєстрації авторських прав та створення патентів на власні технології, що використовуються в даному проекті. Це допоможе запобігти викраденню авторської програми та утворення нових конкурентів.

Підсумовуючи, можна сказати що стартап-проект є достатньо перспективним. Підприємці, які збираються запускати нове виробництво, не хочуть переплачувати під час його облаштування і саме наші послуги допоможуть їй. Наший проект зможе проаналізувати майбутнє виробництво, оцінити його ефективність і за можливістю допоможе скоротити деяку кількість обладнання та персоналу без втрати продуктивності виробництва.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В рамках виконання магістерської дисертації було проведено дослідження з використанням цифрового двійника для контролю виробничого процесу виготовлення деталей типу фланець.

Виконано аналіз шляхів підвищення ефективності роботи підприємства. Для даної роботи було обрано шлях – «Використання новітніх технологій».

Здійснено аналіз програмних середовищ для розробки цифрових двійників. Було обрано середовище FlexSim через його доступність та простоту використання.

Створено цифрову модель виробництва деталі типу фланець у середовищі FlexSim, шаблон для автоматичних звітів та програму для корекції цифрової моделі.

Застосовуючи дані розробки, проведено експериментальне дослідження, яке показало ефективність використання цифрового двійника в процесі контролю та оптимізації виробничого процесу.

Отримані результати досліджень можуть бути корисні для виробничих підприємств, які прагнуть до вдосконалення своїх виробничих процесів та досягнення більшої ефективності та якості продукції. Використання цифрового двійника в процесі контролю виробничого процесу може допомогти знизити кількість браку та витрат на ремонти, забезпечити високу якість продукції та збільшити загальну продуктивність підприємства.

Розроблено стратегію розвитку стартап-проекту, який буде використовувати вище-перелічені технології для підвищення ефективності роботи підприємства. Аналіз стартапу показав що проект є перспективним.

Таким чином, результати досліджень підтверджують актуальність теми та показують, що використання цифрового двійника для контролю виробничого процесу виготовлення деталей типу фланець є ефективним та перспективним підходом в розвитку промисловості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Булигіна Д., Григораши О. Фактори підвищення ефективності діяльності підприємств. Класичний приватний університет. 2018. № 6(11).
2. AVSystem. What technologies are used in IoT – technology behind Internet of Things. AVSystem – Shaping The World of Connected Devices. URL: <http://www.avsystem.com/blog/iot-technology>.
3. Кутах К. М. Впровадження системи управління якістю продукції на підприємствах. Економіка та бізнес. 2014.
4. Інноваційні технології виробництва продукції та надання послуг : конспект лекцій / С. М. Логвінков, І. М. Літвінова. – Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2021. – 95 с.
5. Digital twins: як використовувати технологію. ІТ- компанія повного циклу розробки програмних продуктів WEZOM - Київ, Україна. URL: <https://wezom.com.ua/ua/blog/digital-twins-kak-ispolzovat-tehnologiju-dvojniov-v-biznese>.
6. F. Tao, M. Zhang, J. Cheng, Q. Qi, Digital twin workshop: a new paradigm for future workshop, Comput. Integr. Manuf. Syst. 23 (1) (2017) 1-9.
7. F Tao, M Zhang, AYC Nee, Digital twin driven smart manufacturing, Academic Press, 2019
8. F Tao, Q Qi, L Wang, AYC Nee, Digital twins and cyber–physical systems toward smart manufacturing and Industry 4.0: correlation and comparison Engineering 5 (4), 653-661
9. M. Grieves, Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication, Whitepaper
10. ISO. 2020. “ISO (DIS) 23247-1: Automation Systems and Integration - Digital Twin Framework for Manufacturing - Part 1: Overview and general principles”. ISO/TC 184/SC4/WG15
11. FlexSim Basics Tutorial. Welcome to FlexSim. URL: <https://docs.flexsim.com/en/20.2/Tutorials/FlexSimBasics/BasicsOverview/>
12. Застосування різних способів виготовлення заготовок для фланців. URL: <https://studfile.net/preview/3742829/page:2/>
13. IEC, 2016, “Industrial process measurement, control and automation – Digital factory framework – Part 1: General Principles,” <https://webstore.iec.ch/publication/33023>.
14. Комп’ютерне моделювання процесів і систем. Методи оптимізації [Електронний ресурс] : підруч. для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології», освітньо-проф. Progr. «Комп’ютерно- інтегровані системи та технології в приладобудуванні» / С. П. Вислоух, О. В. Волошко, Г. С. Тимчик, М. В. Філіппова ; КПІ ім. Ігоря

- Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 115.44 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 267 с.
15. Комп'ютерне моделювання: процеси і системи [Електронний ресурс] : підручник для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / І. В. Кравченко, І. В. Микитенко, Г. С. Тимчик ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 5,3 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 215 с.
 16. Комп'ютерне моделювання процесів та систем. Чисельні методи [Електронний ресурс] : підручник для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / С. П. Вислоух, О. В. Волошко, Г. С. Тимчик, М. В. Філіппова ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл 37,37 МБайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 228 с.
 17. Методологія наукових досліджень [Електронний ресурс] : навчальний посібник / В. С. Антонюк, Л. Г. Полонський, В. І. Аверченков, Ю. А. Малахов ; НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 5,83 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2015.
 18. Методологія наукових досліджень у галузі: практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Н. І. Бурау, В. С. Антонюк, Д. О. Півторак. – Електронні текстові дані (1 файл: 471,92 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 58 с.
 19. Вислоух С. П., Філіппова М. В. Інформаційні основи проектування технології механоскладальних робіт в приладобудуванні. Вісник НТУУ «КПІ». Приладобудування : збірник наукових праць. 2004. № 28. С. 139–144
 20. Остафьев В. А. Исследование точности технологического процесса обработки типовых микромеханических компонентов [Текст] / Остафьев В.А., Диордица И.М., Петренко С.Ф., Филиппова М.В. // Вісник Національного технічного університету України. Серія Приладобудування. – 2006. – №. 32. – С. 83-89.
 21. Менеджмент стартап проектів [Електронний ресурс] : підручник для студентів технічних спеціальностей / О. А. Гавриш, В. В. Дергачова, М. О. Кравченко [та ін.] ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,67 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 337 с.
 22. Управління стартапами [Електронний ресурс] : підручник для здобувачів вищої освіти за економічними спеціальностями / О. А. Гавриш, К. О. Бояринова, М. О. Кравченко, К. О. Копішинська ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 7,64 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 716 с.

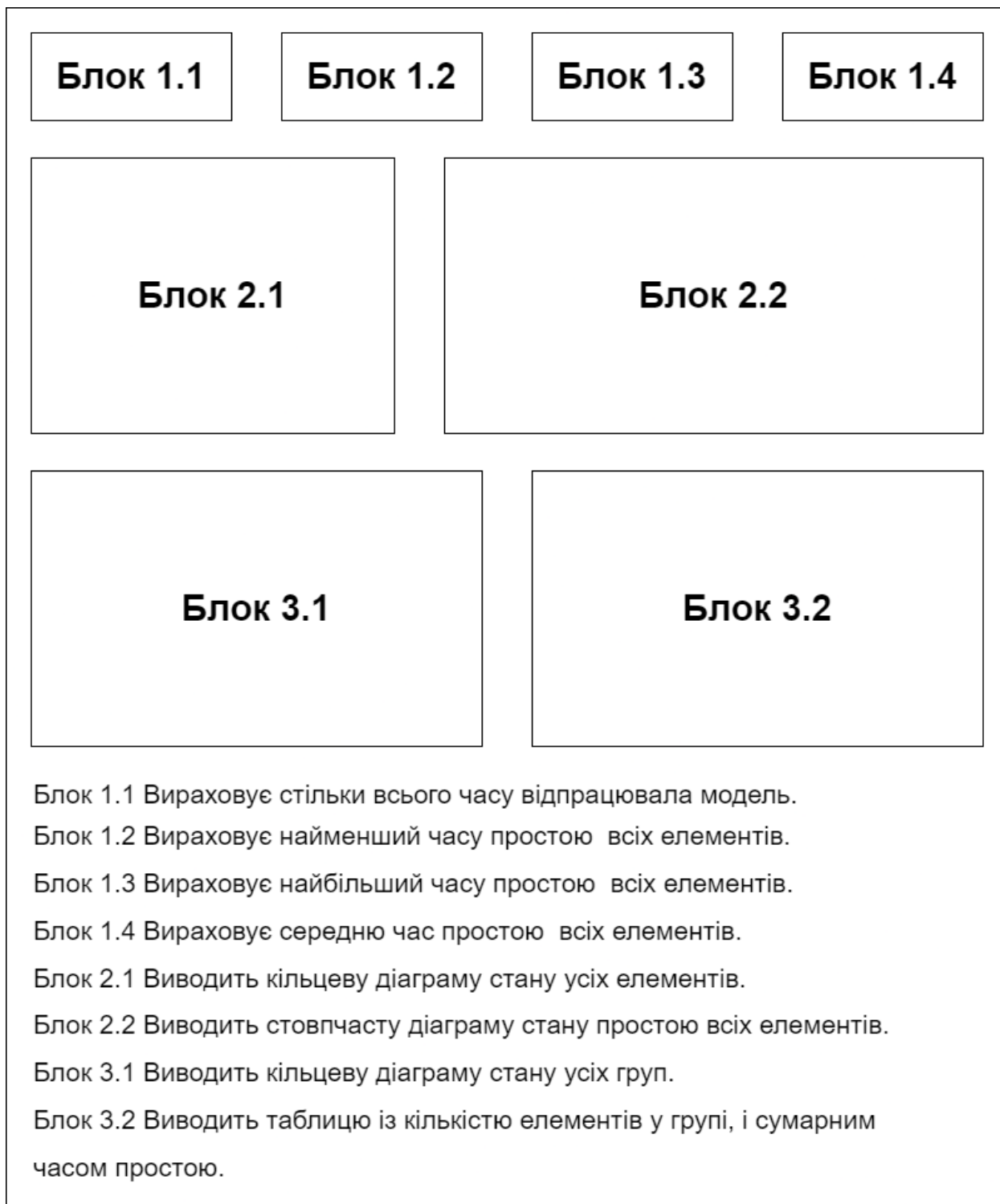
23. Магістерська дисертація. Організація виконання та захисту, вимоги до структури, змісту та оформлення [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Н. І. Бурау, Г. А. Богдан, Д. О. Півторак, М. В. Філіппова. – Електронні текстові дані (1 файл: 429,39 Кбайт). – КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 48 с.
24. Наукова робота за темою магістерської дисертації. Основи наукових досліджень. Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. С. Антонюк, Н. І. Бурау, Д. О. Півторак. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,29 Мбайт). – КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 104 с.
25. Наукова робота за темою магістерської дисертації. Науково-дослідна робота: практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. С. Антонюк, Н. І. Бурау, Д. О. Півторак. – Електронні текстові дані (1 файл: 772,22 Кбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 55 с.
26. L. Monostori, Cyber_physical production systems: roots, expectations and R&D challenges, *Procedia CIRP* 17 (2014) 9_13.
27. F. Tao, Y. Zuo, L.D. Xu, L. Lv, L. Zhang, Internet of things and BOM-based life cycle assessment of energy-saving and emission_reduction of products, *IEEE Trans. Ind. Inform.* 10 (2) (2014) 1252_1261.
28. F. Tao, L. Zhang, V.C. Venkatesh, Y. Luo, Y. Cheng, Cloud manufacturing: a computing and service-oriented manufacturing model, *Proc. Inst. Mech. Eng. B: J. Eng. Manuf.* 225 (10) (2011) 1969_1976
29. D. Regulin, A. Glaese, S. Feldmann, B. Vogel-Heuser, Enabling flexible automation system hardware: dynamic reconfiguration of a real-time capable field-bus, in: *The 13th International Conference on Industrial Informatics*, Cambridge, United Kingdom, 2015, pp. 1198_1205.
30. D. Mourtzis, E. Vlachou, N. Milas, G. Dimitrakopoulos, Energy consumption estimation for machining processes based on real-time shop floor monitoring via wireless sensor networks, in: *CIRP Conference on Manufacturing Systems*, Stuttgart, Germany, vol. 57, 2016, pp. 637_642.
31. M. Zarte, A. Pechmann, J. Wermann, F. Gosewehr, A.W. Colomboet, Building an Industry 4.0-compliant lab environment to demonstrate connectivity between shop floor and IT levels of an enterprise, in: *The 42th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Florence, Italy, 2016, pp. 6590_6595.

32. Кравченко О. С. Автоматизована діляниця виготовлення деталі фланець стійки радіолокатору. КПІ ім. Ігоря Сікорського.

URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41970>.

Додатки

ДОДАТОК А



ДОДАТОК Б

```

import pandas as pd # pip install pandas
data = pd.read_excel(r'./EXM2.xlsx')
allSize = data.shape
rows= allSize[0]
column= allSize[1]
groupNames = []
objectNames = []
localArr =[]
idleGroups = []
countObject = 0
idle = 0
i = 0
j=0
time = 0
groupName=""
objectName=""

def delMach(per):
    c=""
    c1=""
    if per<100:
        return 'У даному вузлі не можна скоротити кількість елементів'
    elif per >= 100 and per<200:
        c= '1'
        c1=' елемент.'
    elif per >= 200 and per<300:
        c='2'
        c1=' елемента.'
    elif per >= 300 and per<400:
        c='3'
        c1=' елемента.'
    elif per >= 400 and per<500:
        c='4'
        c1=' елемента.'
    elif per >= 500 and per<600:
        c='5'
        c1=' елементів.'

    return 'Даний вузол можна скороти на '+c+c1

def showAnswer(j):
    x = len(objectNames[j])
    locTime = idleGroups[j]/time*100
    ave = locTime/x
    if x==1:
        str="об'єкта "
        if ave<25:
            str1 = "це чудовий показник. Група працює дуже ефективно і модернізації не потребує"
        elif ave>=25 and ave<50:
            str1 = "це хороший показник. Група працює достатньо ефективно і модернізації не потребує"
        elif ave>=50 and ave<80:
            str1 = "це поганий показник. Ефективність групи погана, але так як група складається з одного елемента, покращення даного вузла не можливе."
        elif ave>=80:
            str1 = "це дуже показник. Ефективність групи дуже погана, але так як група складається з одного елемента, покращення даного вузла не можливе. "
    else:
        str="об'єктів: "
        if ave<25:
            str1 = "це чудовий показник. "
        elif ave>=25 and ave<50:
            str1 = "це хороший показник. "

```

```

elif ave>=50 and ave<80:
    str1 = "це поганий показник. "
elif ave>=80:
    str1 = "це дуже поганий показник. "
print(groupNames[j], ' складається з ', x, str, ', '.join(objectNames[j]), ' ')
print('Сумарний час простою становить -', '%.2f' % locTime, '%', 'str1)
print(delMach(locTime))
print(' ')

```

```

while i<rows:
    if i==0:
        groupName = data.iloc[i,4]
        objectName = data.iloc[i,0]
        groupNames.append(groupName)
        localArr.append(objectName)
        countObject+=1
        if data.iloc[i,1]=='Idle':
            idle+=data.iloc[i,2]
    elif i==rows-1:
        objectNames.append(localArr)
        idleGroups.append(idle)
        localArr = []
        idle = 0
    else:
        if groupName!=data.iloc[i,4]:
            objectNames.append(localArr)
            idleGroups.append(idle)
            localArr = []
            idle = 0
            groupName = data.iloc[i,4]
            objectName = data.iloc[i,0]
            groupNames.append(groupName)
            localArr.append(objectName)
            countObject+=1
            if data.iloc[i,1]=='Idle':
                idle+=data.iloc[i,2]
        elif groupName==data.iloc[i,4] and objectName!=data.iloc[i,0]:
            objectName = data.iloc[i,0]
            localArr.append(objectName)
            countObject+=1
        elif groupName==data.iloc[i,4] and data.iloc[i,1]=='Idle':
            idle+=data.iloc[i,2]
        time+=data.iloc[i,2]
    i+=1
time = time / countObject\
while j < len(groupNames):
    showAnswer(j)
    j+=1

```

ДОДАТОК В

Список наукових праць

Кравченко Олександр Сергійович

№ з/п	Назва праці	Назва видавництва та його вихідні відомості, що дозволяють ідентифікувати та відрізняти це видання від усіх інших	Кількість друкованих аркушів	Прізвище співавтора
1	ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ У ЖИТТЄВОМУ ЦИКЛІ ВИРОБУ	Збірник праць XV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ”, К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2022. – с.94 – 97	3	-
2	ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ У ЖИТТЄВОМУ ЦИКЛІ ВИРОБУ	Збірник праць XVIII Науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Ефективність та Автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні” К.:ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2022. –с. 77 - 79 с.	3	-
3	АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ РЕСУРСІВ ВИРОБНИЦТВА	Збірник праць IX-й Міжнародній конференції "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології - 2023" К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2023. – с. –	3	-
4	АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РЕСУРСІВ ПІДПРИЄМСТВА ЗА ДОПОМОГОЮ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА	Наукового журнал «Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки» Том 34 (73) № 2 за 2023.	13	3

5	ЦИФРОВИЙ ДВІЙНИК СКЛАДНОГО ВИРОБНИЦТВА	XXII Міжнародна науково-технічна конференція «ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи» К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2023. – с. –	4	2
6	ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА	Збірник праць XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ”, К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2023. – с. –	4	-

Автор _____ Кравченко О.С.

Науковий керівник дисертації _____ Філіппова М.В.