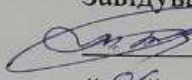


**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Приладобудівний факультет
Кафедра виробництва приладів**

До захисту допущено

Завідувач кафедри

 Михайло БЕЗУГЛИЙ
«04» 12 2022 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»
на тему: «Оптимізація автоматизованої системи обробки деталей на основі
моделі Лотки-Вольтерри»**

Виконав:

студент II курсу, групи ПБ-11мп

Даценко Ольга Романівна

Керівник:

Ст.н.с., к.т.н., доцент кафедри виробництва приладів

Клочко Тетяна Реджинальдівна

Консультант з розроблення стартап-проекту:

Д.е.н., проф., професор кафедри менеджменту підприємств,

Бояринова Катерина Олександрівна

Рецензент:

К.т.н., старший викладач кафедри комп'ютерно-інтегрованих

оптичних і навігаційних систем

Васильковська Інна Олегівна

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент



Київ 2022

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

«15» 09 2022 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Даценко Ользі Романівні

1. Тема дисертації «Оптимізація автоматизованої системи обробки деталей на основі моделі Лотки-Вольтерри», науковий керівник дисертації Ключко Тетяна Реджинальдівна, к.т.н., ст. науковий співробітник, затверджені наказом по університету від «09» листопада 2022 р. № 4110-с
2. Термін подання студентом дисертації 05 грудня 2022 року
3. Об'єкт дослідження - процеси оптимізації роботи автоматизованої системи обробки деталей.
4. Вихідні дані - автоматизована система механічної обробки деталей, модель Лотки-Вольтерри, цільова функція оптимізації роботи автоматизованої системи як
$$f^*(X) = \underset{x_j}{\text{extrem}} F(x_j, y_r, c_k), x_j, y_r, c_k - \text{змінні параметри виробничої системи; витрати часу} - 2 \text{ роб. зміни, кількість трансп. модулів} - 10.$$
5. Перелік завдань, які потрібно розробити - 1) Огляд та аналіз застосованих принципів та моделей оптимізації роботи автоматизованої системи обробки деталей, вибір критеріїв оптимізації; 2) Вибір напрямку досліджень, постановка задачі дослідження; 3) Дослідження принципів використання наявних ресурсів (транспортних і виробничих модулів) при оптимізації роботи автоматизованої виробничої системи та критеріїв оптимізації; 4) Обґрунтування принципів оптимізації роботи автоматизованої виробничої системи на засадах моделі Лотки-Вольтерри; 5) Обґрунтування планів досліджень підвищення ефективності роботи

комплексу; 6) Розробка програмного забезпечення моделі оптимізації; 7) Виконання стартап-проєкту

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу – структурні схеми автоматизованої виробничої системи, структурно-компонувальна схема роботи комплексу, блок-схеми алгоритмів роботи оптимізованого процесу, блок-схеми програми обчислення, графічні ілюстрації отриманих результатів дослідження.

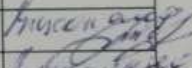
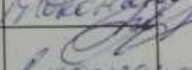
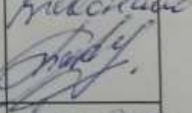
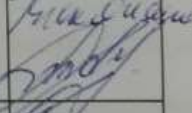
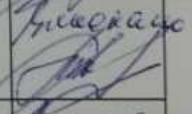
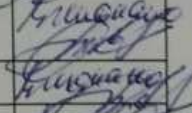
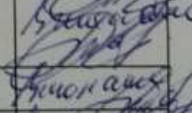
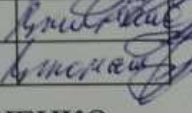
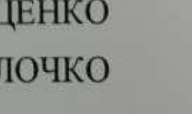
7. Орієнтовний перелік публікацій - наукова стаття у фаховому науковому журналі категорії Б; тези на науково-технічній конференції.

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Стартап-проєкти	Завідувач кафедру економічної кібернетики, д.е.н., проф. Бояринова К.О.		

9. Дата видачі завдання «15» вересня 2022 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літературних джерел	25.09.2022 р.	
2	Постановка задачі дослідження	30.09.2022 р.	
3	Аналіз проблем виробництва, вибір напрямку досліджень щодо оптимізації роботи автоматизованого виробничого комплексу	05.10.2022 р.	
5	Обґрунтування принципів та критеріїв оптимізації роботи автоматизованого виробничого комплексу	15.10.2022 р.	
6	Створення моделі оптимізації роботи автоматизованого комплексу, алгоритмів роботи	25.10.2022 р.	
7	Розробка програмного забезпечення моделі оптимізації	05.11.2022 р.	
8	Проведення досліджень	15.11.2022 р.	
9	Аналіз та обробка результатів досліджень	20.11.2022 р.	
10	Виконання стартап-проєкту	25.11.2022 р.	
11	Підготовка ПЗ та презентації	30.11.2022 р.	
12	Презентація матеріалів	05.12.2022 р.	

Студент

Науковий керівник

Ольга ДАЦЕНКО

Тетяна КЛОЧКО

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему «Оптимізація автоматизованої системи обробки деталей на основі моделі Лотки-Вольтерри». Під час виконання роботи було досліджено сучасні автоматизовані системи механічної обробки деталей та стан їхньої оптимізації. Проведено аналіз основних методів та моделей оптимізації виробничих систем обробки деталей. На основі отриманої інформації було обрано модель для оптимізації системи – класичну модель конкуренції Лотки-Вольтерри.

Магістерська робота містить 4 розділи, налічує 115 сторінок друкованого тексту, без урахування додатків. Робота містить в собі 28 таблиць, 29 рисунків, 5 додатків та список використаних джерел у кількості 53 одиниць літератури.

Перший розділ проєкту містить огляд автоматизованих систем обробки деталей, їхні основні особливості та характеристики. Також, у розділі наведено результат огляду наукової літератури по цій темі, основні принципи виробничої логістики, основні методи оптимізації виробничих систем.

В другому розділі проаналізовано моделі оптимізації: класичну модель Лотки-Вольтерри та її модифікації. Було детально описано систему, що моделюється та обґрунтовано вибір математичної моделі для моделювання.

В третьому розділі побудовано модель з урахуванням обраних параметрів системи, вирішено систему рівнянь методом Рунге-Кутти. Було реалізовано додаток для моделювання системи.

В четвертому розділі проведено розробку стартап-проєкту, що включає дослідження ринку, рентабельності ідеї, маркетингову і ринкову стратегії.

Ключові слова: ГВС, виробництво, оптимізація, математичне моделювання, модель Лотки-Вольтерри.

ABSTRACT

Master's dissertation on the topic "Optimization of the automated parts processing system based on the Lotka-Volterra model. During the execution of the work, modern automated systems of mechanical processing of parts and the state of their optimization were investigated. An analysis of the main methods and models for optimization of production systems of parts processing was carried out. Based on the received information, a model for system optimization was chosen - the classic Lotka-Volterra competition model.

The master's dissertation contains 4 chapters, has 115 pages of printed text, excluding appendices. The work contains 28 tables, 29 figures, 5 appendices and a list of used sources in the amount of 53 units of literature.

The first section of the project contains an overview of automated parts processing systems, their main features and characteristics. Also, the section provides the result of the scientific literature review on this topic, the main principles of production logistics, the main methods of optimizing production systems.

In the second chapter there is an optimization models analysis: the classic Lotka-Volterra model and its modifications. The modeled system was described in details and the choice of a mathematical model for modeling was justified.

In the third section, the model has been built taking into account the selected parameters of the system, the system of equations was solved by the Runge-Kutta method. An application for system's optimization was implemented.

In the fourth chapter, the development of a startup project was carried out, which includes: market research, profitability of the idea, marketing and market strategy.

Key words: FMS, production, optimization, mathematical modeling, Lotka-Volterra model.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
ABSTRACT	5
ЗМІСТ	6
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ПОБУДОВИ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ТОЧНИХ ДЕТАЛЕЙ 11	
1.1 Аналіз предметної області	11
1.1.1 Застосування гнучких виробничих систем у промисловому приладобудівному виробництві	13
1.1.2 Основні особливості структури гнучкої виробничої системи у процесі механічної обробки деталей	17
1.1.3 Характеристики гнучких виробничих систем та проблеми їх оптимізації	20
1.1.4 Постановка задачі дослідження	23
1.2 Аналіз сучасного стану оптимізації автоматизованих систем механічної обробки деталей 24	
1.2.1 Аналіз літературних джерел з проблеми оптимізації функціонування автоматизованих систем обробки деталей у промислових умовах	25
1.2.2 Аналіз основних методів оптимізації гнучких виробничих систем	26
1.3 Основні моделі оптимізації автоматизованої системи обробки	29
1.4 Основні принципи логістичної оптимізації виконання технологічних процесів на сучасних підприємствах	36
1.5 Вибір напрямку наукового дослідження	39
Висновки до розділу 1	42
РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ	
2.1 Формулювання задачі математичного моделювання цільової функції	43
2.1.1 Моделювання цільової функції оптимізації функціонування автоматизованої системи обробки деталей	50
2.2 Короткий опис конкурентних процесів в математичному моделюванні	53
2.3 Класична модель Лотки-Вольтерри	55
2.3.1 Різновиди моделі Лотки-Вольтерри	60
2.4 Обґрунтування моделі оптимізації роботи автоматизованої виробничої системи обробки деталей	66
Висновки до розділу 2	68
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПУ ОПТИМІЗАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ	
3.1 Чисельний аналіз класичної моделі Лотки-Вольтерри. Застосування методу Рунге – Кутти 69	
3.2 Аналіз результатів алгоритмів	73

3.3 Розробка програмного забезпечення з оптимізації автоматизованої системи механічної обробки деталей	77
3.4 Результати роботи програмного забезпечення та їх аналіз	80
Висновки до розділу 3	84
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ «ОПТИМІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ ЛОТКИ-ВОЛЬТЕРРИ»	85
4.1 Опис та технологічний аудит ідеї проєкту	85
4.2 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту	90
4.3 Розроблення ринкової стратегії та маркетингової програми проєкту	98
4.4 Організація реалізації стартап-проєкту	105
Висновки до розділу 4	108
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	110
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	112
ДОДАТОК А	118
Список наукових та навчально-методичних праць	118
ДОДАТОК Б	119
Структурно-компонувальна схема автоматизованої ділянки	119
ДОДАТОК В	121
Блок-схема алгоритму	121
ДОДАТОК Г	123
Архітектура додатку	123
ДОДАТОК Г	125
Лістинг коду	125
ДОДАТОК Д	138
Акт про впровадження в науково-дослідну роботу результатів магістерської дисертації	138

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

Г АВ	– гнучке автоматизоване виробництво
Г АЛ	– гнучка автоматизована лінія
Г АД	– гнучка автоматизована дільниця
Г АЦ	– гнучкий автоматизований цех
Г ВМ	– гнучкий виробничий модуль
Г ВС	– гнучка виробнича система
ЧПК	– числове програмне керування
ЕОМ	– електронна обчислювальна машина
САПР	– система автоматизованого проєктування
АСТПВ	– автоматизована система технологічної підготовки виробництва
АТСС	– автоматизована транспортно-складська система
ОЦ	– обробний центр
ПР	– промисловий робот
ГСУ	– гнучка система керування
ПЗ	– програмне забезпечення
ТП	– технологічний процес
СМО	– система масового обслуговування
НЛ	– нескінченнозначна логіка
ЛВ	– логічний визначник
ПН	– приверстатний накопичувач
ВІЗ	– відділення інструментального забезпечення
ВУОК	– відділення управляючого обчислювального комплексу
СУБД	– система керування базами даних
ПК	– персональний комп'ютер

ВСТУП

Актуальність роботи: оптимізація виробництва завжди була досить актуальним питанням для багатьох підприємств у різних галузях виробництва. Це не дивно, адже як держава, так і приватні підприємці шукають шляхи та технології, що зможуть дати можливість скоротити видатки, збільшити прибутки, загалом зробити виробництво більш ефективним. Однак, після початку повномасштабного вторгнення Росії на територію суверенної держави України й масового руйнування виробничої та критичної інфраструктури, цивільних будівель та житла, питання ефективного використання наявних та вцілілих ресурсів стало надзвичайно гостро. За офіційними даними, станом на квітень 2022 року, збитки промислових активів становлять \$6,7 млрд.

Саме тому, для економії виробничих ресурсів таких, як електроенергія та збільшення обсягів виробництва, потрібно застосовувати саме такі методи оптимізації виробництва, що не потребують значних фінансових інвестицій та закупівлі додаткового виробничого обладнання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами: тема дисертації відповідає основним напрямам наукової та навчальної роботи кафедри виробництва приладів в галузі автоматизації систем та створення комп'ютерно-інтегрованих технологій приладобудування.

Мета роботи: реалізація системи, що оптимізуватиме автоматизовану систему обробки деталей шляхом побудови математичної моделі з урахуванням необхідних параметрів виробничої ділянки. Вихідними даними є параметри, що відображатимуть як можна модифікувати ділянку для ефективнішої роботи та графік для візуалізації потенційного покращення процесу виробництва.

Завдання дослідження:

- проаналізувати особливості автоматизованих виробничих систем;
- провести порівняльний аналіз існуючих аналогів та технологій;
- дослідити методи та моделі оптимізації автоматизованого виробництва;
- спроектувати та розробити рішення на основі проведеного дослідження.

Об'єкт дослідження: процеси оптимізації роботи автоматизованої системи обробки деталей.

Предмет дослідження: моделі оптимізації виробництва.

Методи дослідження: математичні методи та моделі оптимізації процесів і систем:

- моделі лінійного математичного програмування: методи цілочисельного програмування;
- моделі систем масового обслуговування;
- мережеві моделі, що представляють виробничу систему у вигляді графів;
- моделі класичної оптимізації;
- статистичні моделі;
- структурно-логічні моделі тощо.

Наукова новизна: запропоновано рішення, що ґрунтується на використанні математичної моделі Лотки-Вольтерри, яка дозволить оптимізувати роботу систем виготовлення точних деталей за умови автоматизації виробництва.

Практична цінність: розроблено алгоритми реалізації створеної математичної моделі оптимізації гнучкої автоматизованої ділянки, яка може бути використана для різних виробничих систем та забезпечує підвищення ефективності виробництва у перспективі розвитку автоматизації виробництва точних приладів; створено програмне забезпечення, а саме веб-додаток, що проводить всі необхідні розрахунки та будує графік, який візуалізує результат оптимізації системи.

Апробація результатів дисертації: результати дослідження, моделювання та основні положення роботи розглядались на: Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції «Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми та перспективи», 2022; XVIII Науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та Автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», 2022. (Додаток А).

Публікації: Клочко Т.Р., Даценко О. Р., Застосування моделі Лотки-Вольтерри для оптимізації автоматизованої системи обробки деталей (стаття), «Вісник Київського політехнічного інституту. Серія приладобудування», вип.64(2), 2022.

РОЗДІЛ 1 СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ПОБУДОВИ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ТОЧНИХ ДЕТАЛЕЙ

1.1 Аналіз предметної області

Математичне моделювання є важливою складовою розробки, аналізу та підтримки систем у багатьох галузях людського життя, зокрема у промисловості. Не є новиною, що математичні моделі використовуються для перевірки гіпотез, розроблених на основі експериментальних даних, для передбачення нових явищ та закономірностей, що виникають при використанні вихідних даних отриманих під час тестування. Водночас, важливо пам'ятати: рівень досягнення конкретної цілі з використанням математичної моделі залежить як від кількості та якості знань про саму систему, так і від того, наскільки якісно була побудована експериментальна модель даної системи.

Процес побудови математичної моделі, що включає етапи від вибору її типу, до отримання результатів обчислень, описаний у другому розділі цієї дисертації.

Якщо ж говорити про рівень знань про систему, то невід'ємною частиною цього аспекту є аналіз предметної області, до якої належить піддослідна система. Так як предметом дослідження є оптимізація роботи автоматизованої системи обробки деталей, то об'єктом дослідження можна вважати автоматизовану систему.

В сучасній галузі промисловості найвдалішим прикладом автоматизованої системи є гнучке автоматизоване виробництво (ГАВ), що поділяється на види:

- гнучка автоматизована лінія (ГАЛ);
- гнучка автоматизована дільниця (ГАД);
- гнучкий автоматизований цех (ГАЦ) тощо.

На рис. 1.1 представлена структура та систематизація понять гнучкого виробництва.

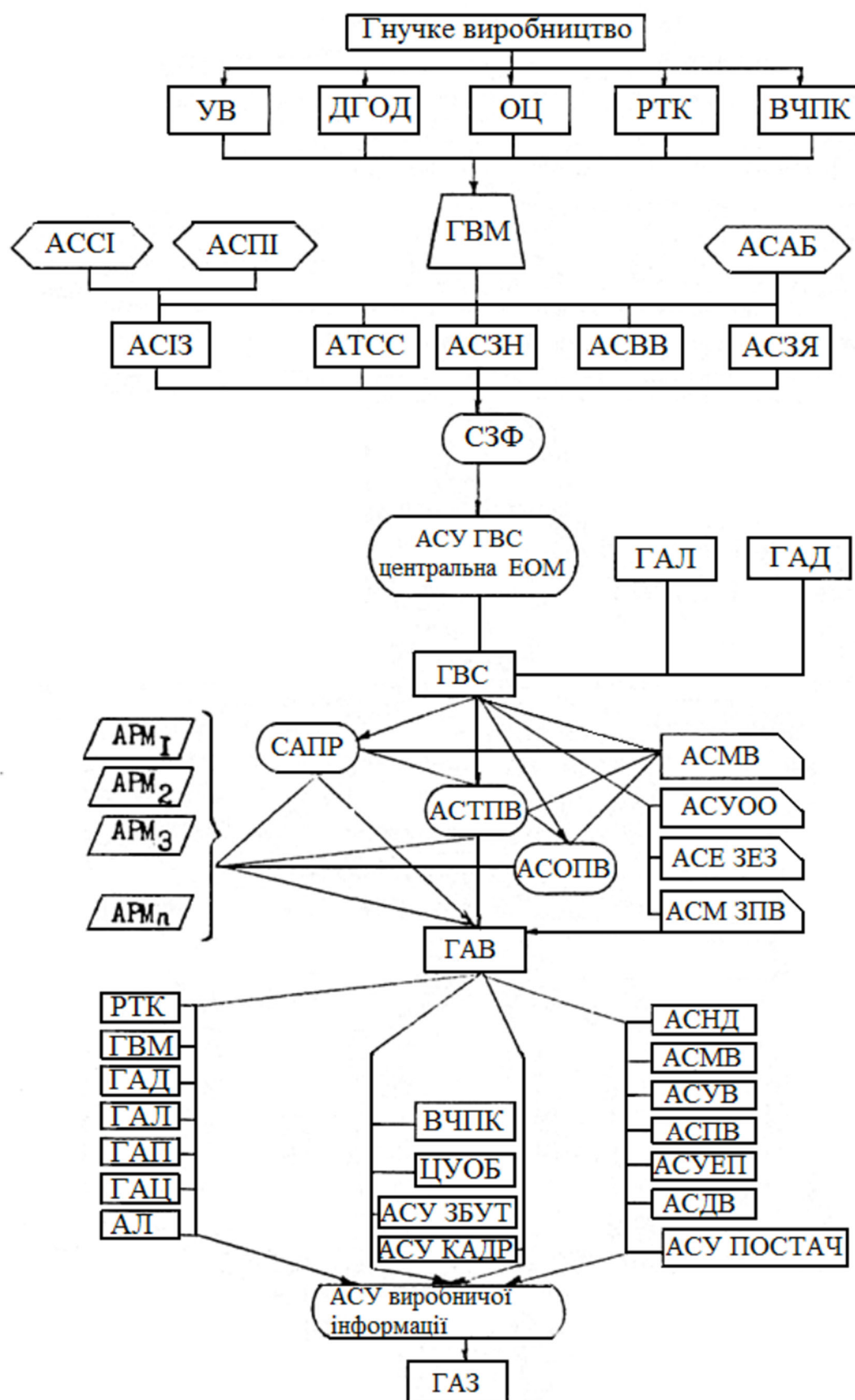


Рисунок 1.1 – Систематизація понять гнучкого виробництва [7]

У технічній літературі, зокрема у роботах авторів (А. Raouf у книзі «Flexible Manufacturing Systems: Recent Development» [3]) термін «гнучка виробнича система» (англ. flexible manufacturing system) застосовують як узагальнюючий для визначень ГВС різного рівня організації та автоматизації. Основною складовою ГВС є гнучкий виробничий модуль (ГВМ), що являє собою одиницю технологічного обладнання для виробництва виробів довільної номенклатури в установлених межах значень їх характеристик з програмним керуванням, автономно функціонуючу, автоматично виконуючу всі функції пов'язані з їх виготовленням. На рис. 1.2 умовно зображено принципи роботи простої ГВС.

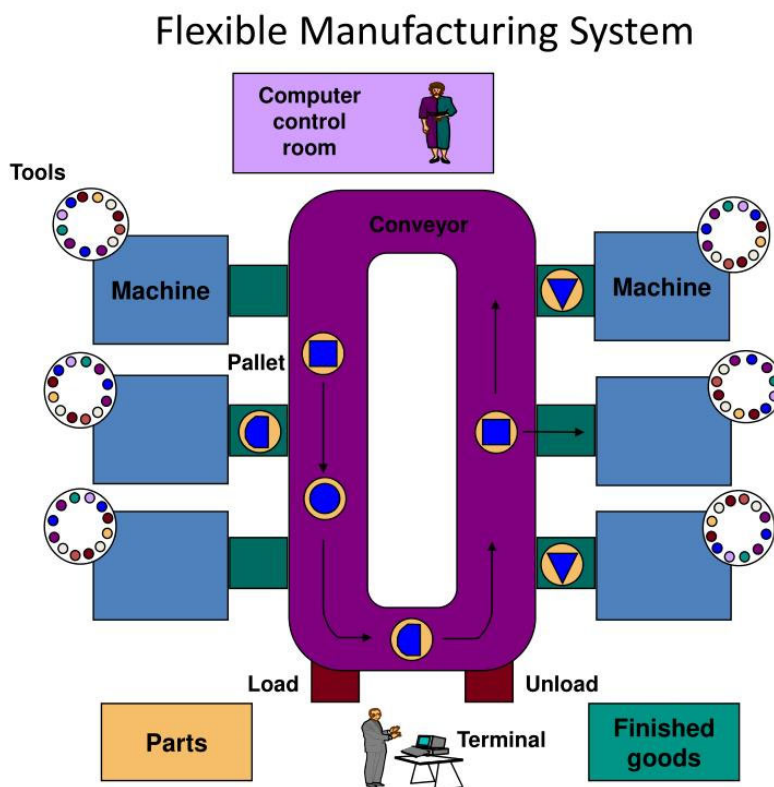


Рисунок 1.2 – Схема простої ГВС [37]

1.1.1 Застосування гнучких виробничих систем у промисловому приладобудівному виробництві

На певному етапі, автоматизація приладобудівного виробництва йшла по шляху створення жорстких автоматичних ліній, призначених для масового виробництва.

Термін окупності таких ліній становить не менше 8...10 років [2]. Очевидно, що комплексна автоматизація серійного виробництва не може розвиватися по шляху створення жорстких або переналагоджуваних автоматичних ліній. Першим етапом автоматизації багатомономенклатурного виробництва можна вважати появу верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК), що дозволили верстатам швидко переходити на обробку інших деталей за допомогою зміни програм керування, оснащення та інструментальних налагоджень. Заміна універсальних металорізальних установок автоматизованими верстатами з ЧПК дозволила приблизно в 5 разів скоротити трудомісткість виготовлення деталей. Незважаючи на такий прогрес, залишилося досить багато ручних операцій, пов'язаних як з повторним виготовленням деталей в партії, так і з переходом на обробку нової деталі. Таким чином, скорочення втрат допоміжного часу та підвищення ефективності роботи верстатів з ЧПК досягалися внаслідок збільшення кількості інструментів в магазині верстата, оснащенням верстатів автоматичними пристроями подачі заготовок на стіл верстата і видалення готової продукції на позицію очікування. Централізоване керування верстатами з ЧПК за командами, що надходять від центральної ЕОМ, дозволило знизити витрати на підготовку керуючих програм і централізувати роботу дільниць і цехів. Початковим етапом формування принципово нового напрямку автоматизації серійного та одиничного виробництва можна вважати формулювання поняття «ГВС».

Технічні можливості різних видів ГВС постійно покращуються. ГВМ надає можливість здійснювати: автоматичну зміну заготовок, інструментів, вимірювальних пристроїв та автоматичний відвід стружки із зони різання. ГВМ якісно відрізняється підвищеною надійністю всіх систем, що виключає постійний контроль оператора, наявність приладів контролю якості та технічної діагностики, можливість під'єднатися в ГВС внаслідок зв'язку з ЕОМ вищого рівня. У сучасному приладобудуванні переважає створення широкої гами ГВМ з високим рівнем автоматизації та надійності [3]. Розробка гнучких модулів різного вузького технологічного призначення надає змогу вирішити проблему повсюдного впровадження ГВС і принципів гнучкого виробництва. ГВС має достатньо високий

рівень виробничої гнучкості, що явно виражається в потенційній можливості автоматичного переходу на обробку будь-якої заданої деталі та функціонування при відмові окремих елементів системи. ГВС може продовжувати функціонувати в другу і третю зміни автоматично та при обмеженій кількості персоналу (або взагалі без нього) і легко вбудовуватися в ГАВ.

Підвищення гнучкості будь-якого технологічного обладнання майже завжди спричиняє зниження його продуктивності. Найвищий рівень продуктивності досягається на автоматизованих лініях, а найвищий рівень універсальності – на універсальному окремо працюючому обладнанні.

Перспективи розвитку ГАВ побудовані на потребах в усе більш масштабній інтеграції в складі однієї системи різних виробничих функцій і повній передачі цих функцій під контрольоване керування від ЕОМ. Зараз кожне велике підприємство має елементи ГАВ. Попит на виробництво по гнучкій технології є дуже великим, але необхідність великих інвестицій у впровадження ГВС стримує деякі підприємства, які, однак, охоче погоджуються на часткове покриття запиту. Впровадження тільки однієї ДПС зазвичай не здатне істотно покращити загальні економічні показники цілого підприємства, тоді як комплексне впровадження декількох ГВС в поєднанні з системою автоматизованого проєктування (САПР) конструкції та технології й автоматизованою системою технологічної підготовки виробництва (АСТПВ) надасть не просте додавання їх окремих ефективностей, а багаторазове їх примноження.

Основою для створення ГВС будь-якого масштабу є технологічний процес механічної обробки. Таким чином, початковому етапу проєктування ГВС передують досить глибоке та детальне опрацювання питань автоматизації та оптимізації. При розробці ГВС достатньо часто переважає так званий конструкторський підхід, в рамках якого ГАВ зображується як сукупність виробничого устаткування, призначеного для виконання різного роду механічної обробки, транспортування заготовок та інструменту до робочих місць. Однак, під час проєктування приділяється недостатня увага проблемам базування та точності виготовлення деталей на взаємопов'язаному устаткуванні, тому випадки, коли під існуюче обладнання доводиться оптимізувати технологічний виробничий процес, не є рідкістю.

На рис. 1.3 зображено одне можливе структурно-компонувальне рішення гнучкої автоматизованої дільниці для механічної обробки деталей із зазначенням компонентів [33].

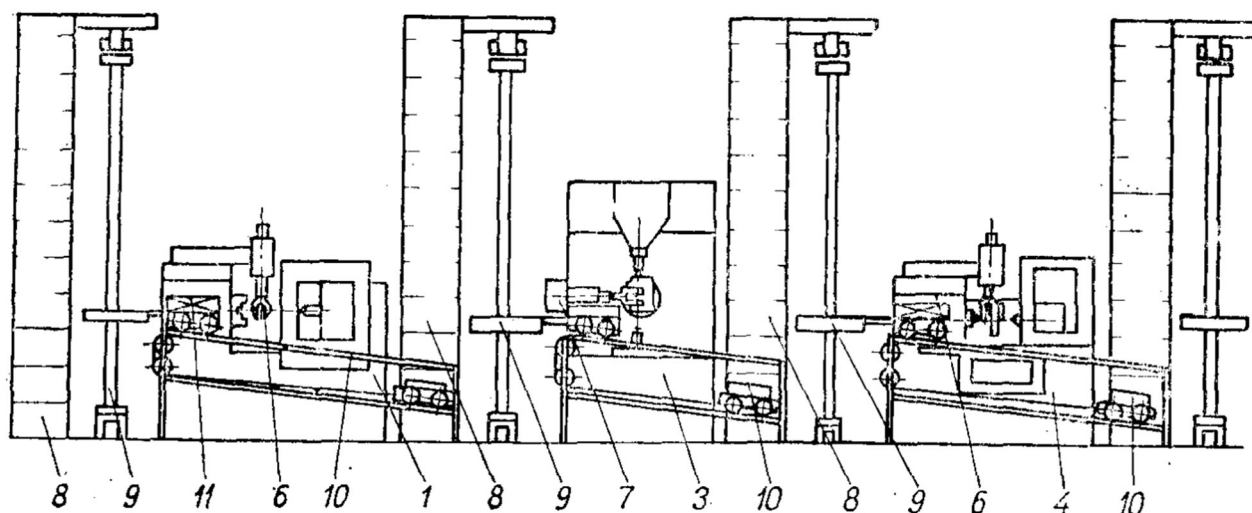


Рисунок 1.3 – Структурно-компонувальне рішення для ГАД механічної обробки деталей: 1,2 – токарний верстат з ЧПК, 3 – зубофрезерний напіваавтомат, 4 – шліфувальний верстат з ЧПК, 6,7 – промисловий робот, 8 – стелажі автоматизованого складу, 9 – робот-штабелер, 10 – гравітаційний перевантажувач касет, 11 – касета з деталями [33].

Якщо говорити про найбільш перспективні сфери застосування ГВС, то на першому місці є дрібносерійне та серійне виробництва, що характеризуються циклічним характером та відрізняються лише тривалістю циклу. Вони вирізняються порівняно сталою номенклатурою виробів і малою кількістю переналагоджень. В таких умовах можливо забезпечити стійке слідування технологічному процесу внаслідок застосування технології для кожної деталі, підбору різальних інструментів, застосування програмного забезпечення, визначення та збереження в пам'яті ЕОМ еталонних параметрів та характеристик процесу обробки деталі. Деякий досвід експлуатації ГВС показав, що обов'язковою умовою ефективності таких підприємств є високий рівень завантаження устаткування на термін не менше ніж дві зміни на

добу. Однак, забезпечити цю умову при одиничному та дрібносерійному виробництві продукції досить складно.

1.1.2 Основні особливості структури гнучкої виробничої системи у процесі механічної обробки деталей

Найширшого застосування ГАВ отримали в механообробці, де сформувалися достатньо типові структури – модулі, об'єднані в дільниці або лінії з транспортно-складськими системами (АТСС). Найбільшого розвитку отримали обробка корпусних деталей, обробка тіл обертання та листових матеріалів [4]. Така ситуація зумовлена тривалістю технологічного циклу, що є властивим для процесів обробки корпусних деталей, та в свою чергу забезпечує підвищення продуктивності до 200-300% і надає можливість системі працювати без оператора протягом цілої зміни.

Якщо визначати особливості ГВС саме для механічної обробки, до них можна віднести відповідні основні типи обладнання такі, як:

- ГВС виготовлення деталей типу тіл обертання;
- ГВС виготовлення плоских деталей;
- ГВС виготовлення корпусних деталей.

Основні виклики для розвитку ГВС для обробки корпусних деталей пов'язані з розширенням номенклатури, точністю базування, створенням типових базових пристроїв і накопичувачів різної конструкції, збільшенням кількості потрібного для обробки інструменту.

Розвиток ГВС для деталей типу тіл обертання йде достатньо повільно через необхідність вирішення складнощів пов'язаних з розширенням номенклатури з боку розмірів та форм, завантаженням і розвантаженням верстатів, створенням єдиного змінного оснащення для розміщення і закріплення деталей.

Елементною базою ГВМ для механічної обробки у виробництві є устаткування з ЧПК, обробні центри (ОЦ), промислові роботи (ПР).

Відповідно до головних принципів побудови ГВМ, до основної технологічної бази з ЧПК і ОЦ висуваються наступні вимоги:

- обробка в автоматичному режимі великої номенклатури деталей при максимальній концентрації операцій на окремих одиницях обладнання, що дозволить скоротити кількість обладнання і число переустановок, а також підвищити рівень якості обробки і знизити тривалість виробничого циклу;
- перспектива швидкого переналагодження обладнання, пристроїв накопичення та орієнтації при зміні виробництва;
- компонувальне і програмне стикування основного обладнання з транспортно-складськими модулями та вимірювальними установками;
- завантаження заготовок і розвантаження готових виробів з технологічного обладнання;
- контроль і корекція режимів технологічного процесу відповідно до встановленого базуючись на критеріях оптимізації;
- контроль геометричних параметрів оброблюваних деталей і відповідна корекція в разі потреби для досягнення заданих розмірів;
- контроль за фізичним станом інструменту, заміна несправного або зношеного інструменту;
- збір і видалення промислових відходів за межі технологічного обладнання;
- контроль постачань, видатків та інших параметрів технологічних середовищ (наприклад, мастильно-охолоджуючих рідин);
- діагностика вузлів верстата і системи керування;
- забезпечення зв'язку з верхнім рівнем керування з передачею керуючих сигналів і облікової інформації.

До складу елементної бази ГВМ механообробки деталей, крім обладнання з ЧПК, ОЦ та ПР, входить низка спеціальних пристроїв: завантажувально-розвантажувальні, заміни інструментів, видалення відходів, заміни пристосувань, контролю та діагностики, що мають всіляке конструктивне виконання, принципи функціонування, варіанти компонування у складі ГВМ [5].

Вибір компонування ГВМ для механічної обробки в загальному вигляді здійснюється з урахуванням особливостей деталей, які підлягають механічній обробці; чинного технологічного процесу; основного технологічного обладнання з

урахуванням потенціалу його автоматизації; організаційних видів виробництв (серійність, партійність, транспортування між верстатами); параметрів розподільчих приладів; техніко-економічних показників різних видів роботизації.

Основні схеми ГВМ включають такі групи обладнання:

- транспортне обладнання (приймально-передавальний, приймальний пристрої);
- основне технологічне обладнання (верстати, оснащення верстатів, різальний інструмент);
- обладнання системи керування (електро-, гідро-, пневмoelementи автоматики, пульт керування);
- прилади та інструменти технічного контролю деталей (спеціальне обладнання, контрольно-вимірювальні напівавтомати);
- специфічне обладнання (кантувач, орієнтатор).

На рис. 1.4 зображена типова структура ГВМ для механічної обробки деталей, що включає в себе наступні складові:

- 1 – магазин з інструментами;
- 2 – верстат з ЧПК;
- 3 – стіл верстату;
- 4 – автоматизований завантажувальний пристрій.

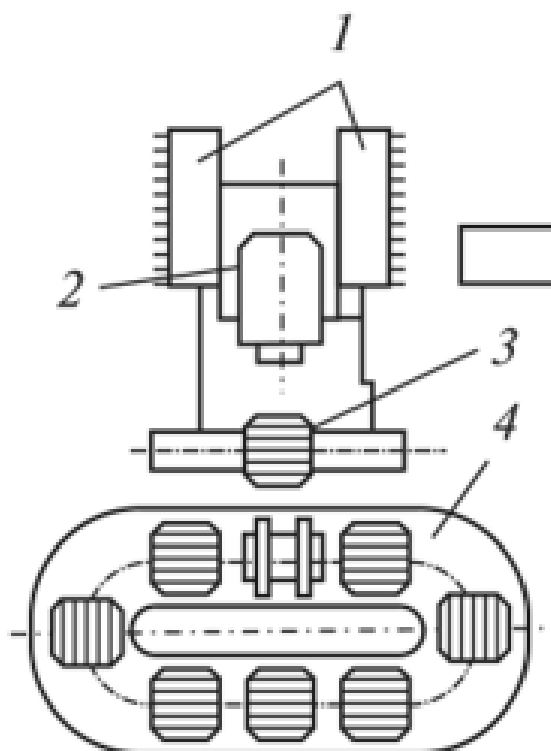


Рисунок 1.4 – ГВМ з одним верстатом з ЧПК та автоматизованим завантажувальним пристроєм [7]

1.1.3 Характеристики гнучких виробничих систем та проблеми їх оптимізації

Основною характеристикою ГВС є гнучкість, що власне і дала назву такому типу виробничих систем. Однак, дане поняття в контексті ГВС є достатньо широким і, окрім того, дає базу для оптимізації системи за рядом характеристик і параметрів.

Під поняттям «гнучкості» виробничої системи мають на увазі її здатність швидко автоматично адаптуватись на обробку нових деталей у межах, що визначені виробничими можливостями устаткування та технологіями обробки групи деталей. Складність автоматизованих верстатних систем спричинила різні аспекти гнучкості, які в цілому характеризують швидкість перебудови системи відповідно до змін виробничої ситуації. Високий рівень економічно доцільної гнучкості дає можливості для повнішого задоволення вимог замовника, оперативного переналаштування для випуску нової продукції, планування та узгодження строків виробництва зі строками

отримання обладнання, автоматизації технологічної підготовки підприємства на основі обчислювальної техніки, скорочення витрат на незавершене виробництво [6].

Система з високим ступенем гнучкості технології характеризується гнучкістю обладнання, яка описує її здатність швидко подолати неполадки у обладнанні і забезпечується влаштуванням заділів перед верстатами, обранням однотипних мультиопераційних верстатів з ЧПК, уніфікацією транспортних модулів, затискних елементів і наборів інструментів, автоматизацією підготовки керуючого програмного забезпечення. Гнучкість обладнання всієї системи напряду залежить від гнучкості відповідного верстату, таким чином, при проектуванні комплексів, необхідно включати в їх склад однотипне, яке дасть змогу покращити потужність системи, в свою чергу створюючи декілька паралельних потоків, долати збої в окремих установках і швидко оволодівати новими технологічними процесами, виділяючи для цього групи обладнання.

Гнучкість системи керування визначається тим, що оптимізація технологічного процесу може (й повинна) продовжуватись після запуску роботи цієї системи. Гнучка система керування (ГСК) надає можливість якнайбільш оптимально побудувати маршрути обробки та транспортні потоки, спираючись на різні критерії: максимальний випуск продукції, задоволення вимог складання, одержання найвищих показників від обладнання для різання, оптимального планування обробки за номенклатурою. ГСК мусить мати теку інструкцій щодо керування процесом механічної обробки, мати змогу вдосконалюватись, записуючи в пам'ять специфічні інструкції, що зв'язані із змінами виробничої ситуації.

Організаційна гнучкість в основному залежить від гнучкості обслуговуючого персоналу дільниці. Однією з умов забезпечення високого рівня використання комплексу є опанування суміжних спеціальностей в бригаді, чим можна досягти взаємозамінюваності обслуговуючого персоналу в разі потреби.

Основним напрямом оптимізації системи є упорядкування виробничої бази за допомогою групових методів обробки й автоматизації проектування технологій. Також, великого значення набуває впровадження системи автоматизації проектування технології в загальну структуру ГАВ. Основними особливостями

технологічної підготовки виробництва в умовах ГАВ є: деталізований опис технологічних процесів і прийомів та об'єднана автоматизація основних та допоміжних операцій, оптимізація існуючих технологій, що має на меті збільшення продуктивності та якості виробництва.

Комплексна автоматизація багатомономенклатурного виробництва із застосуванням ГВС визначила деяку проблематику, пов'язану з гнучкими технологіями [7]. До найважливіших проблем гнучкого виробництва можна віднести наступні:

- організація виробництва на засадах групових технологій;
- забезпечення безоператорного, вузькоопераційного, переналагоджуваного процесу із використанням засобів перманентного контролю та обчислювальної техніки;
- специфічне проєктування технологій, що залежить від змін параметрів виробництва;
- впровадження систем технологічного налаштування виробництва й керування виробничим процесом при експлуатації ГВС;
- впровадження комплексних технологій, при яких одна ГВС виробляє типові деталі одного приладу;
- виготовлення деталей в ГВС з використанням принципово нових технологічних процесів обробки;
- побудова виробництва на засадах модульного принципу;
- дотримання принципів оптимальності та завершеності;
- розробка системи автоматизованого проєктування гнучких виробничих систем (САПР ГВС);
- забезпечення додаткових технологічних систем.

Проблема впровадження групової технології пов'язана з забезпеченням її елементарних складових: елементів форми, сукупностей поверхонь, технологічних маршрутів. Складові групової технології мають відображати специфічні характеристики деталей, що оброблюються: матеріали, точність і шорсткість обробки, технічні вимоги до виробів. Такі характеристики реалізуються за допомогою

наборів простих переходів, що являються своєрідною сировиною для побудови групових та індивідуальних технологічних процесів. Основна проблема безлюдної технології - надійність обладнання, інструментів, оснащення та технологій.

Для створення істинних безоperatorних ГВС необхідно вирішувати проблеми адаптивного керування виробничим процесом спираючись на вхідні та отримані в процесі аналізу системи дані; автоматизації переналагоджувальних операцій устаткування; включення засобів контролю якості заготовок, інструментів, устаткування; діагностики устаткування. Також, існує необхідність вирішувати питання безвідлагоджуваної технології, шляхом розширення параметрів моніторингу устаткування та реалізації комплексу змін, що включають сучасні розробки і максимально можливе застосуванні різних частин ГВС. Найпростіше вирішення таких проблем в сучасному виробництві можливе за рахунок стабілізації відхилень вхідних параметрів гнучких систем, удосконалення виробничих процесів, отримання заготовок та обладнання зі сталими технічними характеристиками. Більшість з перелічених задач досить успішно розв'язуються.

1.1.4 Постановка задачі дослідження

Для створення рішення, що буде здатне адекватно та ефективно оптимізувати процес керування ГВС механічної обробки деталей, що в свою чергу дасть змогу покращити ефективність прийняття управлінських рішень та роботи всієї ГВС, потрібно виконати наступні пункти плану наукового дослідження:

- дослідити актуальний стан оптимізації автоматизованих систем механічної обробки деталей;
- визначити основні параметри, які впливають на процес механічної обробки та його ефективність;
- дослідити основні особливості моделювання процесів обробки деталей;
- проаналізувати основні методи та моделі оптимізації та гнучких виробничих систем;
- зробити порівняльний аналіз основних математичних моделей з обраною;
- дослідити основні чисельні методи для вирішення рівнянь моделі;

- дослідити методи відстежування та коригування прийнятих рішень з метою підвищення ефективності виробництва;
- дослідити методи перевірки математичної моделі на адекватність;
- дослідити найбільш ефективні інструменти для створення програмного продукту;
- дослідити ефективні методи для тестування створеного програмного забезпечення (ПЗ) на основі розробленої математичної моделі.

1.2 Аналіз сучасного стану оптимізації автоматизованих систем механічної обробки деталей

Оцінюючи сучасний стан автоматизованих систем механічної обробки деталей, можна сказати, що системи є досить автоматизованими в плані робочого циклу, легкими в обслуговуванні, працюють з обмеженою присутністю оператора, мають автоматизовану діагностику умов роботи верстата та процесу обробки, контроль параметрів і точності обробки. Точність механічної обробки є однією з головних вимог до сучасного верстата. Функціональні можливості систем механічної обробки максимально підлаштовуються до вимог сучасного споживача. Однією з вимог є використання модулів. Цей підхід використовувався і використовується при створенні агрегатних верстатів, але останнім часом він застосовується і до виробництва верстатів з ЧПК. Такі верстати мають швидко та гнучко переоснащуватись й переналагоджуватись під нові процеси обробки деталей, що, в свою чергу, досягається продуктивнішим використанням робочого простору за рахунок вільного пересування всіх робочих частин, доступністю для оператора-наладчика та простотою обслуговування. Зміна виробничої структури верстатів дозволяє виконувати різні технологічні операції з достатньою точністю обробки, підвищення продуктивності та надійності виробництва, що досягається шляхом зниження часу робочого циклу [8].

Сучасні верстати для механічної обробки деталей є цілком якісною складовою ГВС для обробки деталей, що не потребує значних модифікацій задля відповідності високим стандартам ГВС.

1.2.1 Аналіз літературних джерел з проблеми оптимізації функціонування автоматизованих систем обробки деталей у промислових умовах

В сучасній літературі проблема проєктування та оптимізації керування гнучкими виробничими системами є досить добре описаною. Існує достатньо наукових робіт: статей, праць, навчальних посібників, де автори досить детально описали як проблеми, з якими стикались науковці на етапі впровадження ГВС декілька десятиліть тому, так і питання, що досі є невирішеними, або ж для вирішення яких існуючих рішень є недостатньо.

Так, наприклад, Черепанська І. Ю., Кирилович В. А., Сазонов А. Ю., Самотокін Б. Б. в своєму посібнику з моделювання, планування та верифікації ГВС [9], як одну з проблем впровадження та керування гнучкими виробничими системами називають проблему верифікації. Посилаючись на наукову працю, процес верифікації є постійною проблемою при використанні ГВС, адже під час всього циклу виробництва постає питання контролю та коректування обладнання, процесів, якості вхідних матеріалів та вихідної продукції, позиціонування заготовок на верстаті тощо. Автори зазначають наступні види верифікації у виробництві, що притаманні гнучким системам:

- верифікація розробки процесів виробництва;
- верифікація підготовки процесів виробництва;
- верифікація формування асортименту виготовлення продукції;
- верифікація реалізації виготовленої продукції;
- верифікація забезпечення основного виробництва;
- верифікація забезпечення допоміжного виробництва тощо.

Найбільш цікавими в рамках даної магістерської дисертації є перші два види верифікації: розробки та підготовки процесів виробництва. Дану перманентну активність на виробництві можна значно спростити за допомогою оптимізації керування ГВС. Це твердження пояснюється достатньо тривіально: успішне та максимально оптимізоване керування технологічним процесом зменшить кількість виключних ситуацій, потребу в налагодженні виробничих та транспортних дільниць,

частоту перегляду затвердженого плану використання виробничих ресурсів або ж економічних цілей підприємства.

Й.М. Петрович та Г.М. Захарчин у своєму підручнику «Організація виробництва» [10] розглядають проблеми організації виробництва в умовах використання гнучких виробничих систем в різних аспектах: підготовки технічно-матеріальної бази, швидкості переналаштування виробництва на нову продукцію, оцінки виробничої ефективності виробництва.

В той же час, велике число авторів у своїх роботах висвітлює питання оцінки ефективності виробництва спираючись на велику кількість різних аспектів. Одним з таких аспектів є саме виробнича ефективність виробництва, що детально описали М. Шкільняк [11] та А.В. Шегда [12] у своїх працях. З однієї сторони, ефективність виробництва визначається як відносна результативність, тобто збірна величина, що характеризує досягнення економічного та виробничого планів підприємства, отримання очікуваного або переважаючого очікуваний прибутку, дотримання запланованих часових меж виробництва. З іншого боку, ефективність розглядається відносно втрат виробництва, тобто ефективним є тільки те виробництво, реальні втрати якого не переважають реальних прибутків, при цьому ефективність має визначатись за рентабельністю підприємства.

1.2.2 Аналіз основних методів оптимізації гнучких виробничих систем

Розробка методів оптимізації керування гнучкими виробничими системами є досить перспективною науковою задачею, оскільки вона має важливе практичне застосування: використання оптимізаційних методів для створення оптимальної будови системи дасть змогу зменшити витрати на виробничий процес, а тому зменшити вартість виготовлення деталей або ж приладів, при цьому, не потребуючи інвестицій в переоснащення технічних засобів: верстатів, транспортних модулів тощо. Окрім того, оптимізація та вдосконалення ТП та технічної бази виробництва, визначення оптимального завантаження виробничого обладнання дозволить зменшити час технологічного процесу, тобто тривалість виготовлення та

транспортування виробів за рахунок ефективного використання обладнання та зменшення часу простоїв.

Розглядаючи основні методи оптимізації ГВС можна помітити, що вони досить подібні до методів, які використовуються для оптимізації жорстких виробничих систем, однак є і відмінності. Перш за все, потрібно враховувати складність ГВС, велику кількість модулів, з яких складаються такі системи. Окрім того, оптимізуючи ГВС потрібно пам'ятати основну характеристику системи – гнучкість та в жодному разі не нехтувати цим параметром. Так як ГВС по своїй суті є автоматизованим окремим організмом, основну увагу потрібно приділяти скороченню часу простою верстатів, максимальній ефективності транспортних шляхів та управлінню складським модулем.

Очевидно, що для того, щоб вдало обрати метод оптимізації та модель, потрібно чітко розуміти особливості системи. У таблиці 1.1 наведено основні різновиди систем за характеристиками та видами.

Табл. 1.1 – Різновиди систем за характеристиками

№	Характеристика	Різновиди
1.	Структура	послідовна
		паралельна
		паралельно-послідовна
		послідовно-паралельна
2.	Режим функціонування	з однопрограми та багатопрограмними режимами
		статичні і динамічні
		без простоїв і з простоями блоків
3.	Режим подачі робіт	системи з очікуванням і без очікування
		системи з вільним і примушеним за часом надходження робіт

		конвеєрні і не конвеєрні
		системи зі стаціонарним і нестаціонарним потоком робіт
		системи з однією і з декількома роботами
4.	Дисципліна обслуговування робіт	FIFO («прийшла першою – обслугована першою»)
		FILO («прийшла першою – обслугована останньою»)
		«прийшла першою – обслугована середньою по порядку»
		по порядку зростання деякого показника
		обслуговування у випадковому порядку

На сьогодні не існує уніфікованого методу оптимізації гнучких виробництв [13]. Через досить складну структуру ГВС в цілому та безліч особливостей гнучких виробництв на різних підприємствах, а іноді і зовсім різних структур гнучких систем на одному виробництві, досить важко, а іноді і неможливо обрати такий метод оптимізації, що адекватно покривав би всі потреби різних систем. Тому, спираючись на такі параметри, як: кількість технологічного обладнання, кількість різних типів модулів ГВС, характеристики обладнання, характеристики продукції, виробниче панування підприємства, можна зробити вибір методу оптимізації, що найліпше підходить для конкретної системи.

Такий стан методів оптимізації ГВС можна водночас описати як недостатньо вивчений для шаблонного використання та вивчений достатньо, аби на основі мінімально універсальних моделей створювати найбільш підходящі, з використанням модифікацій.

1.3 Основні моделі оптимізації автоматизованої системи обробки

Як відомо, вивчення довільної реальної системи здійснюється на побудованій моделі, яка представляє собою спрощену початкову систему, що водночас зберігає її істотні риси. Існує два види моделей оптимізації: аналітичні та імітаційні.

Аналітичні моделі характеризуються тим, що процеси функціонування системи зображуються у вигляді функціональних співвідношень, що поєднують ті або інші характеристики системи. У випадках, коли аналіз системи з допомогою аналітичної моделі призводить до одержання явних залежностей, які зв'язують деякі параметри системи, або зведення рівнянь до вигляду, для котрого розв'язки відомі, або оцінки граничних значень, розв'язання задачі аналізу можна вважати найповнішим. Явне розв'язання задачі аналізу системи на основі аналітичної моделі вдається одержати лише для достатньо простих систем. З ускладненням системи ускладнюються і співвідношення, що складають математичну модель. Однак, під час дослідження складних систем науковці все ж намагаються побудувати аналітичну модель для одержання розв'язку в явному виді. Шлях до аналітичної моделі лежить через умисний відступ від первинної моделі та її спрощення. Даний підхід дає змогу відносно легко отримати хоч і грубі, дещо наближені, але цілком прийнятні для оцінювання результати, що згодом можуть бути уточнені за допомогою інших методів.

У випадку, коли аналітична модель через складність не дає змогу отримати розв'язок у явному вигляді, є можливість перейти до застосування чисельних методів. Потрібно зазначити, що зміст роботи під час чисельного дослідження системи лишається в основному таким самим, що і у разі пошуку явного розв'язку, так як в обох випадках основою аналізу є аналітична модель системи.

Однак, деяка різниця полягає в тому, що розв'язок систем рівнянь або нерівностей робиться наближено – за допомогою різних програмних методів. Так, чисельні методи дають змогу розширити коло завдань аналізу систем. Але і вони часто виявляються недостатніми під час аналізу дуже складних систем. Окрім того, іноді, математична модель являє собою співвідношення, що описують процес роботи системи у часі, при тому, що переписати ці співвідношення в систему рівнянь, що

поєднують параметри системи, надзвичайно важко. В цьому випадку використовують імітаційні моделі.

Суть імітаційного моделювання полягає в тому, що за допомогою спеціального алгоритму моделюється сам процес функціонування системи. Так, наприклад, можна написати програму, що імітуватиме процес. Вводячи визначені вхідні дані, можна дізнаватись відповідну реакцію системи на них. Отже, імітаційне моделювання можна поставити поруч з натурним експериментом, однак, в цей час немає такої необхідності будувати саму систему або її фізичну модель, адже для процесу імітаційного моделювання створюється деякий моделюючий алгоритм [30].

Як вже було зазначено, при виборі моделі для оптимізації потрібно враховувати всі важливі особливості, однак, моделі, що в основному використовуються можна визначити як:

- моделі лінійного математичного програмування: методи цілочисельного програмування;
- моделі систем масового обслуговування;
- мережеві моделі, що представляють виробничу систему у вигляді графів;
- моделі класичної оптимізації;
- статистичні моделі;
- структурно-логічні моделі тощо.

Моделі, отримані шляхом лінійного математичного програмування мають обмежуватись у розв'язанні задачі та використовувати залежності, що характеризуватимуть параметри системи. Методи цілочисельного програмування застосовуються у випадку, коли змінні приймають цілі значення. Предметом математичного програмування є способи математичного моделювання оптимізаційних задач, визначення необхідних і достатніх умов наявності екстремумів(оптимумів), розробка і дослідження методів визначення оптимальних рішень, що обминають пошук екстремальних рішень прямим перебором. Окрім визначення «математичне програмування» також використовують визначення «математична модель оптимізації» або «математична модель знаходження екстремуму». Ряд змінних $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$, що задовольняє обмеженням G , є

планом задачі математичного програмування. Система обмежень має бути сумісною, щоб множина планів не була порожньою множиною. Множина планів буває обмежена та не обмежена. План, який дає критеріям ефективності оптимальне значення зветься оптимальним, однак оптимальний розв'язок може бути не єдиним [31].

В загальному випадку задача лінійного програмування виглядає так (1.1):

$$W = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n = \sum_{j=1}^n c_jx_j \rightarrow \max(\min). \quad (1.1)$$

За умови врахування наступних обмежень (1.2):

$$a_{i1}x_1 + \dots + a_{in}x_n = \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i \quad (i = \overline{1, k}), \quad (1.2)$$

$$a_{i1}x_1 + \dots + a_{in}x_n = \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j = b_i \quad (i = \overline{k+1, m}),$$

$$x_j \geq 0 \quad (j = \overline{1, n}).$$

До методів розв'язання задач лінійного програмування відносяться алгебраїчний та геометричний (рис. 1.5).

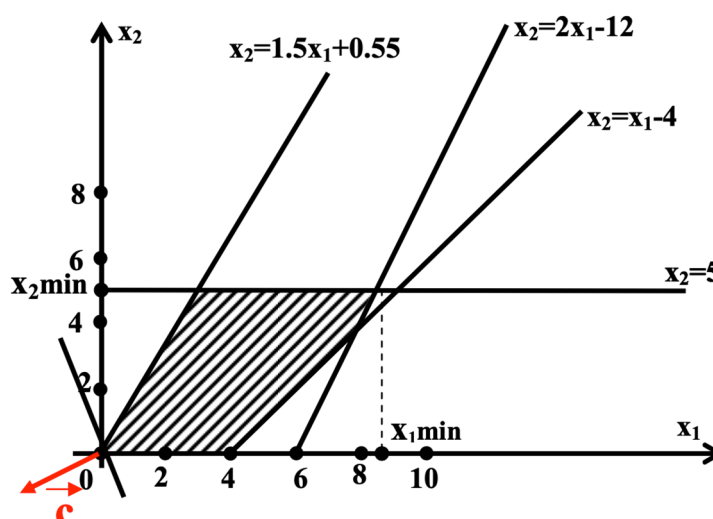


Рисунок 1.5 – Приклад знаходження області допустимих розв'язків задачі лінійного програмування геометричним методом [31].

Системи масового обслуговування можуть бути застосовані лише до потоків робіт з довільною кількістю та часом проходження, адже побудовані на основі теорії ймовірностей. Багато оптимізаційних завдань пов'язані з системами масового обслуговування (СМО) – системами, в яких, з одного боку, виникають масові запити на виконання деяких завдань, а з іншого – відбувається здійснення цих запитів (рис. 1.6).

СМО включають в себе: джерело вимог, вхідний потік вимог, чергу, обслуговуючі прилади – канали обслуговування, вихідний потік вимог. Заявки (вимоги) на обслуговування надходять через постійні або випадкові проміжки часу. Прилади (канали) обслуговують ці заявки. Обслуговування здійснюється деякий час, він може бути постійним або випадковим. Якщо в момент надходження заявки всі канали зайняті, то заявка розміщується в комірку буферу і очікує там початку її обслуговування. Заявки, що локалізуються в буфері, створюють чергу на обслуговування.

У випадку, коли всі комірки буферу вже зайняті, заявка одержує відмову в обслуговуванні і відміняється. Імовірність втрати заявки (імовірність відмови) – це одна із базових характеристик СМО. Серед інших характеристик: середній час очікування на обслуговування, середня довжина черги, коефіцієнт завантаження приладу (частка часу, на протязі якого прилад зайнятий обслуговуванням) і т.д.

Залежно від об'ємів буферу СМО поділяють на системи з відмовами, де немає буферу, СМО з очікуванням, де буфер не обмежений (як, наприклад, черга через людей в поштову відділення на вулиці) і СМО змішаного типу, де буфер має визначене кінцеве число заявок. В СМО з відмовами не існує черги, а в СМО з очікуванням немає втрат заявок, в СМО змішаного типу можливо і те і інше [32].

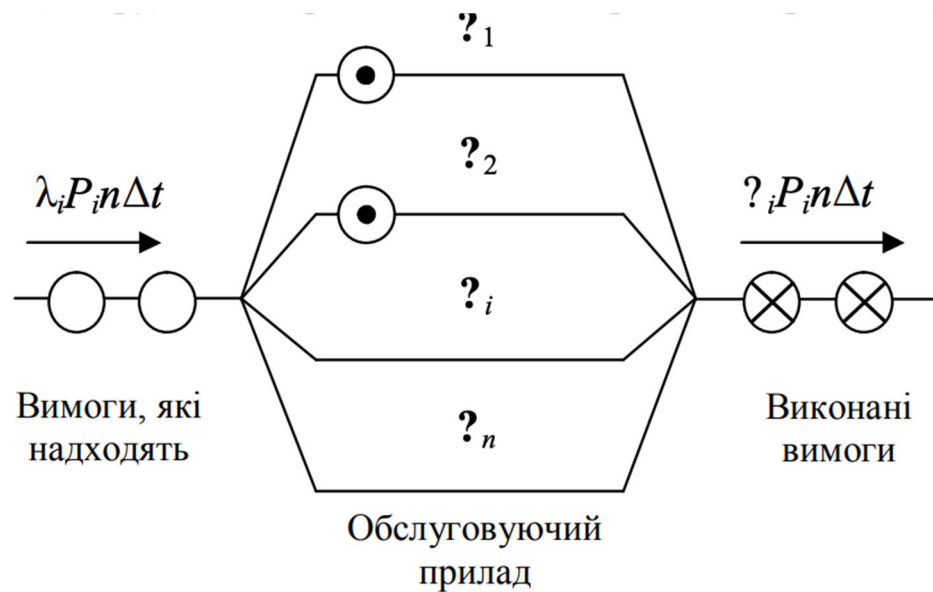
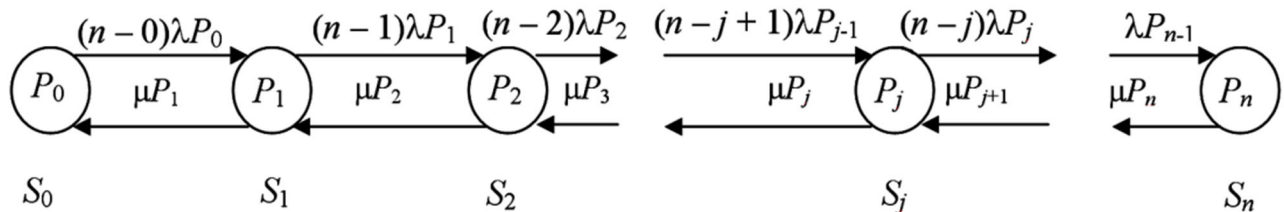


Рисунок 1.6 – Модель n-канальної СМО [32].

Оскільки СМО побудовані на засадах теорії ймовірності, то головними задачами при їхній оптимізації є розрахунок ймовірності станів системи. На рис. 1.7 зображено граф, що описує стани системи $S_0 - S_n$.

Рисунок 1.7 – Граф станів СМО $S_0 - S_n$ [32].

Мережеві моделі досить точно та наочно зображують вхідні та вихідні дані системи (рис. 1.8). Методи мережевого моделювання використовують у плануванні комплексних робіт, як наприклад, виконанні науково-дослідних робіт, підготовці до виробництва нових видів продукції, ремонті виробничого обладнання тощо. Поруч з лінійними графіками та таблицями, мережеві моделі отримали широке застосування у плануванні та розробці планів створення нетривіальних виробничих систем або будь-яких інших технологічних об'єктів.

В тих випадках, коли є однозначне трактування характеристик операцій, мережеві моделі є детермінованими. Якщо параметри операцій являються випадковими величинами, то такі моделі є імовірнісними. Мережеві моделі також поділяються на одно- та багатомережеві, в залежності від кількості технологічно незалежних операцій, що беруть участь у процесі. При математичному аналізі мережевих моделей можна аналізувати такі параметри: час виконання комбінації операцій, вартість виконання операцій, кількість потрібних ресурсів. Аналіз графів базується на визначенні певних характеристик, що виходять із заданих параметрів, використаних у цій моделі. Результати аналізу графів дають можливість зробити висновки щодо відповідності визначеного плану застосування операцій визначним вимогам і, за потреби, зумовлюють зміни цього плану. В мережевих моделях важливим є визначення «критичного шляху», що складається з дуг, які поєднують події з нульовим резервом часу. Кожен граф має як мінімум один критичний шлях, що визначає мінімальний шлях по дугам, тобто мінімальний час або ресурс на виконання операцій. Зменшення часу виконання блоку операцій, що мають місце на критичному шляху, надають змогу зменшити тривалість виконання всього комплексу операцій [34].

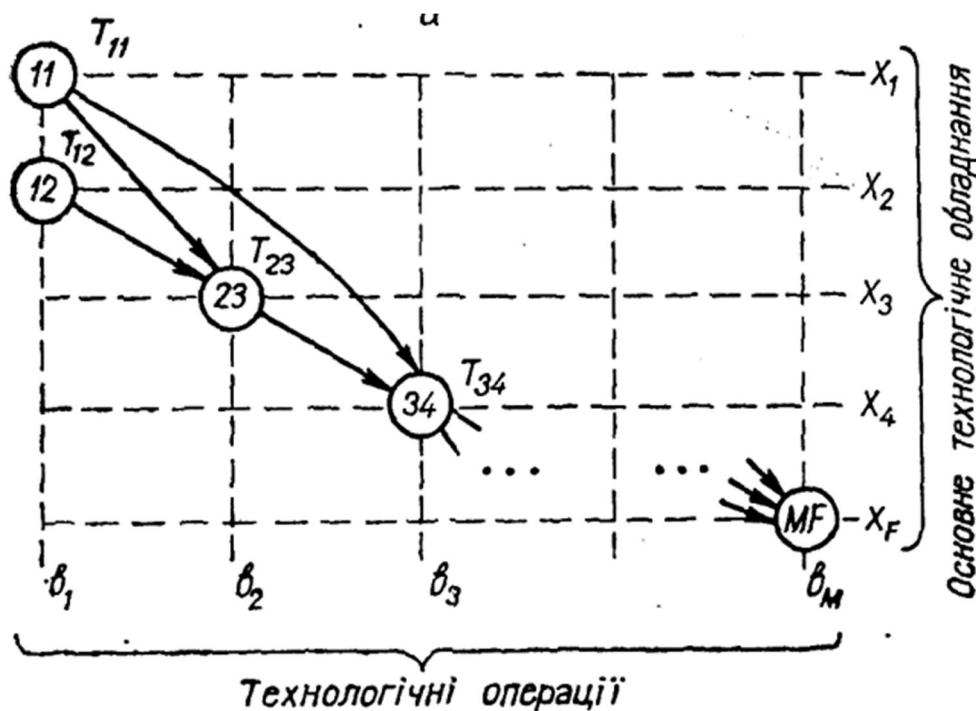


Рисунок 1.8 – Умовний орієнтований сітьовий граф, що інтерпретує узагальнений маршрут деталей на ГАД [33].

Методи класичного моделювання є найбільш вивченими, але в прикладному сенсі з їх використанням важко задати потрібні обмеження та отримати адекватну цільову функцію. Методи класичної математики (моделювання) ще називають аналітичними. Вони включають інтегроване та диференціальне числення, пошук екстремумів функцій, варіаційне числення тощо.

Статистичні методи найкраще застосовувати для емпіричних задач, де велика кількість експериментів не буде проблемою. Створення математичних моделей за статистичними (експериментальними) даними їх обчислення – це один з поширених підходів до прогнозування динаміки фінансових, технічних та інших процесів. Прикладом предмету статистичного моделювання можуть бути такі задачі: прогнозування об'ємів виробництва та зберігання продукції на складах, порівняльний аналіз декількох альтернативних економічних стратегій, формування бюджетів підприємств тощо. Окрім того, потрібно зазначити, що неможливо створити систему автоматичного керування будь-яким об'єктом без розв'язання задачі короткострокового прогнозування. Диференціальне, різницеве чи інше рівняння, що буде використовуватися для описання динаміки технологічного процесу чи об'єкта виробництва описує статистичну модель. Як приклад, стохастичне різницеве рівняння другого порядку для статистичного моделювання буде виглядати так [35]:

$$y(k) = a_0 + a_1 y(k-1) + a_2 y(k-2) + \varepsilon(k), \quad (1.3)$$

де $y(k)$ – основна (залежна змінна);

a_0, a_1, a_2 – параметри (коефіцієнти) моделі;

$\varepsilon(k)$ – випадкова змінна.

Структурно-логічний метод є одним з математичних методів оптимізації. Задача структурного-логічного моделювання технологічної системи та оптимізації її параметрів базується на тому, щоб проаналізувати математичний апарат, що зможе якісно описувати структуру виробничої системи і надати можливість алгоритмізувати процес розрахунку найважливіших параметрів системи, що досліджується. Перевагами такого методу можна назвати: застосування нескінченнозначної логіки

(НЛ) і логічних визначників (ЛВ). Представлення системи та її параметрів як структури виконується через параметри підсистем з використанням НЛ і ЛВ. Використання НЛ в методі є одним із засобів опису детермінованих систем.

Структурно-логічний метод не можна назвати складним з боку представлення системи та розрахунку її параметрів. Метод достатньо просто піддається формалізації. Основною перевагою такого методу є можливість для моделювання систем з різними типами структур, такими як: послідовної, паралельної, паралельно-послідовної та послідовно-паралельної. Даний метод базується на зображенні виробничої системи як множини технологічних операцій та виробничого обладнання, що є суттєвою для формалізації виробничого процесу [36]. В таблиці 1.2 наведено варіант запису початкових даних для структурно-логічного методу моделювання, які в процесі моделювання будуть записуватись у вигляді матриць та трансформуватись.

Таблиця 1.2 – Початкові дані для розв’язання задачі оптимізації

i	j				
	1	2	3	4	5
1	1	5	2	2	8
2	2	3	3	4	1
3	4	2	3	4	7
4	6	2	2	5	4

1.4 Основні принципи логістичної оптимізації виконання технологічних процесів на сучасних підприємствах

Існують деякі прийоми для оптимізації виробництва шляхом реалізації логістичного підходу на виробництві для вирішення завдання організації оптимальних матеріальних потоків, які пролягають крізь виробничі ланки підприємства. Накопичений досвід логістичної оптимізації дозволяє виділити такі прийоми як:

- вибір технології виробництва;

- раціональне розміщення виробничого устаткування на дільниці;
- компоновка дільниць (робочих центрів) в цеху;
- керування послідовністю виконання робіт у виробничих ланках (робочих центрах) на основі використання правил пріоритетів.

Технологія виробництва будь-якого виробу на підприємстві характеризується технологічними процесами, які, в залежності від ступеня уніфікації, поділяються на одиничні, типові й групові.

Вид технологічного процесу передбачає наступне:

- різні схеми подачі матеріальних потоків на виробничі дільниці – матеріалів, заготовок, напівфабрикатів, комплектуючих;
- різні схеми розміщення виробничого обладнання;
- різні схеми розміщення дільниць виробничого цеху.

Однією з технологій виробництва, що широко застосовуються є маршрутна. Характерним для цієї технології є зберігання партії деталей на складі відбувається упродовж всього виробничого циклу, тому що кожна деталь потребує проходження одного й того ж технологічного процесу (рис. 1.9).

Крім того, маршрутна технологія має низку переваг з боку логістики на виробництві:

- мінімізується безсистемне захащення цехів деталями;
- спрощується облік виробничого фонду;
- покращується планування і диспетчеризація робіт.

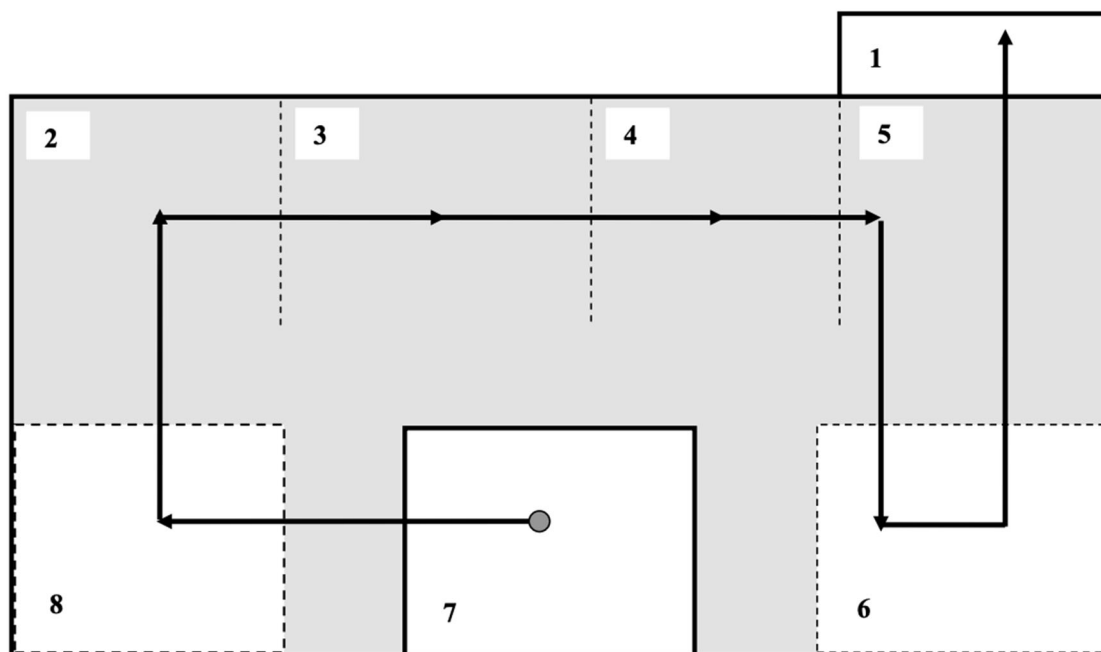


Рисунок 1.9 – Схема руху деталей при використанні маршрутної технології:

1 – контроль готової продукції відділом технічного контролю; 2 – слюсарна ділянка; 3 – ділянка виконання токарних робіт; 4 – ділянка виконання фрезерних операцій; 5 – ділянка виконання шліфувальних робіт; 6 – гальванічний цех; 7 – склад деталей; 8 – цех виконання зварювальних робіт.

Для оптимального використання матеріальних потоків у межах ділянки виробництва потрібно враховувати послідовність виконання робіт (операцій). Під «порядком» розуміють послідовність, в якій операції мають бути обов'язково виконані в кожній виробничій ділянці виробничої системи. За встановлення раціональної послідовності відповідають правила пріоритетів.

Правила пріоритетів знаходять застосування в складних потоках дискретних виробничих систем. Правила пріоритетів дають можливість мінімізувати середній час протікання процесу, середній час завершення виготовлення виробу та середній час пролежування (очікування).

Найбільш часто використовуються наступні правила пріоритетів є:

- «першим прийшов – першим обслуговуєшся» (FCFS): перша робота, що прибуває в робочий центр, виконується першою;

- «рання за датою виконання» (EDD): робота з більш ранньою датою завершення приймається до виконання першою;
- «правило найкоротшої операції» (SPT): найкоротша за часом (по трудомісткості) виконання робота виконується першою;
- «найбільш тривалий час виконання» (LPT): найбільш тривалі за часом (по трудомісткості) виконання роботи виконуються першими.

Говорячи про схеми розміщення робочого обладнання можна виділити декілька основних схем, що дають можливість оптимізувати виробництво:

- «пташина клітка» – є найпростішою формою, при якій один універсальний робітник обслуговує декілька однакових верстатів;
- лінійне розміщення – вимагає малого числа робітників в цеху (рис. 1.10);
- U-образне розташування – вхід і вихід матеріального потоку розташовані поряд один з одним в одному місці цеху;
- схема «зірка» – в центрі розташовується зона проміжного зберігання, а верстати по периферії від неї [38].

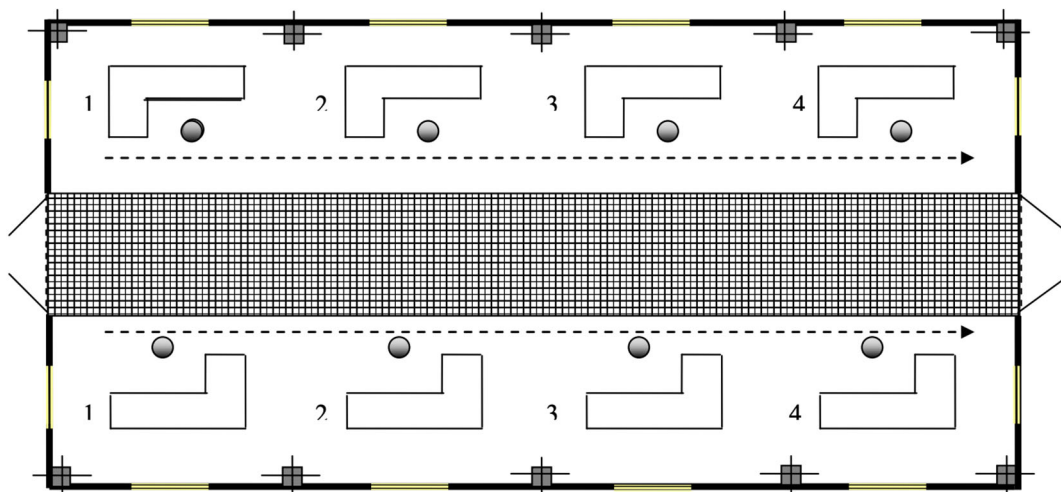


Рисунок 1.10 – Лінійне розміщення устаткування в цеху [38]

1.5 Вибір напрямку наукового дослідження

Проаналізувавши предметну область, основні методи та моделі оптимізації виробництва, можна визначити напрям подальшого наукового дослідження в рамках цієї дисертації.

Тема наукового дослідження було сформована у процесі аналізу наукової літератури та ситуації у галузі виробництва, а саме приладобудування, як актуальна майже весь час проблема оптимізації виробництва. Однак, сьогодні оптимізація виробництва може бути розглянута під іншим кутом. Через воєнні дії на території України велика кількість підприємств зупинила або обмежила свою діяльність. В таких умовах критично важливим питанням є ощадливе та ефективне використання наявного (вцілілого, збереженого) обладнання, максимальна оптимізація роботи підприємства задля забезпечення виконання незавершених замовлень, максимально можливе на даний час функціонування виробництва для підтримки економіки держави, використання наявних технологічних ресурсів – без додаткових витрат з боку підприємства.

Цілями та задачами наукового дослідження будемо вважати наступні:

- дослідження системи, що має бути оптимізована;
- дослідження, порівняльний аналіз та вибір методу оптимізації виробництва;
- дослідження, порівняльний аналіз та вибір математичної для моделі оптимізації виробництва;
- вибір параметрів виробничої системи, що мають бути оптимізовані;
- визначення функції оптимізації;
- вибір чисельних методів для обчислення моделі;
- перевірка обчислень;
- проведення експериментів на моделі;
- створення програмного забезпечення для автоматизації процесу;
- техніко-економічне обґрунтування рішення;
- формулювання висновків.

Отже, перш за все напрям наукового дослідження характеризується визначенням комплексної проблеми, що має бути вирішена [40]. В даному випадку цією проблемою є недостатня ефективність функціонування підприємства або його частини (цеху, дільниці і т.д.), що буде оптимізована обраним способом (методом) після порівняльного аналізу декількох доступних.

Проблемою, що входить в наукове дослідження можна назвати недоліки існуючих популярних методів оптимізації: висока вартість, недостатня ефективність, складність впровадження, потреба в додаткових ресурсах тощо. Таким чином, одним із етапів наукового дослідження є порівняльний аналіз з існуючими рішеннями, що буде представлений у четвертому розділі роботи. Очевидно, що в рамках наукового дослідження має бути знайдена та описана перевага саме методу, що розробляється. Це надасть обґрунтоване вирішення описаної проблеми.

Наукові питання складають ще одну частину наукового дослідження. Вони будуть стосуватись методів, моделей, чисельних методів, параметрів виробничої системи, що буде моделюватись та ін. Наукові питання не можуть бути повністю визначені на самому початку дослідження, а будуть виникати в залежності від інформації, яка опрацьовується.

Однією із важливих складових наукового дослідження є техніко-економічне обґрунтування наукового дослідження, а саме ефективного рішення для вирішення проблеми. Тільки економічно ефективне рішення може вважатись закінченим науковим дослідженням. Дане обґрунтування буде наведене у четвертому розділі дисертації.

Висновки до розділу 1

Провівши аналіз предметної області, методів та моделей оптимізації, можна зробити наступні висновки:

1. Незважаючи на те, що гнучкі виробничі системи є досить новою технологією та почали впроваджуватись декілька десятиліть тому, вони потребують оптимізації, що дозволить більш ефективно використовувати наявні виробничі ресурси без додаткових інвестицій в зміну або збільшення кількості обладнання.
2. Сучасні ГВС досить широко застосовуються у приладобудуванні, тому вибір виробничої системи механічної обробки деталей є обґрунтованим та потрібним в прикладному сенсі.
3. ГВС наразі мають широке застосування, однак через складність системи, оптимізація процесу керування ГВС не є досить вивченою темою.
4. Сучасні верстати для механічної обробки деталей мають майже всі потрібні характеристики, для їхнього застосування у ГВС: гнучкість, швидке переналагодження, простота обслуговування, автоматизованість.
5. Для правильного вибору методу оптимізації системи потрібно враховувати її основні характеристики, що дасть змогу в майбутньому побудувати адекватну модель.
6. Наразі не існує універсальної моделі для оптимізації виробництва, однак найбільш популярні моделі можна поділити на декілька видів та, враховуючи особливості застосування кожної з них, обрати найбільш підходящу модель для системи, що вивчається та автоматизується в даний момент.
7. Для створення успішного рішення підвищення ефективності керування автоматизованим процесом обробки деталей потрібно провести низку наукових досліджень, задля створення повної наукової бази стосовно роботи ГВС механічної обробки деталей та методів математичного моделювання оптимізації керування ними.

РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

2.1 Формулювання задачі математичного моделювання цільової функції

Будь-яка реальна система може бути визначена як сукупність взаємодіючих або взаємозалежних об'єктів, що разом утворюють єдиний організм. Динамічні системи, тобто то, що змінюються, описують зміну систем у часі. Динамічна система має визначений стан у кожному моменті часу. Кожен стан відповідає заданому правилу еволюції, що визначає, які потенційні стани можуть виникати з поточного або нульового стану.

Системи природних явищ, технічні та економічні часто утворюються із числа дискретних підсистем, що володіють власними наборами внутрішніх сил. Тому, щоб уникнути проблем, пов'язаних з великою складністю, система має бути максимально спрощена для дослідження.

Під час наукової, дослідницької, інженерної, або іншої роботи, спеціалісти часто стикаються з потребою у вирішенні різного роду задач, які досить часто помітно ускладнюються неважливими та непотрібними у даній ситуації даними. В таких випадках створюються математичні моделі та проводиться процес моделювання. Саме динамічні системи можуть бути змодельовані різними способами. Найчастіше, такі системи зображають як неперервні звичайні диференціальні рівняння.

Модель – це спрощена копія об'єкту, процесу або явища, що використовується для заміщення оригіналу в дослідних системах. Основна вимога до моделі – описувати головні особливості об'єкту оригіналу та не включати в себе другорядні неважливі деталі. Будь-яка модель побудована для досягнення конкретної цілі, що, як правило, чітко визначена на самому початку процесу моделювання, зазвичай це: збільшення прибутку, зменшення використання ресурсів, оптимізація роботи тощо.

Моделювання – це процес побудови та дослідження моделей. Існує багато різних типів моделювання, тому єдиної класифікації не існує через широту самого

поняття «моделі» у різних сферах людського життя: науці, виробництві, економіці, політиці, техніці, біології тощо. Найбільш відомим видом моделювання, що широко та часто застосовується на практиці, є математичне моделювання [26].

Деталізація складних систем потребує особливої «мови» для точного опису характеристик та особливостей системи. Математичні моделі доволі добре підходять для опису різного роду систем. Математичне моделювання дає змогу досліджувати систему за допомогою її математичної моделі, що була побудована на основі математичної концепції функцій та рівнянь [27].

Процес побудови математичної моделі включає в себе переміщення реальної системи у абстрактну площину математичних концепцій, у якій була створена дана модель. Згодом йде процес відбувається вивчення, дослідження різних впливів на модель з використанням математичної техніки та комп'ютерних обчислень. Як результат, підходяще математичне вирішення проблеми адаптується та застосовується до реальної системи. Важливим є те, що математичне моделювання було винайдене як інструмент вирішення проблем. Тому, суть не в тому, щоб побудувати модель, яка імітує систему, лише заради наявності математичної моделі. Остання має вирішувати поставлені задачі.

У виробничих і технологічних процесах у різних галузях діяльності людини та господарства постановки задач, що потрібно вирішити, часто подібні між собою та мають деякі спільні ознаки, отже й розв'язуються схожими методами. Одна з типових постановок задач саме оптимізаційного моделювання може звучати так: заданий процес може розвиватися за деякими варіантами, кожен з них характеризується своїми перевагами та недоліками. До того ж, часто, таких варіантів може бути безкінечна кількість. Отже, потрібно обрати оптимальний за деякими параметрами варіант із усіх можливих.

Для пошуку оптимального виробничого рішення, користуються спеціальними оптимізаційними моделями для розв'язання подібних задач, тобто це є процес оптимізаційного моделювання. Задача пошук оптимального плану є досить складною і відноситься до екстремальних задач, тобто тих, де потрібно визначити екстремум (максимум або мінімум) функції за заданими обмеженнями [28].

Нехай F - визначена ціль оптимізації. Здебільшого, описуючи систему математичною мовою, вдається описати залежність між величиною F , що відображає ступінь досягнення цілі, та вхідними змінними і параметрами системи (2.1):

$$F = f(x_1, x_2, \dots, x_n; y_1, y_2, \dots, y_m; c_1, c_2, \dots, c_k). \quad (2.1)$$

Загальне формулювання задачі оптимізаційного моделювання звучить так: знайти такі значення керованих змінних, щоб цільова функція набувала екстремального (максимального чи мінімального значення) [28].

В математичній конфігурації це виглядає так (2.2):

$$\max(\min)F^* = f(x_1, x_2, \dots, x_j; y_1, y_2, \dots, y_r; c_1, c_2, \dots, c_k). \quad (2.2)$$

Можливості вибору оптимального рішення завжди обмежені деякими умовами, параметрами, характеристиками виробничо-економічної системи тощо.

Визначення обмежень можна представити у вигляді математичного запису (2.3):

$$q_i(x_1, x_2, \dots, x_j; y_1, y_2, \dots, y_r; c_1, c_2, \dots, c_k) \{\leq, =, \geq\} 0; \quad (2.3)$$

$$(i = 1, 2, \dots, S).$$

Окрім правильного вибору моделі та вирішення задачі знаходження екстремуму, важливим завданням є чітка постановка мети моделювання та задання обмежень і їх формалізація, адже від цього наряду залежить якість отриманого рішення.

Прикладом постановки задачі оптимізації для виробничої системи може бути наступне формулювання.

Задача вибору оптимального плану виробництва: для заданої виробничої системи (цеху, підприємства, галузі) необхідно окреслити план випуску кожного (деякого) виду продукції підприємства, з дотриманням умови найоптимальнішого шляху використання наявних ресурсів. Виробництво включає наступний визначений ряд ресурсів: сировина, людський ресурс, технічне обладнання тощо. Відомі запаси

ресурсів, визначені норми витрат кожного ресурсу та прибуток з реалізованої продукції. Також, необхідно задати обмеження на обсяг асортименту продукції та введення додаткових ресурсів до наявних. Критеріями оптимальності є: максимум прибутку для підприємства, максимум виробленої товарної продукції, мінімум витрат наявних ресурсів.

Математичне моделювання ГВС має на меті розробку моделей, що дасть змогу формалізувати процес установки складу і взаємного розміщення всіх структурних елементів гнучких виробничих систем таким чином, щоб реалізувались наступні принципи проєктування [3.1]:

- принцип мінімуму витрат на комплектацію та експлуатацію обладнання, що складає ГВС;
- принцип максимального завантаження всіх структурних одиниць ГВС (верстатів, ПР, АТСС тощо);
- принцип забезпечення найбільшої зручності обслуговування ГВМ або робототехнічних комплексів, що складають ГВС, з дотриманням норм безпечної експлуатації названих об'єктів виробництва;
- принцип інваріантності, що базується на виборі структури ГВС, на якій здійснюється обробка широкої номенклатури деталей з найменшими переналаштуваннями обладнання.

Говорячи саме про задачу оптимізації функціонування автоматизованої системи обробки деталей, враховуючи специфічні характеристики та параметри такої системи, наявні ресурси та необхідні обмеження, її можна сформулювати наступним чином: для заданої гнучкої виробничої ділянки потрібно знайти такий план використання виробничого та транспортного устаткування, щоб максимально скоротити кількість виробничого часу (робочих змін) та найбільш ефективно використати наявне обладнання або ж навіть скоротити його кількість.

Маючи за мету оптимізацію процесу керування ГВС, потрібно детально проаналізувати з яких частин вона складається.

Гнучка автоматизована ділянка механічної обробки деталей є гнучкою автоматизованою системою, що складається з технологічного, транспортно-

перевантажувального та складського обладнання, що управляється автоматизованою системою керування. Така система раціонально пристосована для виробництва деталей дрібними та середніми серіями при двозмінній роботі та мінімальній кількості робочого персоналу.

Передумовами для створення такої системи були визначені наступним шляхом:

- створення автоматизованої виробничої системи з можливістю до адаптації до швидкозмінних умов виготовлення деталей;
- забезпечення повної і кінцевої обробки всіх поверхонь деталей в межах однієї чи двох технологічних операцій;
- розробка уніфікованого засобу для транспортування заготовок, деталей і оснащення в межах дільниці;
- створення автоматизованої системи взаємодії транспортно-завантажувальної та складської систем;
- створення уніфікованої системи керування технологічним обладнанням;
- розробка автоматизованої системи оперативно-диспетчерського керування дільницею.

Специфіка компоновки ГАД забезпечила можливість розширення виробництва в автоматизованому режимі при деякому об'ємі доробок (включення в систему додаткового технологічного устаткування). Структура ГАД, також, забезпечила можливість ремонту і налаштування окремих одиниць технологічного обладнання без зупинки процесу виробництва.

В склад ГАД в першу чергу входить відділ механічної обробки, що виконує такі функції:

- токарна обробка деталей в автоматизованому режимі;
- підналадка різального інструменту по мірі його зношення;
- автоматична зупинка токарного обладнання при поломці різального інструменту або закінчення періоду його стійкості;
- подавання в робочу зону децентралізованого приверстатного накопичувача (ПН), схвату промислового робота, накопичування і усунення з ПН касет з деталями;

- автоматична установка деталей у патрон токарного верстата, їх зняття та повернення у зону подачі;
- автоматична переустановка деталей;
- транспортування та зберігання в зоні децентралізованого накопичувача змінного метолорізального інструменту;
- періодичне позбавлення від відходів – стружки, уламків інструменту тощо;
- здійснення технічного контролю на робочому місці, переналадка та наладка верстатів і промислових роботів.

Окрім верстатів механічної обробки, в склад ГАД входить також автоматизована транспортно-складська система (АТСС). Вона призначена для прийому, видачі і накопичення двозмінного запасу заготовок, напівфабрикатів, готових деталей, а також ріжучих інструментів і технологічного оснащення. Окрім того, АТСС забезпечує транспортування по команді системи керування вантажів за вказаною «адресою», а також веде облік стану і місця накопичення вантажу.

Однією зі складових ГАД є відділення комплектації заготовок (ВКЗ), він виконує наступні функції:

- приймання та видання вантажів з автоматизованого складу;
- зміна готових деталей на заготовки в касетах;
- пріоретизація заготовок в касетах;
- переналадка операторів касет при запуску нової партії деталей у виробництво;
- вхідний та вихідний контроль заготовок та деталей відповідно.

Відділення інструментального забезпечення (ВІЗ) призначене для отримання, зберігання, видачі ріжучого допоміжного інструменту (розтискні державки, перехідні втулки тощо.), оснащення для кріплення (оправки, різцетримачі, кулачки), пристроїв, комплектації, збірки, контролю та розмірної наладки інструментів поза верстатом, організації обліку руху різальних інструментів та технологічного оснащення.

Відділення управляючого обчислювального комплексу (ВУОК) та технологічної підготовки виробництва призначене для організації керування технологічним процесом обробки деталей у режимі реального часу, забезпечення раціонального використання технологічного обладнання, автоматизації отримання

інформації про поточний стан технологічного процесу, забезпечення інформацією персоналу керування про хід виконання планових завдань, оперативне керування та планування роботи АТСС, основного та допоміжного технологічного обладнання.

Робота ГАД в автоматичного режимі здійснюється як зображено на структурно-технологічній схемі гнучкої автоматизованої дільниці (додаток Б). По команді автоматизованої системи керування робот-штабелер автоматизованого складу знаходить касету, транспортує її на позицію видачі вантажів, звідки касети за допомогою транспортного робота надходять до приверстатного накопичувача (ПН). Касета спочатку перевантажується на верхній ярус ПН, а потім за допомогою ланцюгового захвату переміщується на підйомну позицію модуля позиціонування (МП), опускається до робочого рівня, орієнтується і фіксується із заданою точністю.

Отримавши сигнал від модуля позиціонування про готовність касети, робот-маніпулятор бере заготовку і встановлює її у патрон верстата. Потім здійснюється обробка деталі.

Оброблена деталь повертається роботом-маніпулятором у ту ж позицію в касеті, після чого ПР захоплює наступну деталь і весь наведений цикл повторюється. Водночас з обробкою, АСУ приймає сигнал «накопичувач вільний», у результаті чого до ПН транспортується наступна касета.

Після обробки всіх деталей у касеті, підйомний пристрій МП опускає касету до рівня першого ярусу, звільняє її від затиску і передає накопичувачу, де касета очікує транспортування до наступного верстата або складу.

Робота автоматизованої дільниці проводиться під наглядом одного висококваліфікованого працівника, в обов'язки якого входить: зміна різального інструменту після закінчення періоду його стійкості, переналадку ГВМ на виробництво іншої деталі, втручання у процес виробництва у разі непередбачуваної ситуації.

2.1.1 Моделювання цільової функції оптимізації функціонування автоматизованої системи обробки деталей

Основними технологічними процесами (ТП) у виробництві та обробці деталей можна назвати механічну обробку і складання виробів. На їх частку припадає більше ніж 50% загальної трудомісткості процесу виготовлення. В процесі підготовки виробництва готується ТП виготовлення кожної деталі та ТП складання кожної одиниці, а окрім того, ТП виготовлення заготовок, термічної обробки, фарбування тощо.

Теорія автоматизованого проектування та керування різними технологічними об'єктами (маршрутні та операційні технологічні процеси, режими різання, технологічне оснащення, керуючі програми для устаткувань з ЧПК тощо) активно вивчалась з 60-х років ХХ століття. В основному увага приділялася нормативності методів проектування технологічних завдань, оформлення інформаційної моделі у вигляді технологічної документації. Достатньо значний внесок у розвиток автоматизації технологічної підготовки зробили Р.К. Горанський, А.Р. Ракович, В.Д. Квіток, С.П. Мітрофанов та інші вчені. З появою ЕОМ і технічних засобів роботи з графічною інформацією число завдань з автоматизації значно збільшилось і також стало можливим комбінувати різні етапи технологічної налаштування виробництва шляхом створення об'єднаних систем [29].

Виробничі системи як складні об'єкти характеризуються такими характеристиками:

- багатомірність (великою кількістю досить складних частин);
- ієрархічність будови (найчастіше будь-який ТП можливо зобразити як сукупність низки підсистем, в свою чергу кожна з яких складається з більш простих підсистем);
- багатозв'язність (виражається великою кількістю взаємозв'язаних між собою підсистем на одному та між різними ієрархічними рівнями системи, а також, із середовищем;

- багатокритеріальність (для деякого ряду підсистем є характерним прийняття рішень базуючись на декількох обраних критеріях оптимальності і глобальних критеріях для даної системи);
- керування, розгалужена мережа інформації та інтенсивні її потоки;
- складність функцій, що здійснюються системами та спрямовані на досягнення заданої цілі функціонування.

Одним із критеріїв успішного введення інтегрованих систем проектування є впровадження групової технології, що заснована на використанні технологічного обладнання, планування та організації виробничого процесу на основі принципу технологічної спільності деталей. Якщо виробництво та обробка деталей здійснюється на основі ГВС, то система автоматизованого проектування має, по-перше, забезпечити гнучкість ТП. Під поняттям гнучкості мається на увазі перспектива якомога швидшого переналаштування на нові ТП з врахуванням нових факторів, які описують якість нових деталей для виготовлення: точність, розміри, поверхневий шар тощо, і продуктивність. Створений ТП має оперативно перебудовуватись у разі зміни виробничих вимог випуску виробів.

ТП саме механічної обробки деталей може бути розглянутим як відносно відокремлена ланка виробничого процесу, що, однак, пов'язана з іншими частинами; як функція (процес якісної і кількісної переробки об'єктів виготовлення з кондиції заготовок в стан готових деталей). Як структурна система ТП представляє собою об'єднання взаємоз'язаних рівнів, операцій і переходів. Процеси, які описуються перерахованими вище властивостями, можуть бути розглянуті як системні. Це надає змогу для використання набору засобів кібернетики та системотехніки при опрацюванні методів аналізу ТП.

Використання методів системного аналізу в заданих умовах проектування та оптимізації ТП дає змогу упорядкувати вихідні дані та визначити основні шляхи одержання найбільш оптимальних рішень.

Процес «ручного» проектування та оптимізації технологій механічної обробки деталей визначається низкою дій, на базі яких інженер-технолог робить вибір деяких елементів з наявних масивів технологічних процесів, також, встановлює

відповідності між ними, створюючи відповідні переходи та технологічні операції. Очевидно, що вибір оптимального ТП здійснюється шляхом зіставлення деяких варіантів ТП з введенням так званих «оцінок» на елементи, які його складають.

Рішення будь-якої задачі за допомогою ЕОМ вимагає присутності аналітичних або ж інших типів залежностей, які відображають саме кількісний, а не якісний рівень процесу проєктування. Саме тому для реалізації автоматизації технологічного проєктування та оптимізації, потрібно здійснити формалізацію технології (або ж її частини), отже, здійснити заміну (перетворення) якісних пропозицій математичними формулами. Даний процес, названий «формалізацією», дає можливість для створення універсальних алгоритмів, моделей та програм з вказанням початкових і кінцевих умов, тобто форм і розмірів деталей, характеру та часу виробництва, характеристик обладнання та оснащення, потужностей виробництва, чим, в свою чергу, забезпечується дійове застосування обчислювальної техніки в проєктуванні та оптимізації будь-яких технологічних процесів для виготовлення деталей різних типів та будь-якої складності як, наприклад: корпуси, важелі тощо. Формалізація завдання у математичний вигляд перетворює процес технологічного проєктування та оптимізації з виду припущень і наведення аналогій у вид строгих розрахунків. Водночас, сама форма визначення технологічного процесу та його елементів має змогу бути описана на базі апарату математичної логіки: сам зміст технологічного процесу, що характеризується деякими параметрами об'єктів виробництва, може бути вираженням за допомогою засобів теорії множин, а якісні зв'язки – через кількісні залежності логічних функцій.

Системи, які описують ТП механічної обробки, відрізняються цілісністю взаємозв'язаних елементів, які складають систему, визначеністю структури, що, в свою чергу, дозволяє багаторівневу ієрархію елементів; перспективою взаємодії з іншими системами, що робить дану систему складовою систем більш високого рівня. Під час дослідження такого типу систем потрібно враховувати велике число змінних і обирати такі, що мають найсильніший вплив на систему.

Під час вирішення завдань оптимізації технологічних процесів є необхідність враховувати деякий ряд принципів, на яких базується системний підхід. Такими принципами є наступні:

1. Система, яка складається з оптимальних частин, в загальному випадку не є оптимальною. Отже, система має оптимізуватися загалом як цілісний об'єкт з певним цільовим призначенням.
2. Система має оптимізуватися за деяким кількісним критерієм, який описує в математичній формі ціль оптимізації. Даний критерій, що представляється як функція параметрів, які оптимізуються, є саме цільовою функцією оптимізації.
3. Система оптимізується з певними кількісними обмеженнями на параметри, які оптимізуються. Отже, оптимальність системи практично завжди є відносною, або ж – умовною. Достатньо дещо змінити умови оптимізації, які описуються системою рівностей і нерівностей, для того, щоб змінити оптимальний вид системи, а також і екстремум функції, що досліджується.

2.2 Короткий опис конкурентних процесів в математичному моделюванні

Модель Лотки-Вольтерра описує тип взаємодії між видами «хижак-жертва», при якому взаємодія між популяціями призводить до збільшення чисельності однієї з них (хижаки) та зменшення іншої (жертви) [14].

Однак, перш ніж перейти до детального огляду моделі, слід розібратись у видах конкуренції, що можуть бути описані в математичних моделях різного типу.

Конкурентні процеси є важливою областю досліджень динаміки складних систем. Саме тому дослідження, створення, тестування та застосування математичних моделей є важливою складовою для вивчення конкурентних процесів у різних сферах людського життя [15]. Конкуренція в загальному сенсі може бути описана як суперництво між окремими дійовими суб'єктами системи: видами, людьми, виробництвами тощо, які зацікавлені у досягненні однієї й тієї ж мети. Однак

у тих випадках, коли попит практично необмежений, конкуренція між суб'єктами змінюється на співпрацю. Основні види конкуренції наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Основні види конкуренції

Види-акцептори	Види-продактори		
	Багато	Декілька	Один
Багато	Двостороння поліполія	Олігополія	Монополія
Декілька	Олігопсонія	Двустороння олігополія	Монополія, обмежена олігопсонією
Один	Монопсонія	Монопсонія, обмежена олігополією	Двостороння монополія

Важливим фактом є те, що ідеальних універсальних моделей на даний час не існує, однак, вивчення та застосування наявних необхідне для проведення максимально точного аналізу необхідного сегменту ринку, виробництва тощо, та закладення основ для наступного синтезу інновацій та рішень, що вестимуть до створення кращих та більш універсальних моделей[16].

Бувають випадки, коли складність систем перевищує поріг, до якого можливо застосувати яку-небудь відому вивчену математичну модель. Тому часто можна говорити лише про загальні принципи та вимоги до моделей, що описують складні системи:

- адекватність;
- об'єктивність;
- простота;
- чутливість;
- стійкість;
- універсальність.

Говорячи про математичну модель, потрібно завжди пам'ятати, що модель не може бути повною відповідністю об'єкта дослідження, інакше її складність не дозволить провести якісне дослідження в рамках моделювання. Тому така вимога як об'єктивність визначається наявністю деяких обмежень та основних параметрів досліджуваної системи. Простота моделі потрібна для економії часових ресурсів при дослідженні, а також ця вимога продиктована скінченними обчислювальними можливостями техніки. Чутливість та стійкість являються відображенням об'єктивних характеристик динамічних систем. Універсальність досягається тоді, коли одна і та ж математична модель може бути застосована для різних систем. Таким чином, математична модель побудована правильно, якщо вона відповідає раніше перерахованим вимогам, а також коли її вивчення є набагато менш ресурсозатратним та більш простим, порівнюючи з реальною системою [17].

Математичних моделей, які описують конкурентні процеси існує не так багато, але враховуючи, що більшість моделей – універсальні, є достатній вибір моделей зі своїми особливостями. Потрібно зазначити, що такі моделі не були розроблені для вирішення технічних задач, однак вони можуть застосовуватись (і досить успішно застосовуються наразі) і в технічних галузях.

Однією з таких моделей є модель Лотки-Вольтера. Вона описує тип конкуренції між видами «хижак-жертва», тобто коли взаємодія між популяціями веде до збільшення чисельності однієї з них (хижаки) та зменшення іншої (жертви) [14].

2.3 Класична модель Лотки-Вольтерри

Створення моделі Альфред Лоткою почалося з того, що науковець мав на меті розробку нової області «фізіологічна біологія» та видавав невеликі статті на цю тему. Раймонд Пірл, статистика та біолог, зацікавився цими статтями та допоміг Лотці опублікуватися у відомому американському науковому журналі. У цій статті Лотка дійшов висновку, що кооперація рослин та трав'янистих може призвести до безкінечних циклічних коливань їхніх популяцій [18], [19]. Пізніше ця теорія була розширена до загального випадку «хижак-жертва».

Водночас, до такої ж моделі дійшов інший науковець – Вольтерра: він помітив, що після закінчення Другої Світової війни обсяги рибальства у Адріатичному морі зменшилися, та це призвело до збільшення популяції хижих риб порівняно до тої кількості, яка була до початку війни, та зменшення популяції «жертв» [20][21].

Модель Лотки-Вольтера виглядає наступним чином(2.3):

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = x(a - by) \\ \frac{dy}{dt} = y(-d + cx), \end{cases} \quad (2.3)$$

де: x — чисельність жертв;

y — чисельність хижаків;

a — коефіцієнт розмноження жертв;

b — коефіцієнт смертей жертв від хижаків;

d — коефіцієнт смерті хижаків від голоду;

c — коефіцієнт, що відображає, чи вистачить хижаку їжі на розмноження.

Система (2.3) відображує динаміку популяції хижаків та жертв за умови присутності обох, і разом рівняння складають модель хижака-жертви Лотки-Вольтера.

Якщо ж жертв немає, тобто $x = 0$, то популяція хижаків буде зменшуватись за експонентою, відповідно до моделі Мальтуса (2.4). Та навпаки: якщо популяція хижаків буде відсутньою ($y = 0$), то популяція жертв буде експоненційно зростати за моделлю Мальтуса (2.4).

Модель Мальтуса показує, що чисельність популяції росте по геометричній прогресії, а виробництво (кількість) їжі – по арифметичній. Таким чином в якійсь момент часу популяція по геометричній прогресії обжене можливості виробництва їжі і наступить голод. Модель Мальтуса виглядає так (2.4):

$$\frac{dP}{dt} = aP, \quad (2.4)$$

де: a — коефіцієнт пропорційності (мальтузіанський параметр),

$P(t)$ — чисельність популяції у даний момент часу t .

У моделі Мальтуса коефіцієнт a — константа, яка описує народжуваність та смертність популяції, тобто вона може бути як додатньою, так і від'ємною. Також, досліджувана популяція прямує до нескінченності, так само як параметр часу t зростає до нескінченності.

Модель Мальтуса ще називається експоненційною, так як розв'язання такого дифференційного рівняння виглядає так (2.5):

$$P(t) = P_0 \cdot e^{at}, \quad (2.5)$$

де: $P_0 = P(0)$ — початкова чисельність;

a — темп приросту популяції (мальтузіанський параметр);

t — час.

Графічний вигляд моделі Мальтуса є зображено на рис. 2.1:

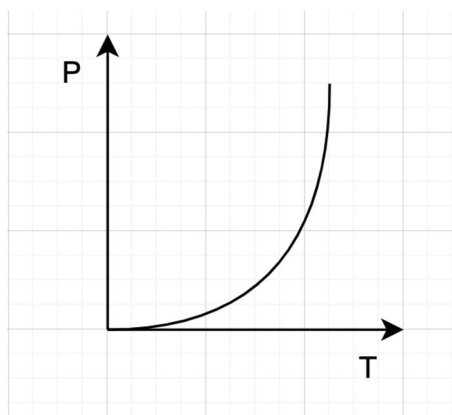


Рисунок 2.1 – Модель Мальтуса

Модель Лоткі-Вольтера прогнозує циклічний зв'язок між популяціями хижаків та жертв, так як зі збільшенням кількості хижаків, росте і рівень споживання жертв, що в свою чергу посилює збільшення числа хижаків. Однак, підвищення рівня споживання викликає очевидні наслідки – зменшення популяції здобичі, що веде до зменшення кількості хижаків. У міру зменшення популяції хижаків, кількість жертв буде відновлюватися. Після цього, кількість хижаків може почати збільшуватися, і цикл починається знову.

Для наочності, на рис. 2.2 та 2.3 наведено графічне представлення циклічних взаємозв'язків між довільними популяціями передбаченими моделлю Лотки-Вольтера [22].

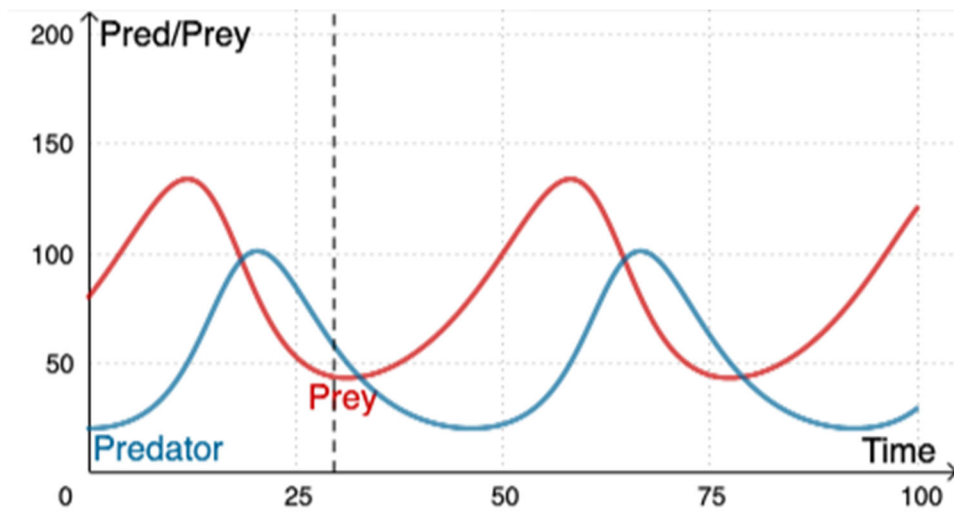


Рисунок 2.2 – Модель Лотки-Вольтера – залежність числа популяцій у часі [22]

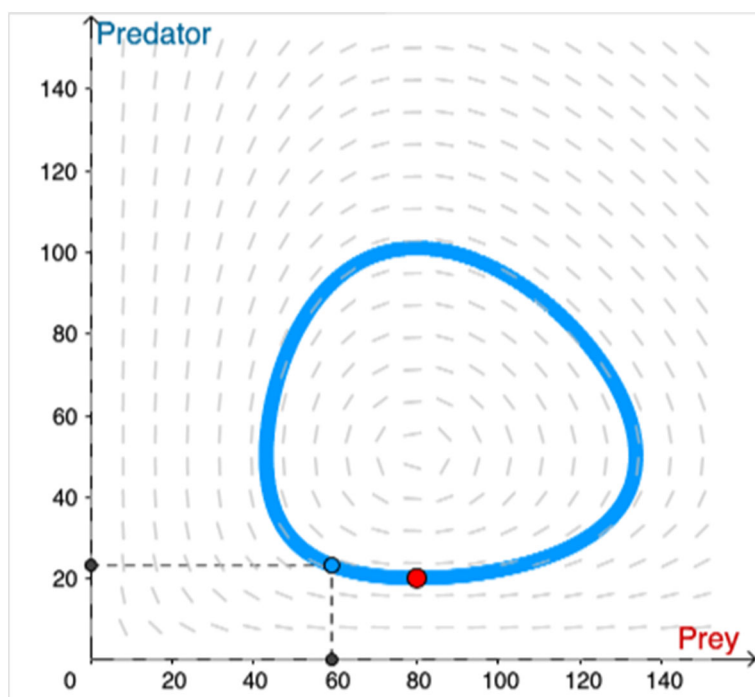


Рисунок 2.3 – Модель Лотки-Вольтера – циклічність відношення жертв та хижаків [22]

Проаналізуємо нелінійну систему рівнянь (2.3). Спершу розглянемо стаціонарні, тобто незалежні від часу стани системи. Якщо чисельність популяції постійна, то її похідна по часу дорівнюватиме нулю (2.6):

$$\begin{cases} 0 = x(a - by) \\ 0 = y(-d + cx), \end{cases} \quad (2.6)$$

звідки:

$$x_1 = 0, y_1 = 0, x_2 = \frac{d}{c}, y_2 = \frac{a}{b}. \quad (2.7)$$

Доведено, що початок координат не є екстремумом функції, тобто є точкою мінімакса. Фазові траєкторії в локалізації цієї особливої точки ведуть себе як гіперболи та напрямлені проти часової стрілки (рис. 2.4) [23], [25].

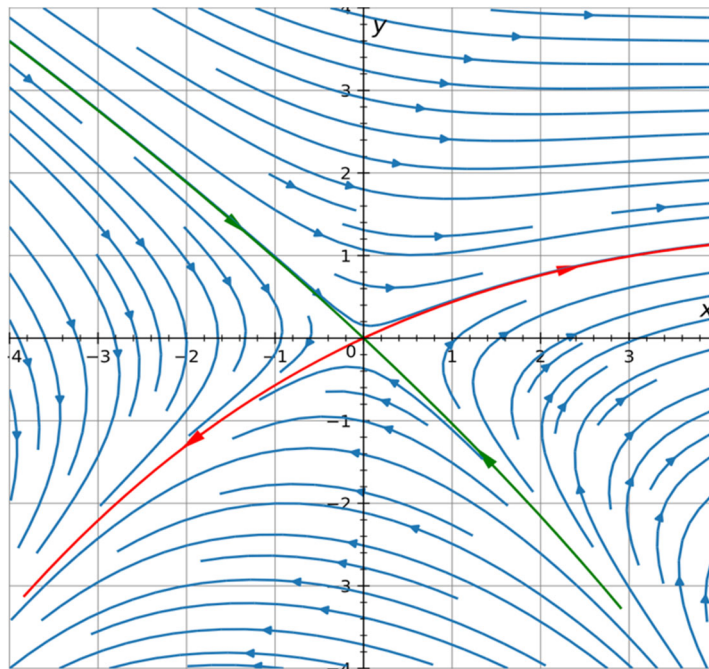


Рисунок 2.4 – Фазові траєкторії в локалізації сідлової точки

Розглянемо особливу точку (x_2, y_2) . Тоді характеристичне рівняння системи (2.8) в локалізації точки має корені $\lambda = \pm\sqrt{ax}$.

$$\begin{vmatrix} -\lambda & -\frac{db}{c} \\ \frac{ac}{b} & -\lambda \end{vmatrix} = 0 \quad (2.8)$$

Потрібно зазначити, що корені характеристичного рівняння часто уявні, саме тому особлива точка – центр. В локалізації особливої точки фазові траєкторії є еліпсами. З рис. 2.2 видно, що чисельності популяцій проходять різні за фазою коливання [24].

Важливим є те, що модель не є асимптотично стійкою, тобто при стрибку числа однієї з популяцій через причини, що не враховані в моделі, система перейде з однієї фазової траєкторії до іншої. Також, особлива центральна точка не є грубою, тобто при введенні в структуру деяких змін, вона може змінити свій характер.

2.3.1 Різновиди моделі Лотки-Вольтерри

Окрім класичної моделі Лотки-Вольтерра, що стосується лише двох видів, існують різні типи модифікованих моделей. Наприклад, такими моделями є:

- моделі «хижак – жертва» з врахуванням ситості, коли зі збільшенням числа жертв, швидкість їх споживання хижаками і швидкість збільшення числа хижаків прямують до деякої кінцевої величини;
- моделі «хижак – жертва» з наявністю третього конкурентного виду;
- моделі «хижак – жертва» з наявністю двох додаткових конкурентних видів.

Спершу, розглянемо другий випадок – модель з трьома популяціями. Третім видом вважатимемо вид верхніх хижаків – «суперхижаків». Для цієї моделі є характерним, що динаміка росту і зменшення популяцій може відрізнитися у наступних випадках: чи хижаки та суперхижаки обидва полюють на здобич; чи суперхижак полює тільки на іншого хижака; чи суперхижак полює водночас на здобич та на хижака.

2.3.1.1 Суперхижаки, які полюють на жертв та хижаків

В даній модифікованій моделі суперхижаками є умовні «верхні» хижаки, що можуть полювати і на хижаків, і на жертву одночасно. Звичайні хижаки, відповідно як до класичної моделі (2.3), полюють лише на жертв.

Система для такої модифікованої моделі виглядає так (2.9):

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = b_1x - a_{12}yx - a_{13}zx \\ \frac{dy}{dt} = b_2y + a_{21}yx - a_{23}zy \\ \frac{dz}{dt} = -b_3z + a_{31}zx + a_{32}zy, \end{cases} \quad (2.9)$$

де x – чисельність популяції жертв;

y – чисельність популяції хижаків;

z – чисельність популяції суперхижаків;

b_1 – коефіцієнт збільшення популяції жертв;

b_2 – коефіцієнт смертності хижаків від голоду;

b_3 – коефіцієнт смертності суперхижаків від голоду;

a_{12} – коефіцієнт смертності жертв від хижаків;

a_{13} – коефіцієнт смертності жертв від суперхижаків;

a_{21} – коефіцієнт залежності розмноження хижаків від кількості їжі;

a_{23} – коефіцієнт смертності хижаків від суперхижаків;

a_{31} – коефіцієнт залежності розмноження хижаків від кількості жертв;

a_{32} – коефіцієнт залежності розмноження суперхижаків від кількості хижаків.

Розглянемо детальніше систему (2.9). Звідти очевидно, що якщо немає ні жертв ні суперхижаків, тобто $x = 0$ і $z = 0$) – популяція хижаків буде експоненційно зменшуватись за моделлю Мальтуса (2.5). Абсолютно така сама ситуація буде і для жертв: за умови повної відсутності хижаків та суперхижаків, тобто $y = 0$ і $z = 0$, їхня популяція буде експоненційно зростати за моделлю Мальтуса (2.5). Отже, аналогічно для суперхижаків: при відсутності популяції жертв та хижаків ($y = 0$, $z = 0$), вищі хижаки вмиратимуть за експоненційно згідно з моделлю Мальтуса (2.5).

За допомогою графічного представлення даного типу моделі можна побачити, що система здатна прийти до стану рівноваги тільки за умови високого рівня народжуваності жертв, їх початкової великої кількості порівнюючи до хижаків та суперхижаків, а також низького рівню смертності хижаків від голоду (рис. 2.5).

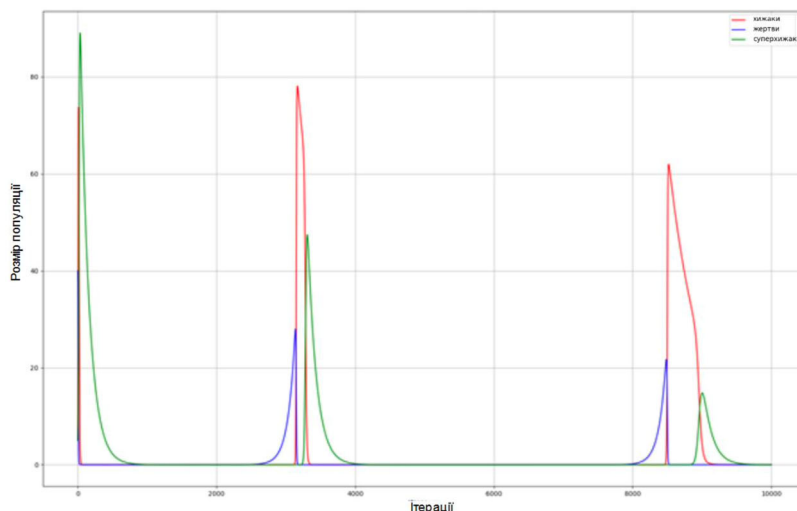


Рисунок 2.5 – Модифікована модель Лотки-Вольтера з трьома популяціями (суперхижаки полюють на жертв та хижаків)

2.3.1.2 Суперхижаки, які полюють лише на хижаків

Інший випадок модифікованої моделі Лотки-Вольтера –система з суперхижаками, що полюють лише на хижаків, звичайними хижаками та жертвами. Хижаки, відповідно до класичної моделі (2.3), полюють лише на жертв.

Відповідна система виглядатиме так (2.10):

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = b_1x - a_{12}yx \\ \frac{dy}{dt} = -b_2y + a_{21}yx - a_{23}zy \\ \frac{dz}{dt} = -b_3z + a_{32}zy, \end{cases} \quad (2.10)$$

де x – чисельність популяції жертв;

y – чисельність популяції хижаків;

z – чисельність популяції суперхижаків;

b_1 – коефіцієнт збільшення популяції жертв;

b_2 — коефіцієнт смертності хижаків від голоду;

b_3 — коефіцієнт смертності суперхижаків від голоду;

a_{12} — коефіцієнт смертності жертв від хижаків;

a_{21} — коефіцієнт залежності розмноження хижаків від кількості їжі;

a_{23} — коефіцієнт смертності хижаків від суперхижаків;

a_{32} — коефіцієнт залежності розмноження суперхижаків від кількості хижаків.

Також, графічне представлення моделі відображає, що система приходить у стан рівноваги, так само, як і класична (рис. 2.6).

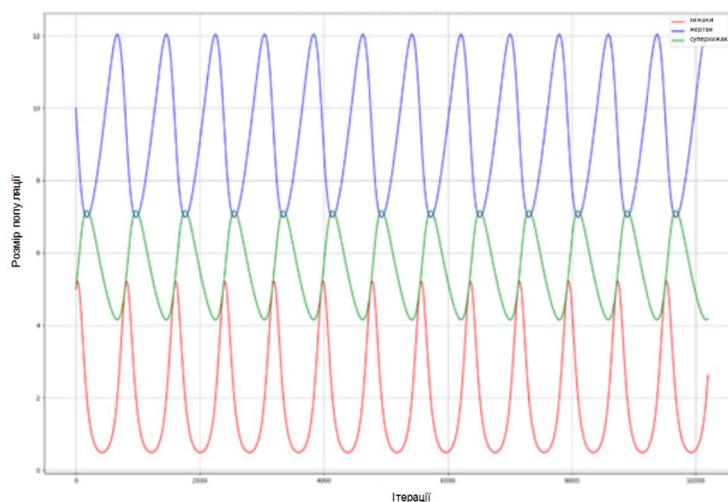


Рисунок 2.6 – Модифікована модель Лотки-Вольтера з трьома популяціями (суперхижаки полюють лише на хижаків)

2.3.1.3 Два види хижаків

На відміну від двох попередніх модифікованих видів, в даному випадку обидва види хижаків знаходяться на одному рівні та конкурують між собою за один вид жертв. Прийнято, що два види хижаків змагаються лише експлуатаційно, не втручаючись між суперниками; швидкість збільшення популяції виду є відповідно логістичною або лінійною за відсутності хижаків, а функціональна відповідь хижаків — лінійна. За таких умов, дана модифікована модель є системою простих диференціальних рівнянь (2.11).

$$(2.11)$$

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = b_1x - \frac{1}{K}x - a_{12}y_1x - a_{13}y_2x \\ \frac{dy_1}{dt} = -b_2y_1 + a_{21}y_1x \\ \frac{dy_2}{dt} = -b_3y_2 + a_{22}y_2x, \end{cases}$$

де x – чисельність популяції жертв;

y_1, y_2 – чисельність популяції хижаків 1-го та 2-го видів;

b_1 – коефіцієнт збільшення популяції жертв;

b_2, b_3 – коефіцієнт смертності хижаків 1-го та 2-го видів від голоду;

a_{12}, a_{13} – коефіцієнт смертності жертв від хижаків 1-го та 2-го видів;

a_{21}, a_{22} – коефіцієнт залежності розмноження хижаків 1-го та 2-го виді від кількості їжі;

$K > 0$ – коефіцієнт граничної кількості виду на середовище проживання.

Якщо $K \rightarrow \infty$, то популяція жертви може зростати до безкінечності (рис. 2.7).

Також, в цьому випадку графіки обох видів хижаків повністю співпадають.

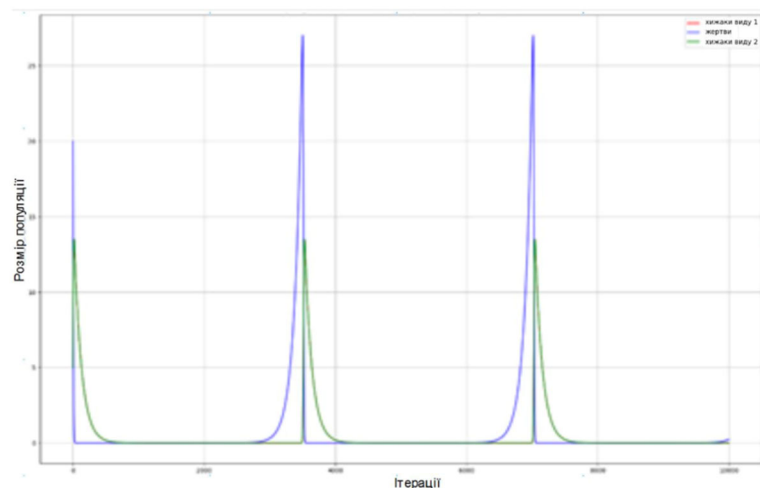


Рисунок 2.7 – Модифікована модель Лотки-Вольтера з жертвами та хижаками двох видів

2.3.1.4 Два види жертв

Ще одним видом модифікованої моделі Лотки-Вольтера є випадок, коли в системі є два види жертв та один – хижаків. В математичному вигляді дана модель описується наступною системою рівнянь (2.12):

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = b_1x_1 - a_{11}yx_1 \\ \frac{dx_2}{dt} = b_2x_2 - a_{12}yx_2 \\ \frac{dy}{dt} = -b_3y + a_{21}yx_1 + a_{22}yx_2, \end{cases} \quad (2.12)$$

де x_1, x_2 – чисельність популяції жертв 1-го та 2-го видів;

y – чисельність популяції хижаків;

b_1, b_2 – коефіцієнт збільшення популяції жертв 1-го та 2-го видів;

b_3 – коефіцієнт смертності хижаків від голоду;

a_{11}, a_{12} – коефіцієнт смертності жертв 1-го та 2-го видів від хижаків;

a_{21}, a_{22} – коефіцієнт залежності розмноження хижаків від кількості жертв 1-го та 2-го видів (як їжі).

На рис. 2.8 добре видно, що дана модифікована модель може існувати виключно в разі низького рівня збільшення популяції хижаків (за рахунок полювання на жертв) та високому рівні збільшення популяції жертв обох видів.

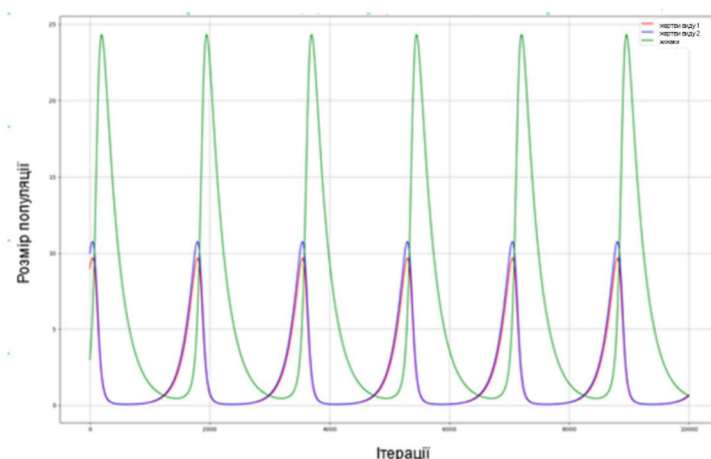


Рисунок 2.8 – Модифікована модель Лотки-Вольтера з жертвами двох видів та хижаками

2.4 Обґрунтування моделі оптимізації роботи автоматизованої виробничої системи обробки деталей

Отже, після детального опису заданої виробничої дільниці, доступних методів та моделей оптимізації, є доречним привести обґрунтування обраної моделі оптимізації.

Як було зазначено на початку розділу, головним критерієм вибору моделі для математичного моделювання є її простота та відсутність зайвих деталей, що ускладнюватимуть процес моделювання. Спираючись на характер даної ГАД, було прийняте рішення обрати класичну модель Лотки-Вольтерри для оптимізації роботи виробничої дільниці.

В якості параметрів, що треба оптимізувати було обрано кількість транспортних модулів в ГАД (10) та кількість робочих змін для виготовлення деякої партії деталей (в заданій ГАД їх – 2). Такі параметри було обрано з декількох причин.

По-перше, зменшення кількості робочих змін для виготовлення тієї ж кількості деталей завжди є потребою будь-якого виробництва, адже якщо є можливість зменшити час виробництва, то за рахунок зекономленого часу можна збільшити обсяги виготовлення продукції, що дасть змогу підприємству отримувати більший прибуток за рахунок реалізації більшої кількості продукції. Однак, вигода від

зменшення часу на виробництво партії деталей може полягати для підприємства і в іншому – економії витрат на виробництво. У разі, якщо підприємство не планує збільшувати обсяги реалізації продукції, воно може скоротити витрати на енергетичне та комунальне забезпечення підприємства, зменшення кількості працівників.

По-друге, зменшення кількості транспортних модулів є досить легким в реалізації з технічної точки зору. Такі технічні засоби є мобільними і їх видалення з ГАД не вимагає великої кількості ресурсів. Окрім того, саме транспортні модулі можуть бути переведені до іншої ГАД, не обов'язково саме механічної обробки деталей, адже транспортні модулі є найгнучкішим елементом ГВС. Таким чином, видаливши транспортний модуль з ГАД, його можна використовувати в іншому цеху, що буде доцільнішим, ніж його простій.

Для створення формалізованої моделі оптимізації виробничої системи обробки деталей можна застосувати модель Лотки-Вольтерри. При цьому визначимо аналогії хижака-жертва з реальними параметрами технологічної системи обробки. Потрібно звернути увагу на те, що математична модель Лотки-Вольтерри є конкурентною – описує конкуренцію видів хижаків та жертв. Для застосування такої моделі в галузі виробництва приладів потрібно чітко визначити взаємозалежні конкурентні процеси на виробничий дільниці. Одним із таких конкурентних співвідношень є відношення між людино-годинами та транспортними модулями у структурі дільниці. Так, за умови більшої кількості транспортних модулів можна обслуговувати дільницю більшу кількість людино-годин. Однак, одночасно з цим, при більшій кількості транспортних модулів зростає вірогідність простою даної одиниці технологічного обладнання. Отже, транспортні модулі на дільниці мають схожі властивості на вид хижаків. Таким чином, людино-години відповідають виду жертв, адже зі зменшенням виду хижаків (транспортних модулів), збільшується кількість продукції, виготовленої за деяку кількість людино-годин, що мала б бути транспортована, але через недостатню кількість транспортних модулів накопичується на виробничому устаткуванні. Така поведінка відповідає поведінці жертв за умови зменшення популяції хижаків у біологічній моделі.

Висновки до розділу 2

Формулюючи висновки до другого розділу роботи, потрібно зазначити наступні тези:

1. Задача пошуку оптимального значення є однією з багатьох задач математичного моделювання і описується цільовою функцією пошуку екстремуму із заданими обмеженнями, що представляє собою математичний запис взаємної залежності параметрів системи і обмежень для них.
2. Адекватна математична модель системи механічної обробки деталей має відповідати таким принципам проектування, як: багатомірність, ієрархічність будови, багатозв'язність, багатокритеріальність, керування, розгалужена мережа інформації та інтенсивні її потоки, складність функцій.
3. Математична модель Лотки-Вольтери описує конкурентні процеси в предметній області, в загальному випадку вони відносяться до декількох типів: олігопсонія, олігополія, монопсонія, монополія(також існують деякі модифікації).
4. Класична модель Лотки-Вольтери враховує початкову кількість хижаків та жертв, коефіцієнти розмноження і смертності жертв, смертності хижаків, коефіцієнт доступності їжі для хижаків.
5. Однак, існує декілька модифікацій класичної моделі, що враховують додаткові параметри: декілька видів жертв чи хижаків, та всі похідні від цих параметри.
6. Для моделювання системи, що розглядається в роботі, було обрано класичну модель Лотки-Вольтера, так як вона відповідає важливим для моделювання характеристикам: простота, відсутність зайвих параметрів і тд.

РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПУ ОПТИМІЗАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

3.1 Чисельний аналіз класичної моделі Лотки-Вольтерри.

Застосування методу Рунге – Кутти

За завданням, цільова функція оптимізації роботи автоматизованої системи наступна:

$$f^*(X) = \text{extremum } F(x, y) \quad (3.1)$$

де x і y – змінні параметри виробничої системи.

Візьмемо за основу вихідну модель Лотки-Вольтерри. Розглянемо перше рівняння, яке відображає зміну чисельності «жертв» (у термінах екології це особини, які харчуються підніжним кормом та піддаються винищуванню «хижаками»):

$$\frac{dx}{dt} = x(a - by) \quad (3.2)$$

Для цього рівняння x – кількість жертв, a – коефіцієнт приросту, b – коефіцієнт зменшення жертв при зустрічі з хижаками, dx і dt – зміна чисельності жертв на одиницю часу.

Розглянемо друге рівняння, що відображає зміну кількості хижаків (які живляться лише жертвами, і кількість яких залежить від частоти зустрічей з ними):

$$\frac{dy}{dt} = y(-c + dx) \quad (3.3)$$

Для даного рівняння y – кількість хижаків, c – коефіцієнт спаду хижаків від нестачі їжі, d – коефіцієнт, що відображає, як часто зустріч хижака з жертвою закінчується трапезою.

Початкова система Лотки-Вольтерри виглядає наступним чином:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = x(a - by) \\ \frac{dy}{dt} = y(-c + dx) \end{cases} \quad (3.4)$$

Узявши за основу базову модель конкуренції двох видів, змінимо її. У результаті отримаємо модифіковану модель, яка характеризуватиме конкурентні процеси в широкому класі систем.

Класичною ситуацією є наявність двох якісно різних класів акторів. У економічних додатках це – «виробники» та «споживачі». Аналогічною моделлю для технічних систем, у першому наближенні, описується конкуренція за ресурс між людино-годинами (робочими змінами) та транспортними модулями. Опишемо математичну модель, підібравши всі характерні параметри і склавши рівняння динаміки, та отримаємо модифіковану математичну модель на основі моделі Лотки-Вольтерри. Тоді цільова функція F оптимізації роботи автоматизованої системи у розписаному вигляді являтиме собою наступне:

$$f^*(X) = \text{extremum } F = \begin{cases} x' = x(a - by) \\ y' = y(-c + dx) \end{cases} \quad (3.5)$$

де наступними параметрами є:

x' – приріст робочих змін у годинах;

y' – приріст кількості транспортних модулів;

x – початкова кількість робочих змін у годинах;

y – початкова кількість транспортних модулів;

a – коефіцієнт, за яким чим довше робота не виконана – тим більше спливає часу;

b – коефіцієнт, за яким чим більше транспортних модулів – тим менше робочих годин;

c – коефіцієнт, за яким чим довше транспортний модуль не використовується – тим менше у ньому потреби;

d – коефіцієнт, за яким чим більше невиконаної роботи – тим більше виникає потреба у транспортних модулях.

Також необхідно врахувати час транспортування транспортними модулями деталей під час слідування ними за маршрутними картами. Разом із цим варто взяти до уваги розташування верстатів і транспортних модулів відносно один одного на автоматичній лінії виробництва.

За кресленням автоматичній лінії кожен із верстатів розташований поряд із двома транспортними модулями та має до них доступ. Виходячи з цього в розрахунках будуть підібрані відповідні коефіцієнти, які найкраще підійдуть до вирішення поставленої задачі.

Найефективнішими і найбільш часто зустрічаються методами розв'язання задачі Коші є методи Рунге-Кутти. Вони ґрунтуються на апроксимації шуканої функції у межах кожного кроку многочленом, який отримано за допомогою розкладання цієї функції в околі кроку h кожної i -ої точки в ряд Тейлора.

Присікаючи ряд Тейлора в різних точках і відкидаючи праві члени ряду, Рунге і Кутта отримували різні методи для визначення значень функції у кожній вузловій точці. Точність кожного методу визначається відкинутими членами ряду.

Методи Рунге-Кутти – великий клас чисельних методів розв'язання задачі Коші для звичайних диференціальних рівнянь та їхніх систем. Для вирішення поставленої задачі підійде класичний метод Рунге-Кутти, що має четвертий порядок точності. Він є однокроковим – це означає, що для обчислення значення функції у точці x_{i+1} використовується значення попередньої точки x_i .

Метод Рунге-Кутти четвертого порядку має наступний вигляд:

$$\begin{aligned} y_{i+1} &= y_i + \frac{h}{6} (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4), \\ x_{i+1} &= x_i + h, \end{aligned} \quad (3.6)$$

де h – крок інтегрування.

Розрахунок коефіцієнтів k_i виконується за наступними формулами:

$$\begin{cases} k_1 = f(x_i, y_i), \\ k_2 = f\left(x_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{hk_1}{2}\right), \\ k_3 = f\left(x_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{hk_2}{2}\right), \\ k_4 = f(x_i + h, y_i + hk_3). \end{cases} \quad (3.7)$$

Порядок розв'язання даної системи диференціальних рівнянь виконується наступним чином, для x :

$$\begin{aligned} k_{11} &= x(a - by) \\ k_{21} &= \left(x + \frac{h}{2}\right) \left(a - b\left(y + \frac{hk_{11}}{2}\right)\right) \\ k_{31} &= \left(x + \frac{h}{2}\right) \left(a - b\left(y + \frac{hk_{21}}{2}\right)\right) \\ k_{41} &= (x + h)(a - b(y + hk_{31})) \\ x_{i+1} &= x_i + \frac{h}{6}(k_{11} + 2k_{21} + 2k_{31} + k_{41}) \end{aligned} \quad (3.8)$$

Та для y :

$$\begin{aligned} k_{11} &= y(-c + dx) \\ k_{21} &= \left(y + \frac{hk_{11}}{2}\right) \left(-c + d\left(x + \frac{h}{2}\right)\right) \\ k_{31} &= \left(y + \frac{hk_{21}}{2}\right) \left(-c + d\left(x + \frac{h}{2}\right)\right) \\ k_{41} &= (y + hk_{31})(-c + d(x + h)) \\ y_{i+1} &= y_i + \frac{h}{6}(k_{11} + 2k_{21} + 2k_{31} + k_{41}) \end{aligned} \quad (3.9)$$

Початкові умови та параметри системи диференціальних рівнянь:

$h = 0,1$ крок обчислень;

$i = 10$ кількість ітерацій обчислень;

$x_0 = 16$ годин (2 робочі зміни);

$y_0 = 10$ транспортних модулів;

$a = 0,64$;

$$b = 0,08;$$

$$c = 0,8;$$

$$d = 0,1.$$

Початкові параметри для системи диференціальних рівнянь було підібрано так, щоб робота автоматизованої системи механічної обробки деталей мала можливість бути набагато більш оптимізованою. Параметри a , b , c , d відображають вірогідності, що впливають на поведінку математичної моделі Лотки-Вольтерри.

Для додаткового прикладу було підбрало наступні, менш вдалі параметри:

$$a = 0,36;$$

$$b = 0,04;$$

$$c = 0,84;$$

$$d = 0,07.$$

3.2 Аналіз результатів алгоритмів

За допомогою отриманої математичної моделі на основі моделі Лотки-Вольтерри та її обчислення чисельним методом Рунге-Кутти четвертого порядку, можна побудувати графік, що буде відображати залежності даної системи (рис. 3.1 та рис. 3.2).

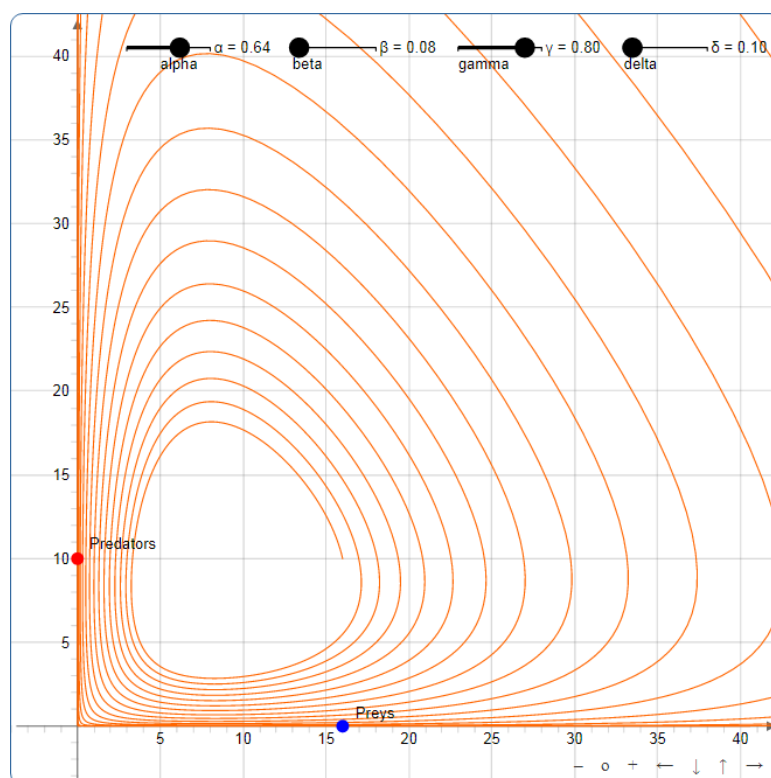


Рисунок 3.1 – Графік залежності транспортних модулів від кількості робочих змін із параметрами $a = 0,64$, $b = 0,08$, $c = 0,8$, $d = 0,1$.

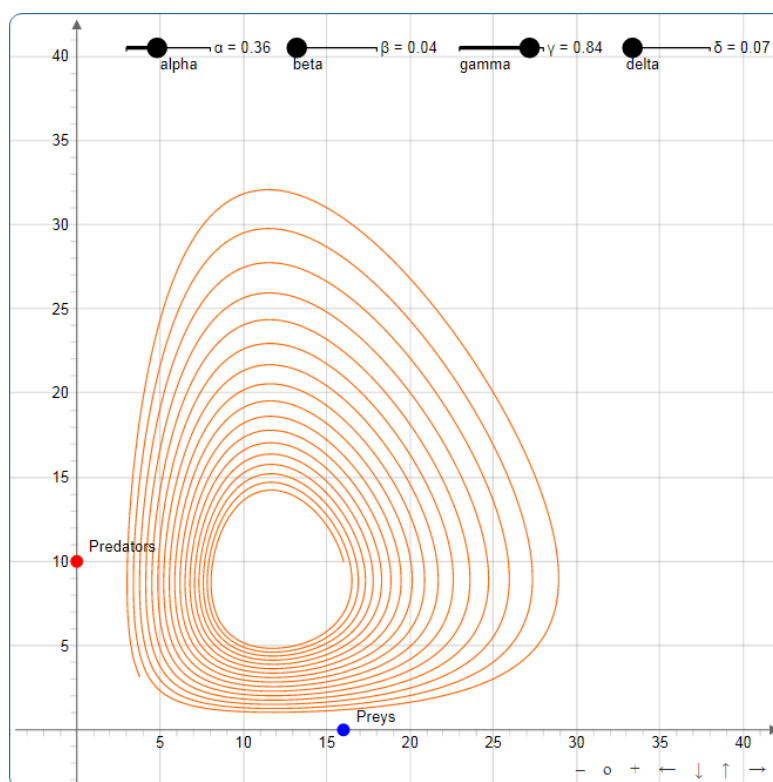


Рисунок 3.2 – Графік залежності транспортних модулів від кількості робочих змін із параметрами $a = 0,36$, $b = 0,04$, $c = 0,84$, $d = 0,07$.

Для того, щоб оптимізувати роботу автоматизованої системи механічної обробки деталей, необхідно знайти стаціонарну точку отриманої системи, що буде представляти собою стійкий вузол.

Для цього потрібно прирівняти ліву частину системи диференціальних рівнянь на основі моделі Лотки-Вольтерри нулю та знайти її рішення:

$$\begin{cases} 0 = x(a - by), \\ 0 = y(-c + dx). \end{cases}$$

Підставивши обрані параметри, маємо наступні системи:

$$\begin{cases} 0 = x(0,64 - 0,08y), \\ 0 = y(-0,8 + 0,1x). \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0 = x(0,36 - 0,04y), \\ 0 = y(-0,84 + 0,07x). \end{cases}$$

Перша система має 4 рішення: (0; 0), (0; 8), (8; 0), (8; 8).

І друга система має 4 рішення: (0; 0), (0; 12), (9; 0), (12; 12).

Проте лише одне з рішень кожної системи не є тривіальним і є рішеннями поставленої задачі – це точки (8; 8) і (9; 12) відповідно.

Скорегувавши початкові точки обох систем на (8; 8) і (9; 12) відповідно та побудувавши нові графіки, можна побачити як системи утворюють стійкі вузли (рис. 3.3 та рис. 3.4).

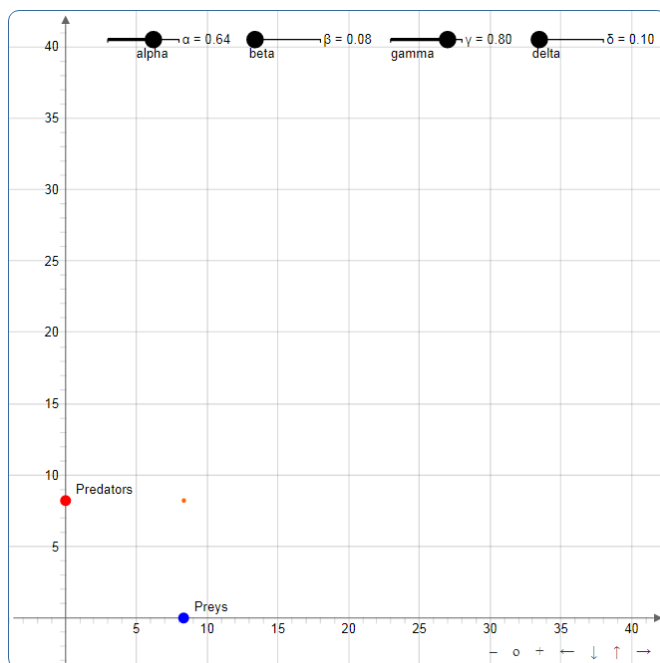


Рис. 3.3 – Скоригований графік залежності транспортних модулів від кількості робочих змін у точці (8; 8) із параметрами $a = 0,64$, $b = 0,08$, $c = 0,8$, $d = 0,1$.

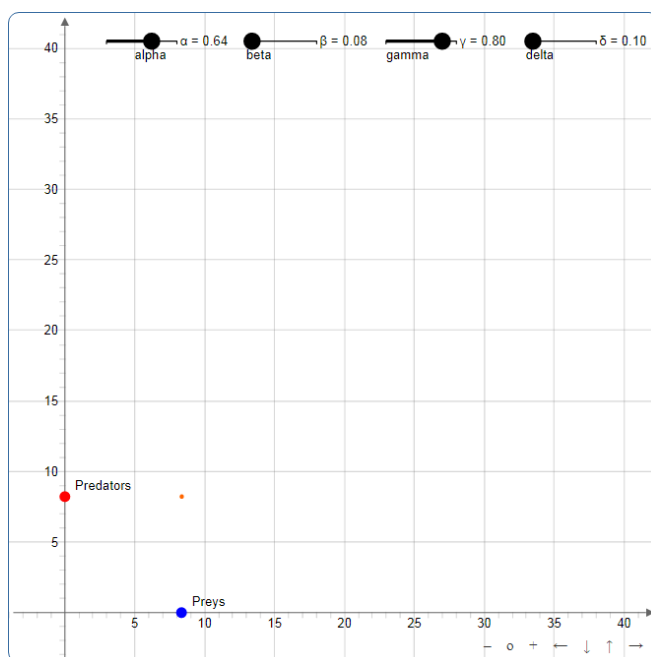


Рис. 3.4 – Скоригований графік залежності транспортних модулів від кількості робочих змін у точці (9; 12) із параметрами $a = 0,36$, $b = 0,04$, $c = 0,84$, $d = 0,07$.

Модель вважається адекватною, якщо відображає задані властивості з прийнятною точністю. Точність визначається як ступінь збігу значень вихідних

параметрів моделі та об'єкта. Ці умови характеризуються зовнішніми параметрами. Визначення області адекватності моделей – складна процедура, що потребує великих обчислювальних витрат, які швидко зростають зі збільшенням розмірності простору зовнішніх параметрів. Це завдання за обсягом може значно перевершувати завдання параметричної оптимізації самої моделі, тому для новопроекттованих об'єктів його можна не розв'язувати.

Адекватність математичного опису в регресійних моделях оцінюють зіставленням результатів статистичного опрацювання пробних дослідів, проведених за одних і тих самих параметрів процесу, з розрахунковими значеннями величин, обчислених на основі математичної моделі.

Проте, так як немає можливості отримати результати статистичного опрацювання пробних дослідів об'єкту, тому можна спиратися лише на адекватність самої початкової моделі Лотки-Вольтерри, що взята за основу математичної моделі.

Виходячи з цього, можна сказати, що роботу автоматизованої системи механічної обробки деталей вдалося оптимізувати з 2-х робочих змін та 10-ти транспортних модулів до 1-ї робочої зміни та 8-ми транспортних модулів у першому випадку, і до 1,5 робочі зміни та 9-ти транспортних модулів у другому випадку відповідно. Отже, параметри, що були підібрані у першому випадку, є більш вдалим для оптимізації автоматизованої системи механічної обробки деталей.

3.3 Розробка програмного забезпечення з оптимізації автоматизованої системи механічної обробки деталей

Для реалізації додатку для оптимізації керуванням виробничою ділянкою механічної обробки деталей було обрано мову програмування Java для серверної частини та мову TypeScript для клієнтської частини.

Java – об'єктно-орієнтована мова програмування, що вийшла на ринок у 1995 році як продукт компанії «Sun Microsystems» і була основним компонентом платформи Java. Компанія «Oracle» придбала мову у 2009 році. В офіційній

реалізації Java-код компілюється у байт-код, що інтерпретується віртуальною машиною[46].

TypeScript – функційна мова програмування, випущена Microsoft восени 2012 року. Дана мова описується як засіб для розробки веб-додатків, що є доповненням до JavaScript [47].

Тип архітектури додатку – монолітний, так як за допомогою цього типу архітектури розробка додатку є швидшою і в майбутньому легше підтримувати його роботу. У додатку Г зображено схему архітектури додатку.

Монолітний тип архітектури – архітектурний стиль, що визначає додаток як одне ціле, та включає в себе високий рівень взаємозв'язку між компонентами, на відміну від мікросервісної архітектури, яка визначає кожен компонент додатку як окрему одиницю, що може існувати автономно [48].

До переваг обраного типу архітектури можна віднести:

- швидкий початок розробки проєкту, адже не потрібно витратити час на декомпозицію логіки на окремі мікросервіси;
- простоту написання інтеграційних тестів;
- тривіальне розгортання додатку на сервері.

Однак, існують також недоліки:

- об'ємна кодова база дає змогу підтримувати лише невеликі додатки;
- кожна нова додана функція може уповільнювати запуск програми;
- введення або перехід на нову технологію потребує значних зусиль;
- складність масштабування.

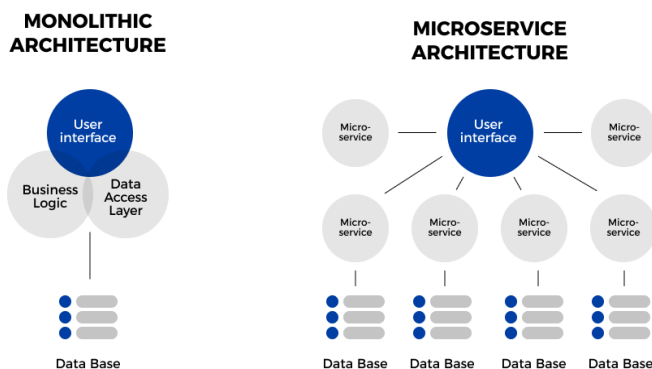


Рис. 3.5 – Порівняння монолітного та мікросервісного типів архітектури[48]

Для створення серверної частини використаний фреймворк Spring Framework та СУБД PostgreSQL. Для отримання вихідного коду проєкту було прийняте рішення використати Apache Maven.

Spring Framework –фреймворк з відкритим вихідним кодом та контейнерами, що підтримують інверсію керування для платформи Java 8+[49].

PostgreSQL – об'єктно-реляційна система керування базами даних (СУБД). Порівнюючи з іншими проєктами з відкритим вихідним кодом, такими як Apache, FreeBSD або MySQL, PostgreSQL підтримується спільнотою open-source розробників. PostgreSQL написана мовою C. Найчастіше СУБД розповсюджується у як набір текстових файлів із кодом[50].

Apache Maven – інструмент автоматизації роботи з програмними проєктами, що використовується для керування та збірки програм. В пакет входить: XML-файл, що описує додаток, його зв'язки з зовнішніми модулями, правила збірки (build), папки та необхідні плагіни. [51].

Окрім того, розробка серверної частини побудована та таких принципах та шаблонах проєктування: SOLID, Singleton, Dependency injection[52].

Принцип SOLID застосовують для дизайну та розробки таких програмних систем, які, з великою ймовірністю, зможуть тривалий час розвиватися, розширяться і підтримуватися. SOLID –аббревіатура, що складається з початкових літер п'яти основ об'єктно-орієнтованого програмування (ООП) та дизайну:

- S – Single responsibility principle (принцип єдиного обов'язку): один об'єкт виконує одну функцію;
- O – Open/closed principle (принцип відкритості/закритості): програмні сутності мають бути відкритими для розширення, однак закритими для змін;
- L – Liskov substitution principle (принцип підстановки Лісков): об'єкти в коді можуть замінюються їх нащадками;
- I – Interface segregation principle (принцип розділення інтерфейсу): краще створювати багато спеціалізованих інтерфейсів, ніж один універсальний.

- D – Dependency inversion principle (принцип інверсії залежностей): компоненти вищих рівнів не повинні залежати від компонентів нижчих рівнів.

Singleton – це шаблон проєктування, згідно з яким, клас матиме лише один екземпляр і дає глобальну точку доступу до нього.

Dependency injection – шаблон проєктування ПЗ, що передбачає надання зовнішньої залежності програмному компоненту.

Для написання клієнтської частини було використано такі ж принципи, що і для серверної частини. В якості фреймворку було обрано Angular.

Angular – написаний мовою програмування TypeScript, front-end фреймворк з open-source кодом, що розробляється компанією Google та спільнотою корпорацій і приватних розробників. [53]

Лістинг коду програми представлений у додатку Г.

3.4 Результати роботи програмного забезпечення та їх аналіз

Взаємодія користувача з системою відбувається за допомогою графічного інтерфейсу користувача. У таблиці 3.1 наведено список можливих дій користувача у додатку. Блок-схема алгоритму додатку зображена у додатку В.

Таблиця 3.1 – Варіанти дій користувача

Назва кнопки	Варіанти роботи програми
«Додати/Оновити»	Після введення значень параметрів потрібно натиснути кнопку для збереження введених даних в базу даних.
«Редагувати»	У випадку, коли була зроблена помилка під час введення даних, вона може бути виправлена шляхом натискання кнопки.
«Видалити»	У випадку, коли потрібно видалити зайві дані, натискається кнопка.
«Ручний розрахунок»	Користувач може натиснути кнопку для мануального корегування даних.
«Автоматичний розрахунок»	Користувач може натиснути кнопку для автоматичного корегування даних комп'ютером.

«Оновити візуалізацію»	Для оновлення графіку після редагувань даних або автоматичного розрахунку, користувач може натиснути кнопку.
------------------------	--

Окрім того, у користувача є можливість загрузити отриманий графік у різних файлових форматах на персональний комп'ютер(ПК) (рис. 3.6).

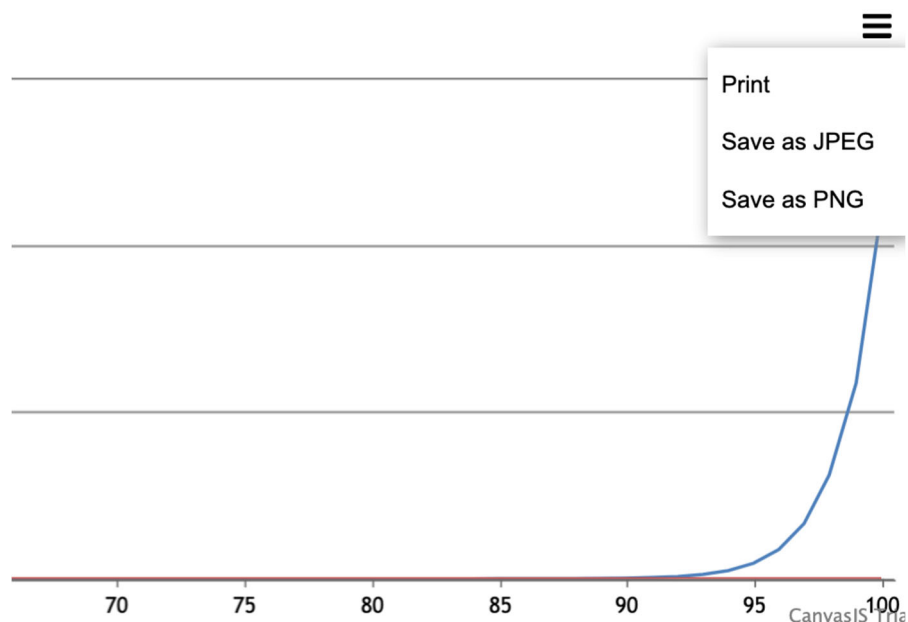


Рисунок 3.6 – Функція завантаження графіка на ПК користувача

Для тестування та перевірки коректності роботи додатку було виконано декілька експериментів з різними наборами даних, що описані на початку розділу.

Дані вводяться у відповідні поля на інтерфейсі користувача, що відповідають параметрам системи на необхідним змінним у моделі (рис. 3.7).

y

10

t0

0

t

10

h

0.1

x0

name

a

b

e

d

Додати/Оновити

Ручний розрахунок

Автоматичний розрахунок

Оновити візуалізацію

Рисунок 3.7 – Графічний інтерфейс користувача – введення даних

Параметри, що були визначені як найвдаліші для оптимізації було введено у описані поля (рис. 3.8).

Name

old

d

0.1

a

0.64

b

0.08

e

0.8

p

16

Редагувати

Видалити

Рисунок 3.8 – Графічний інтерфейс користувача – введені даних

Отже, графік оптимізації автоматизованої дільниці виглядає наступним чином (рис. 3.9).

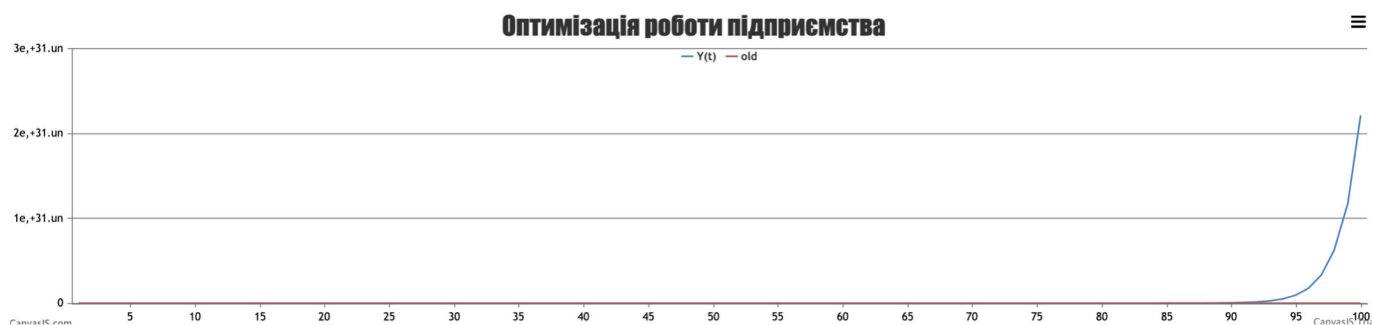


Рисунок 3.9 – Графік оптимізації роботи дільниці

З графіка видно: пряма, що описує результат обчислення моделі – зростає (пряма $Y(t)$), а пряма, яка описує стан системи без моделювання є сталою.

Таким чином можна зробити висновки, що оптимізація пройшла успішно, адже аналізуючи графік, що було отримано, можна сказати, що дані після вирішення математичної моделі є оптимальними. При цьому, час виробництва зменшився до однієї робочої зміни, а кількість транспортних модулів на дільниці – до 10.

Висновки до розділу 3

1. У третьому розділі магістерської дисертації було проведено математичне моделювання автоматизованої системи механічної обробки деталей та реалізація програмного забезпечення.
2. Було проаналізовано систему та обрано відповідні параметри для математичного моделювання.
3. Було вирішено систему рівнянь методом Рунге-Кутти та отримано вихідні дані.
4. Вихідні дані показали, що система не потребує 10-ти транспортних модулів, а лише 8-ми. До того ж, така ж партія деталей може бути виготовлена за одну робочу зміну, замість двох, з використанням 8-ми транспортних модулів.
5. Було створено додаток за допомогою таких технологій як: СУБД PostgreSQL, мова TypeScript та бібліотека Spring framework, мова java та інструмент для збірки проєктів – Apache Maven.
6. Було проаналізовано результати роботи програмного забезпечення, які показали, що система обробки деталей дійсно може бути оптимізована

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ «ОПТИМІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ ЛОТКИ-ВОЛЬТЕРРИ»

4.1 Опис та технологічний аудит ідеї проєкту

В даному розділі розглянуто маркетингове забезпечення стартап проєкту «Оптимізація автоматизованої системи обробки деталей на основі моделі Лотки-Вольтерри». Було прийняте рішення щодо формування комплексу маркетингу для виведення нового товару на ринок, для цього доцільно оцінити концепцію товару та порівняти її з ідеями конкурентів. Було поставлене завдання виділення особливостей товару, якщо такі є і визначення сильних сторін порівняно з аналогами та субститутами товару [41].

В даній роботі стоїть завдання щодо виведення на ринок ІТ продукту, яким має сприяти підвищенню ефективності застосування наявного виробничого потенціалу підприємства «Оптимізація автоматизованої системи обробки деталей на основі моделі Лотки-Вольтерри» – програма імітаційного моделювання, технологія роботи якої заснована на моделі Лотки-Вольтерри. За допомогою подібних технологій стало можливо формувати моделі для [42]:

- сфери охорони здоров'я та фармації;
- логістики;
- сфери бізнесу та маркетингу;
- охорони навколишнього середовища;
- оборонної промисловості;
- авіації та космосу тощо.

Для наочності представлення інформації, на рисунку 4.1 зображені дані фінансових звітів лідерів ринку автомобільної промисловості легкових машин.

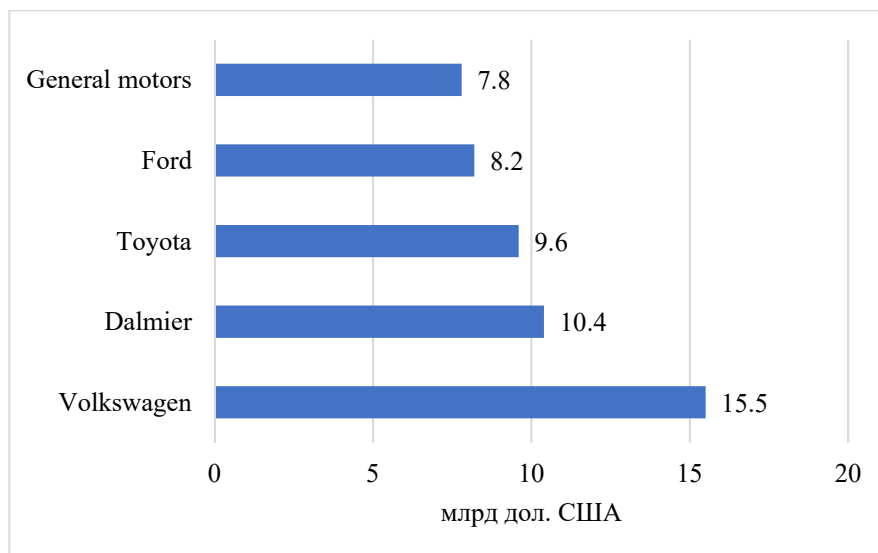


Рисунок 4.1 – Валові витрати компаній на дослідження та удосконалення виробництва за 2018 рік, млрд дол. США[43]

Згідно дослідження Annual Report, валову частку вкладів складають витрати на оптимізацію. Тож, на ринку існує запит на засоби, які б дозволяли підвищити конкурентоспроможність за рахунок удосконалення діяльності фірм [39].

Імітаційні засоби не потребують побудови послідовності команд, замість цього формується відповідна модель з бібліотеки графічних модулів та/або заповнюються відповідні форми. Програма дозволяє програвати сценарний аналіз, що сприяє вірогідності отримання найбільш оптимального рішення.

При виборі програмного засобу часто приділяють увагу наступним характеристикам:

- наявність провірених методів математичного розрахунку;
- простота програмування;
- наочність представлення результатів аналізу;
- швидкість реалізації моделі;
- сфери застосування [42].

Імітаційне моделювання дозволяє оптимізувати систему та параметри її структури за рахунок:

- відтворення релевантного алгоритму поведінки досліджуваного об'єкту за допомогою аналізу найбільш значущих зв'язків між елементами сукупності,

- розрахунку KPI системи через визначення статистичних характеристик (наприклад, мінімальне, середнє, максимальне значення та коефіцієнт застосування);
- пошуку та усунення логічних порушень та причин їх появи [42].

В таблиці 4.1 визначимо вигоди для клієнтів та вірогідні напрямки впровадження ідеї.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача	Потенційна цільова аудиторія для комунікації
Симулятор сценаріїв, що дозволяє визначити та усунути прогалини в організації технологічного оснащення у виробничому цеху згідно з вихідними даними обчислення математичної моделі дільниці	B2B (business-to-business) Сфера виробничих підприємств, що мають матеріально-технічне устаткування	Зменшення постійних та змінних витрат за рахунок мінімізації штату співробітників, витрат на обслуговування обладнання тощо	Власники бізнесу; Голова технічного відділу (керівник цеху); Спеціаліст з інформаційного забезпечення; Бухгалтерія; Юрист компанії-клієнта.
		Збільшення прибутків за рахунок максимізації продуктивності корисної площі	
		Покращення видимості. Генерація нових для підприємства сценаріїв застосування наявних ресурсів (наприклад, створення ділових ігор для спрощення системи прийняття рішень або усунення простоїв техніки)	

На ринку вже існують товари-аналоги з аналогічним функціоналом, що й в проєкту «Оптимізація автоматизованої системи обробки деталей на основі моделі Лотки-Вольтерри». До них відносять:

- Nysys – програмне забезпечення, яке призначено для моделювання хіміко-технологічного процесу з метою оптимізації його схеми проєктування;
- GPSS World – програма моделювання від компанії Minuteman Software, яка призначена для моделювання систем з дискретними подіями;
- Arena – інструмент імітаційного моделювання від компанії Systems Modeling, який дозволяє обирати шаблони моделюючих функцій, програвати сценарії, графічно відтворювати результати та проводити їх аналіз. Даний пакет функцій є валідним для сфер обслуговування, фінансів, виробництва тощо.

Розглянуто та порівняно проєкт «Оптимізація автоматизованої системи обробки деталей на основі моделі Лотки-Вольтерри» з найбільш близькими та небезпечним конкурентами, таблиця 4.2. Умовні позначення відображають ставлення до характеристик аналогів, тобто W – слабка сторона, N – нейтральна сторона, S – сильна сторона товару.

Таблиця 4.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї

№ п/п	Техніко-економічні характерис- тики ідеї	потенційні товари/концепції конкурентів				W	N	S
		Мій проєкт	GPSS World	Arena	Renishaw			
Технічні								
1	Наявність бібліотек і шаблонів	-	+	+	+	●		
2	Створення бібліотек і шаблонів	-	+	+	+	●		
3	Наявність перевірених методів математичного розрахунку	+	+	+	+		●	
4	Простота програмування	+	-	+	+			●
5	Швидкість реалізації моделі	середня	висока	висока	висока		●	
6	Режим реального часу	+	+	+	+		●	
7	Генерація потоків випадкових чисел	-	+	+	+	●		
9	Модуль оптимізації	+	+	+	+		●	
10	Графічне відображення	+	+	+	+		●	
11	Імпорт файлів	-	+	-	-	●		
12	Мова інтерфейсу	укр	англ	англ	англ		●	
14	Наявність спеціалізації	Промисловіс ть	Прогноз та стратегі чне планува ння. Підприє мство.	Підпри ємство. Бізнес процес и. Логіст ика. Склад.	Бізнес процеси, підприємс тво, фінансові операції		●	

			Бізнес процеси.					
Економічні								
14	Технологічна собівартість	Нехай 18 000 грн/міс – сер. ЗП на міс. Тоді (5 міс * 18 000 грн) = 90000 грн Технічне забезпечення – 30 000 грн. Всього: 100 000 грн	700 000 грн	600 000 грн	500 000 грн			●
15	Вартість технічного обслуговування	Включена в пакетний тариф	Уніфіковані кейси включені в тариф. Індивідуальні запити від 10 000 грн	Включена в пакетний тариф, індивідуальні запити від 5 000 грн	Включена в пакетний тариф, індивідуальні запити від 5 000 грн			●
16	Модель монетизації - ліцензія	+	+	+	+		●	
Надійність								
17	Врахування рівня похибки	+	+	+	+		●	
Ергономічні								
18	Регулювання робочого простору	+	+	+	+		●	
19	Скомпоноване розміщення результатів в полі зору користувача	+	+	+	+		●	
Представленість на ринку								
20	Наявність торгової марки	-	+	+	+	●		
21	Наявність успішних кейсів (портфоліо)	-	+	+	+	●		
22	Патентування технології	-	+	+	+	●		

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№ п/п	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій та необхідні ресурсів	Доступність технологій
1	Єдина програма, що оптимізує процес виробництва шляхом	Програмування комп'ютерних моделей за допомогою стандартних мов програмування	Середовище програмування: IntelijlIdea; Мови: Java, Angular	Технології доступні на ринку
2	реорганізації технологічного оснащення у виробничому цеху згідно з вихідними	Програмування комп'ютерної моделі за допомогою спеціалізованих мов програмування написаних на універсальних мовах	На ринку присутні мови GPSS тощо	Технології доступні на ринку
3	даними обчислення математичної моделі дільниці	Долучення до стандартних комп'ютерних програм засобів імітаційного моделювання	Пакети Mathcad, Mathematica, Matlab	Технології доступні на ринку
Обрана технологія реалізації ідеї – побудова спеціалізованого комп'ютерного середовища				

4.2 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Таблиця 4.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5 лідерів а ще 12 компаній, які займають значну частку ринку
2	Загальний обсяг продаж, млрд дол США на рік	69
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Ринок зростає щорічно, спостерігається позитивна динаміка в розмірі 8% щорічно
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Наявність сильних марок-конкурентів
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Стандартизація під вимоги операційної системи. Сертифікація проведення тестування, оцінки якості
6	Ставка на вкладення Національного банку з 21.10, Е	25%
7	Строк окупності	1,524239
8	Чиста приведена вартість, NPV	3,525696 > 0
9	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку) %, IRR	IRR= 53,1% > 25%. Бізнес вважається рентабельним

Проєкт вважається рентабельним. На наступному кроці визначено потенційних клієнтів компанії.

Таблиця 4.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Обчислювальна програма яка б допомагала приймати рішення на основі кількісних та якісних статистичних показників	Малий бізнес, що має фізичне устаткування	Прагнуть до росту. Мають обмежене коло клієнтів та локальну відомість. Не мають досвіду роботи з середовищами моделювання. Бажають зменшити операційні витрати, підвищити обізнаність персоналу та зробити бізнес автономним, тобто таким який би працював без постійної присутності власників. Тип користувачів за рівнем адаптації новинок: рання більшість	Простота користування; Вартість обслуговування та придбання товару;
2		Середній бізнес, що має фізичне устаткування	Мають широку базу клієнтів, вийшли або планують вийти на інші географічні ринку збуту. Працюють над репутацією та побудовою сильного бренду. Бажають зменшити собівартість продукції. Збільшити % корисності наявного обладнання, тобто підвищити операційну ефективність. Тип користувачів за рівнем адаптації новинок: ранні послідовники	Простота користування; Відповідність ціна-якість; Індивідуальний підхід до роботи;
3		Великий корпоративний бізнес, що мають фізичне устаткування	Мають найбільші ресурси та відомість. Працюють на декількох ринках. Мають корпоративну культуру та ділову етику. Рішення приймають вповноважене коло посадових осіб. Проактивний підхід до відстеження індексу продуктивності машин. Бажають збільшити горизонт стратегічного планування за рахунок впровадження технологій. Бажають мінімізувати відходи згідно «ощадливого виробництва», мінімізувати людський фактор. Тип користувачів за рівнем адаптації новинок: новатори	Індивідуальне оформлення інтерфейсу; Багатозадачність програми; Автоматизований збір даних; Використання даних для автоматизованого прийняття рішення; Ексклюзивність співпраці; Наявність кількох мов відтворення тексту;

Ідеальний тип клієнта виглядає так: «Власник бізнесу механічної обробки деталей в Кривому Розі. Працює як на вітчизняному ринку збуту, поставляючи деталі в різні сфери діяльності: оборонна промисловість, машинобудування,

приладобудування, літальні апарати тощо. Має налагоджену систему поставок і базу постійних клієнтів. Здійснив інвестицій в бізнес на суму восьми однокімнатних квартир в Києві за останні чотири роки. Досвід роботи на ринку складає 10 років. Потребує нового інструменту для прийняття рішень, оскільки інші не дають бажаного ефекту.»

Розглянуто фактори середовища, що можуть становити загрозу стартап-проекту в майбутньому, таблиця 4.6.

Таблиця 4.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст	Можлива реакція компанії
1	Поява технології прогнозування, що витіснить з ринку імітаційне моделювання	Падіння попиту на товари даної категорії через моральне зніс. Можливе лише при наявності унікальних властивостей та доказової бази. Час на освоєння та адаптації такої технології може зайняти роки	Інвестування в НДКР, побудова сильної торгової марки, формування лояльної аудиторії користувачів товарів
2	Критичне падіння платоспроможності малого та середнього бізнесу	Світова криза. Відмова компаній від впровадження нововведень (інноваційних технологій) на підприємство з метою забезпечення операційної діяльності	Збереження рівня дохідності за рахунок інтенсивного або екстенсивного методу збуту товару
3	Підвищення конкурентної боротьби	Поява нових конкурентів, побудова бар'єрів для входу шляхом формування закритих організацій з гравців ринку, лобіювання інтересів учасників	Побудова сильної торгової марки, формування лояльної аудиторії користувачів товарів. Бути достатньо великим для споживачів і непомітним для конкурентів. Патентування винаходів
4	Нереалістичні вимоги до товару сформовані під впливом медіа	Деформація уявлення про імітаційне моделювання, штучний інтелект та його можливості. Завищені очікування від товару	Комунікаційна кампанія з метою інформування, підвищення освіченості клієнтів. Проведення тренінгів та передпродажних «test work»

Обраному ринку характерна висока якість конкурентного середовища. Споживачеві важко оцінити товар через його технологічну складність і прийняти об'єктивне рішення через деформацію знань. Перед компанією постають завдання з встановлення позицій на ринку та масштабу її впливу.

Розглянуто які існують передумови для успішної роботи підприємства на ринку, таблиця 4.7.

Таблиця 4.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст	Можлива реакція компанії
1	Падіння доходів компаній	Відчутне зменшення дохідності бізнесу, застій. Скорочення статей доходів або перехід на більш бюджетні пропозиції	Стратегія глибокого проникнення на ринок. Формування лояльності в клієнтів до фірми
2	Зміна податкової політики держави	Надання податкових канікул, зменшення % податкового навантаження для ІТ-КВЕДів.	Акумуляція ресурсів для інвестування в НДКР
3	Державна підтримка бізнесу	Інвестування соціально корисних ідей, проєктів для оборонної, енергетичної, переробної та інших галузей, що генерують валову частку ВВП країни	Участь в грантах, співпраця з партнерами інших галузей. Формування сприятливої репутації
4	Бренд країни	Покращення інвестиційного клімату держави. Поява нових партнерів, які зацікавлені в технологіях	Участь в тематичних заходах, поява в ЗМІ

Отже, окрім загроз існують ще можливості для компанії, серед них як національна політика України, представником підприємницького сектору якого є правовласник проєкту «Оптимізація автоматизованої системи обробки деталей на основі моделі Лотки-Вольтерри», так і зміни споживчої поведінки клієнтів в бік демократизації витрат.

Надалі більш детально розглянуто конкурентне середовище стартап-проєкту, таблиця 4.8.

Таблиця 4.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
За типом конкуренції	Монополістичний тип конкуренції. На ринку присутня велика кількість компаній, які пропонують подібні, але не ідентичні товари. Наявна диференціація на основі відмінних характеристик 4Р. Споживачу важко оцінити корисність та якість товару, цінова еластичність присутня, але її вплив не є критичним в процесі прийняття рішення в умовах стабільної ситуації	Формування унікальної пропозиції на основі 4Р (product, place, promotion, price). Побудова бренду

За рівнем конкурентної боротьби	Міжнародний ринок технологій імітаційного моделювання	Локалізація комплексу маркетингу під потреби аудиторії
За галузевою ознакою	Галузева. Галузь розробки програмного забезпечення для B2B	Моніторинг досягнень галузі, проведення власних досліджень
Конкуренція за видами товарів	Товарна-видова. Реалізуються програмні рішення в галузі розробки	Бенчмаркенг, адаптація успішних кейсів конкурентів
За характером конкурентних переваг	Споживачу складно оцінити якість товару. Відчуття споживчої вартості може варіюватись від очікувань клієнта, наприклад, простий інтерфейс з мінімальним набором функцій за доступною ціною або високо функціональний інноваційний інструмент для новаторів	Політика цінових сходинок
За інтенсивністю – марочна	Товар реалізується і в подальшому сприймається під брендом розробника	Формування комплексу маркетингових заходів щодо виведення нового товару на ринок

Більш детальний аналіз конкуренції з використанням моделі «5 сил М. Портера» зображено на рисунку 4.2.



Рисунок 4.2 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Проаналізовано та представлено обґрунтування зазначеним факторам конкурентоспроможності товару з рисунку 4.2.

Таблиця 4.9 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактори конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Простота користування та доступність товару	Зрозумілість та інтуїтивність роботи з інтерфейсом, мінімізація потенційних витрат на додаткову повну освіту працівників підприємства.
2	Унікальність торгівельної пропозиції	Здатність задовольняти потреби споживачів краще за конкурентів, наявність аутентичних особливостей що викликають прямі асоціації з брендом, креативний спосіб комунікації та навчання персоналу тощо. Все це сприяє становленню іміджу марки в свідомості споживачів
3	Вартість впровадження технології на виробництві	Ціна переходу з однієї технології задоволення потреб має бути нижчою або відповідати критерію «ціна-якість» і приносити додаткову вигоду споживачеві. Таким чином клієнт компенсує витрати на переключення
4	Наявність ноу-хау	Наявність технології, яка була б захищена на юридичному рівні і давала привілеї в володінні знаннями, навичками, досвідом. Таким чином, компанія робить інвестиції в перспективі та захищає своє позиції на даний момент
5	До та після продажне обслуговування	Наявність додаткового обслуговування, зокрема тренінгів по роботі з програмою, лекцій з керування, інструкції користування, консультації на сайті підвищує довіру до фірми та її професіоналізму
6	Технічні характеристики товару	Набір інструментів аналізу даних (чутливості, оптимізація, метод Монте-Карло, сценарний аналіз) та представлення результатів (анімація моделі та візуалізація даних, перегляд в режимі реального часу). Системні вимоги (операційна система, вага вільного дискового простору)

Визначимо чи вважається пропозиція компанії конкурентоспроможною порівняно з аналогами згідних даних характеристик, таблиця 4.11 (умовні позначення представлені у табл. 4.10).

Таблиця 4.10 – Умовні позначення

№ п/п	Компанія	Позначення
1	Моя компанія	●
2	GPSS World	■
3	Arena	★
4	Renishaw	▲

Таблиця 4.11 – Аналіз конкурентоспроможності товару

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з моїм проектом						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1	Простота користування товару	19					●	▲	★
2	Унікальність торгівельної пропозиції	17					★	▲	■
3	Вартість впровадження технології на виробництві	16					■	★	●
4	Наявність ноу-хау	15						■	★
5	До та після продажне обслуговування	18				●		★	■
6	Технічні характеристики товару	20					●	★	■

Завершення дослідження ринку за допомогою SWOT-аналізу представлено у таблиці 4.12.

Таблиця 4.12 – SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони	Слабкі сторони
Наявність ноу-хау; Вартість;	Нова торгова марка без представленості на ринку; Посередній інтерфейс;
Можливості	Загрози
Підтримка малого та середнього бізнесу з боку держави – отримання кредитів, спрощена система оподаткування, конкурси на державні проекти; Падіння доходів компаній – заповнення прогалин в діяльності конкурентів за рахунок вартості товару; Бренд країни – приваблення інвестицій в проект;	Науково технічний прогрес що спричинить відставання технології; Скорочення платоспроможності обраних сегментів до мінімуму – падіння цільового прибутку компанії; Підвищення конкурентної боротьби; Деформація уявлення споживачів про потенційну якість товару – завищені очікування «ідеальної точки»;

Таблиця 4.13 – Альтернативи ринкової поведінки

№ п/п	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів (низька, помірна, висока)	Строк реалізації (мінімальний, короткий, середній, довгий)
1	Продаж ліцензії на право власності проєкту іншій компанії	помірна	короткий
2	Виведення товару на ринок під власним брендом за кошти отримані від інвесторів	висока	середній
3	Монетизація проєкту за рахунок підписки	висока	довгий
4	Комерціалізація за рахунок надання платної ліцензії на користування	висока	довгий
5	Збут та просування товару через сайт виробника	висока	середній
6	Збут та просування товару через дистриб'юторів	висока	середній
7	Просування через телебачення та традиційні канали поширення інформації	низька	довгий
8	Просування через спеціалізовані канали: виставки, форуми, нативна реклама на тематичних сайтах	висока	короткий

Отже, серед зазначених альтернатив було обрано наступні: реєстрація торгової марки, залучення інвестиційних коштів, форма продажу – ліцензія, збут та просування товару через власний сайт, залучення спеціалізованих джерел для проведення рекламних кампаній. Інші альтернативи є нерелевантними та можуть призвести до збільшення кінцевої вартості продукту, як, наприклад, застосування багатоканального розподілу.

4.3 Розроблення ринкової стратегії та маркетингової програми проєкту

Перш за все потрібно визначити стратегію охоплення ринку, тобто описати цільові групи споживачів даного товару. Всього в Україні 3918 одиниці діючих підприємств, які зайняті в промисловості (442 – середні, 3464 – малі підприємства) [44].

Таблиця 4.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	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	Малий бізнес з технічним обладнанням в цехах (повний цикл виробництва та/або аутсорсинг). Обслуговують місто, де розміщені та його околиці. Зайняті в сфері приладобудування, різного роду та виду машинобудування, виготовлення деталей тощо	Рання більшість	10% вже мають ПЗ-аналог 85% не знають про існування технології, не усвідомлюють потребу тощо; ще 5% вагаються над покупкою ліцензії у конкурентів	Помірна. Більшість компаній - конкурентів працюють з середнім та великим бізнесом. Малий бізнес рідше звертається до впровадження даної технології	Найменші бар'єри входу. В споживачів може бути мінімальний або відсутній досвід роботи з технологією. Користувачам важко оцінити якість товару та його технологічну собівартість
2	Середній бізнес з технічним обладнанням в цехах (повний цикл виробництва та/або аутсорсинг). Мають розвинену логістичну структуру та декілька виробництв з виготовлення товарів та їх комплектуючих. Мають постійну базу лояльних клієнтів. Зайняті в сфері приладобудування, різного роду та виду машинобудування, конструкторських рішень для будування тощо	Ранні послідовники	35% користуються подібними засобами; 20% вагаються над покупкою; 25% не усвідомлюють потребу або корисність продукту, 20% жодного разу не чули про технологію	Висока. Більшість конкурентів орієнтують на новаторів (великі компанії або «ластівки») та ранніх послідовників (середній бізнес), тому інтенсивність вище середнього	Вхід в сегмент ускладнено. Це – друга хвиля підприємців, що вводять в роботу технології. Наявний персонал, який відповідає за інформаційне забезпечення. Мають досвід роботи з ІТ ПЗ.

Визначено охоплення потреб, які можна задовольнити в даних сегментах, таблиця 4.15.

Таблиця 4.15 – Обрані цільові групи

№ п/п	Цільові групи	Які потреби ми можемо задовольнити
1	Малий бізнес, що мають цехи механічної обробки деталей	Підвищення прибутковості бізнесу за рахунок зменшення витрат на обслуговування; Досягнення бажаного рівня оптимізації за рахунок наявних ресурсів; Мінімізація ризику через програвання найбільш вірогідних сценаріїв; Раціоналізація вибору шляхом врахування статистичних показників; Збільшення коефіцієнта корисної віддачі; Забезпечення стійкості підприємства;
2	Середній бізнес, що мають цехи механічної обробки деталей	Моделювання дозволяє експериментувати без втрати ресурсів та часу; Раціоналізація вибору шляхом врахування статистичних показників; Статус. Впровадження ІТ технологій сприяє становленню образу «передового підприємства»; Зменшення впливу постачальників на діяльність; Забезпечення стійкості підприємства;

Було обрано два сегменти, з якими планується співпраця. Далі описано стратегію розвитку для компанії.

Таблиця 4.16 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проєкту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Виведення товару на ринок під брендом виробника з залученням коштів інвесторів. Збут та просування через сайт	Цільовий маркетинг	Спеціалізація програми на сфері промисловості. Вартість є нижчою за товари-аналоги. Наявність особливих знань та навичок, які формують унікальність продукту	Стратегія спеціалізації на основі диференціації та лідерства за витратами

Таблиця 4.17 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проєкт «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні, на ринку присутні товари-аналоги. Відмінність полягає в стратегії охоплення ринку (більшість компаній – універсали, або працюють в одній сфері промисловості, наприклад, нафтопереробна галузь)	Компанія пропонує свої послуги клієнтам, які вперше працюють за даною технологією або мають мінімальний досвід користування	Так, компанія наслідують успішний досвід конкурентів (бенчмаркінг)	Стратегія заняття конкурентної ніші. Оскільки обрані сегменти вважаються прибутковими, але недостатньо привабливими для головних гравців ринку існує можливість зайняття цієї ніші. Задля утримання та нарощення позиції компанія має розвивати сильну торгову марку, формувати лояльність в клієнтів та будувати вхідні бар'єри для інших учасників ринку

Стратегія нішера (фахівця) дозволить розвивати потенціал спеціалізації і поступово нарощувати масштаб впливу на ринку. Задля формування відповідного уявлення про бренд слід розглянути стратегію позиціонування, таблиця 4.18.

Таблиця 4.18 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проєкту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проєкту (три ключових)
1	Малий бізнес: Простота користування для середньостатистичного	Стратегія спеціалізації (на основі лідерства за витратами)	Програма є спеціалізованою, тобто асортимент функцій є мінімально необхідним. Для інтеграції технології	Спеціалізація на сфері діяльності; Доступний для швидкого

	спеціалісту без додаткової освіти; Мінімальна вартість задіяння технології в сформованій бізнес моделі; Функції прогнозу та оптимізації;		буде достатньо кількох спеціалістів з посереднім рівнем знань; Вартість є нижчою за товари-аналоги. Використання моделі Лоткі-Вольтерра без закупівлі додаткових транспортних модулів	розуміння та роботи інтерфейс; Демократичність цінника;
2	Середній бізнес: Повнота графічного відтворення; Унікальність; Функції прогнозу та оптимізації на основі статистичних даних; Автономність;	Стратегія спеціалізації (диференціація на основі унікальних характеристик товару)	Наявність проведеної моделі Лоткі-Вольтера для побудови моделей; Спеціалізація на сфері діяльності; Відсутність досвіду в компанії-розробника, тобто клієнт отримує ексклюзивність;	Спеціалізація на сфері діяльності; Наявність ноу хау; Новий інноваційний розробник («ластівка»)

В цьому розділі розглянуто які ринкові стратегії було обрано для проєкту «Оптимізація автоматизованої системи обробки деталей на основі моделі Лотки-Вольтерри». Фундаментом для побудови стратегії стали компетенції компанії, які мають перевагу над конкурентами. Тож, даний проєкт – автоматизована система, що дозволяє експериментально визначити який із можливих сценаріїв є найбільш виграшним для користувача. Як висновок, було запропоновано до впровадження стратегію спеціалізації з займанням конкурентної ніші.

Попередньо сформовано ринкову стратегію виведення товару на ринок. Надалі потрібно розглянути маркетингову програму, тобто комплекс взаємопов'язаних завдань і заходів для реалізації поставленої управлінської цілі.

Таблиця 4.19 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Рационалізація рішення	Розрахунок на основі кількісних показників математичної моделі Лоткі-Вольтера	Спрощений інтерфейс для роботи з локальною проблематикою; Застосування моделі Лоткі-Вольтера, яка не є мейнстримом
2	Мінімізація ризику при	Продуктування сценарії на основі моделі	Застосування моделі Лоткі-Вольтера, яка не є мейнстримом

	збережені/збільшені доходу (надійність)	максимально наближеної до реальної ситуації	
3	Максимізація віддачі від наявних ресурсів без впливання додаткового капіталу	Експериментальний підхід до вирішення проблеми в програмному середовищі	Технологічна собівартість розробки нижча за конкурентів завдяки концентрації зусиль на області застосування; Скептицизм щодо впровадження технології може бути скомпенсований за рахунок надання до та після продажного обслуговування
4	Підвищення конкуренто спроможності підприємства	Усунення існуючих збоїв, перешкод в організації цеху	Спрощений інтерфейс для роботи з локальною проблематикою;

Тож, в товар закладено здатність задовольняти описані потреби клієнтів. За допомогою тривірневої моделі визначено яким чином він буде реалізований.

Таблиця 4.20 – Опис трьох рівнів моделі товару

Таблиця 4.20. Опис рівнів моделі товару			
Рівні товару	Сутність та складові		
Товар за задумом	Інструмент прийняття рішень щодо оптимізації виробництва на основі результатів проведених експериментів в середовищі програми		
Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/ Е/Ор
	Застосування методу Лоткі-Вольтера	Нм	Тх-Тл
	Модель монетизації – ліцензія	Нм	Е
	Графічна побудова моделі	Нм	Тл
	Мова програмування	Нм	Тх
	Відкрита архітектура	Нм	Тх-Тл
	Візуалізація даних	Нм	Тх-Тл
	Оптимізація	Нм	Тх-Тл
	Системні вимоги	Операційна система	Microsoft Windows 2000, Unix, Linux
		Апаратні вимоги	215 Мб вільного дискового простору 1 Гб RAM
Якість: Уніфікований процес розробки програмного забезпечення (Unified Software Development Process) – опис механізму оцінки відповідності проекту та його стадій реалізації; План контролю якості ПЗ (Software Quality Assurance Plan) – описує яким чином проєкт має досягти показників якості; Проектна документація ПЗ (Software Design Document) – описує архітектуру та елементи проєктування; Документація по тестуванню ПЗ (Software Test Documentation) – описує яким чином має проводитися тестування.			

	Марка: «Оптимодел»
Товар з підкріпленням	До продажу: Консультації; Надання демо доступу;
	Після продажу: Підтримка та навчання персоналу; Курси з підготовки персоналу до роботи з продуктом; Короткі тренінги на сайті виробника для ознайомлення з товаром; Форум користувачів;
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання	Патентування

На наступному кроці, потрібно визначити межі встановлення цінового порогу для проєкту «Оптимізація автоматизованої системи обробки деталей на основі моделі Лотки-Вольтерри» на основі аналізу рівнів цін конкурентів, таблиця 4.21. Для оцінки буде застосований метод експертної оцінки та відкриті вторинні джерела [45].

Таблиця 4.21 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	Дослідження експертною групою спеціалістів може вартувати від 40 000 грн	Ціна за професійну версію: Від 2000 дол. США грн до 6167 дол. США	Малі підприємства: до 10 млн євро за рік; Середнє підприємство: до 50 млн євро;	Від 1500 дол США до 1900 дол США

В таблиці 4.22 вказано форму організації системи збуту.

Таблиця 4.22 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Оптимальна система збуту
1	B2B (мале та середнє підприємство): Відповідальність щодо закупівлі належить особам, що приймають рішення (управлінець, голова цеху, голова інформаційного забезпечення, голова відділу бухгалтерії); Переважають раціональні мотиви покупки; Оцінюють ринок та розглядають декілька постачальників технологій перед покупкою; Бажають отримати досвід користування товаром перед укладанням договору (MPV або демо доступ); Займаються пошуком вторинної інформації на тематичних сайтах, форумах, конференціях або виставках;	Через сайт компанії виробника, особисті продажі

4.4 Організація реалізації стартап-проекту

В таблиці 4.23 зазначені елементи механізму просування товару на ринок.

Таблиця 4.23 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Мале підприємство: Власник бізнесу повністю залучений в виробництво і приймає на себе роль «локомотиву» розвитку бізнесу, тобто він є центральною фігурою, що повністю бере на себе відповідальність. Для підприємця складно делегувати обов'язки, що несуть вагомий вплив. Перед покупкою обов'язково ознайомлюються з ринком та шукають відповідну	Пошукова система Google, пошук за ключовими словами, тематичні сайти, форуми підприємців, відео в YouTube, рідше відвідують фізичні заходи (виставки, конференції)	Вартість впровадження та обслуговування технології на підприємстві є нижчою за середню ринкову; Простота користування програмою; Спеціалізація;	Проінформувати про наявність технології та її користь для малого бізнесу; Сформувати уявлення у споживача про товар та його вигоди порівняно з конкурентами (ціна та спеціалізація); Довести, що покупка є вигідною порівняно до потенційних витрат на товари-субститути	«Зручний засіб оптимізації виробництва для вашого бізнесу» «Підвищення продуктивності підприємства за рахунок лише наявних ресурсів» «Спеціалізований додаток для підприємств з механічної обробки деталей»

	інформацію в інтернеті.			(послуги агентств з обстеження обладнання, організації логістичних процесів тощо)	
2	Середнє підприємство: Наявна розгалужена структура організації праці. Власник надає повноваження ОПР для укладання угод. Присутні спеціалісти з профільною освітою в сфері ІТ. Персонал проводить аналіз вторинної інформації і формує звіт для вищого керівництва. Нижча еластичність за ціною	Пошукова система Google, пошук за ключовими словами, тематичні сайти, форуми підприємців, відео в YouTube. Частіше приймають участь або виступають платних заходах	Наявність ноу хау; Повний цикл обслуговування клієнтів; Молода команда розробників з ідеями для бізнесу в сфері промислового виробництва ;	Проінформувати про наявність технології та її користь для середнього бізнесу; Переконати, що товар є кращим за конкурентів завдяки спеціалізації та наявності ноу хау; Проінформувати про появу нового бренду на ринку;	«Інструмент стратегічного планування на основі імітаційного моделювання виробництва» «Новий погляд на оптимізацію виробництва»

Для реалізації поставлених задач потрібно сформувати календар планування, в якому окреслені дедлайни на наступні 6 місяців, таблиця 4.24.

Таблиця 4.24 – Календарний план

№ п/п	Зміст етапу	Період реалізації , місяць						Собівартість реалізації, грн
		1	2	3	4	5	6	
1	Формування концепції товару, написання технічного завдання, оформлення документації	Concept document, Vision document, Feature List						18000 грн/людину
2	Розробка та тестування товару	Фінальна версія товару						130000 грн
3	Маркетингові дослідження		Аналіз маркетинг. середовища, власного			Аналіз товару		18000*2 міс = 36000 Організація досліджень: 20000 грн

			потенціалу, конкурентів					Всього:56000
4	Розробка маркетингової стратегії та тактики				Комплекс маркетинг. заходів			36000 грн
5	Випуск товару: розробка сайту; реклама в Google, контекстна реклама,						Реалізація програми	20000 грн/міс
Всього за перші 6 місяців								260000

Визначена сума є мінімально допустимою при умові наявності 2 спеціалістів: маркетолога та розробника. В разі збільшення персоналу сума може зрости щонайменше до 300 000 грн за 6 місяців. До додаткових витрат віднесено:

- юридичне оформлення інтелектуальної власності (40000 грн);
- реєстрація торгової марки (40000 грн);
- підготовка звіту та документації інвестиційного плану (10000 грн);
- закупівля основних засобів (50000 грн);
- оренда приміщення на пів року (60000 грн);
- комунальні платежі за 6 місяців (12000 грн);
- інше (10000грн).

Загальна вартість склала 222000 грн. Отже, сумарні витрати на реалізацію виробництва дорівнюють мінімум 482000 грн.

Висновки до розділу 4

Отже, в даному розділі магістерської роботи студентом було проведено опис п'яти пунктів.

1. Опис ідеї. Автором було проаналізовано зміст ідеї проєкту «Оптимізація автоматизованої системи обробки деталей на основі моделі Лотки-Вольтерри»; сфери та напрямки його застосування; вигоди, що пропонуються потенційним споживачам; ключові відмінності від конкурентів. Як результат, сформовано дві таблиці «Опис ідеї проєкту» та «Визначення сильних, нейтральних та слабких сторін ідеї проєкту». Аналіз показав, що ідея є життєздатною. Фінансовий аналіз визначив економічну доцільність виведення товару.
2. Технологічний аудит ідеї проєкту. Було досліджено альтернативні способи реалізації ідеї та занесено їх до таблиці «Технологічна здійсненність ідеї проєкту». Визначено найбільш оптимальний варіант – побудова моделей з допомогою спеціалізованого комп'ютерного середовища.
3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту. За допомогою аналізу ринкових можливостей та загроз сформовано уявлення про перспективність проєкту. Визначено товар конкурентоспроможним на основі порівняльного аналізу техніко-економічних сторін з конкурентами. За допомогою SWOT-аналізу систематизовано матеріал та зазначено сильні та слабкі сторони проєкту: спеціалізація, низька технологічна собівартість. Як результат, обрано найбільш ймовірну та короткострокову альтернативу ринкового впровадження: реєстрація торгової марки, залучення інвестиційних коштів, форма продажу – ліцензія, збут та просування товару через власний сайт, залучення спеціалізованих джерел для проведення рекламних кампаній.
4. Розроблення ринкової стратегії проєкту. Сформовано узгоджену систему рішень ринкової поведінки компанії при виведенні нового товару на ринок. Обрано сегменти з якими планується співпраця: малий та середній бізнес, що

має обладнання для механічної обробки. Стратегією охоплення ринку став цільовий маркетинг, а конкурентною – зайняття конкурентної ніші. Тож, обраною базовою стратегією розвитку є спеціалізація.

5. Розроблення маркетингової стратегії стартап проєкту. В заключному підрозділі розглянуто комплекс маркетингу та зазначено план дій по його реалізації. Так, визначено цінову стратегію – стратегія глибокого проникнення на ринок, збут через нульові канали розподілу тобто сайт компанії та особисті продажі. Маркетингове просування та комунікаційна стратегія засновані на сильних сторонах продукту для двох сегментів. Для малого бізнесу – демократична вартість застосування технології, для середнього – концентрація зусиль розробників на сфері діяльності, наявність повного циклу обслуговування. На завершення, було проведено приблизний розрахунок бюджету, який потрібний на реалізацію проєкту на термін до 6 місяців. Ця сума склала 482000 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Після проведеного дослідження можна сформулювати висновки. Отже, в даній роботі було реалізовано наступні кроки:

1. На першому етапі дипломного проєктування було проведено аналіз актуальності обраної теми, постановку завдань, порівняльний аналіз існуючих рішень. Було визначено, що найпоширенішим прикладом автоматизованої системи обробки деталей є гнучка автоматична дільниця, яка, в свою чергу, є складовою гнучкої виробничої системи. Окрім того, було проаналізовано особливості та характеристики гнучких систем саме для механічної обробки деталей. Було досліджено актуальний стан оптимізації автоматизованих систем механічної обробки деталей та проаналізовано наукові праці за цією темою. Було досліджено основні принципи проєктування внутрішньої логістики на виробництві. Таким чином, на основі проведеного дослідження вдалось визначити та сформулювати напрям наукового дослідження. Також, на цьому етапі був проведений аналіз основних методів та моделей оптимізації виробничих систем, проведено порівняння таких методів. Було досліджено, для яких систем краще підходять ті чи інші математичні моделі. В результаті було визначено, що наразі не існує універсальних математичних моделей для оптимізації виробничих систем виготовлення точних деталей приладів, тому для кожної конкретної системи слід визначати ключові параметри та будувати математичну модель.
2. На другому етапі проєктування було описано основні параметри та характеристики виробничої дільниці, що розглядається. Окрім того, розглянуто основи моделі Лотки-Вольтерри, проаналізовано класичну модель та її модифікації. На основі цього аналізу було проведено обґрунтування вибору моделі для моделювання системи, що оптимізується, визначені основні об'єкти, що впливають на автоматизовану систему обробки деталей з огляду моделі оптимізації роботи цієї системи.

3. На третьому етапі було побудовано математичну модель системи на основі моделі Лотки-Вольтерри, вирішено її рівняння методом Рунге-Кутти та описано результати. За допомогою цих дій вдалось оптимізувати систему: для обробки сталої партії деталей на дільниці потребується 1 робоча зміна та 8 транспортних модулів, замість заданих 2 змін та 10 модулів. Результати моделювання дають змогу стверджувати, що застосування конкурентної моделі видів Лотки-Вольтерри для оптимізації виробничого процесу виявилось досить ефективним методом вирішення задач такого типу. Таким чином, застосування даної моделі для вирішення завдання оптимізації виробництва можна вважати певною науковою новизною в питанні оптимізації керування виробничим процесом.
4. Додатково було реалізовано програмне забезпечення, що моделює систему та будує графік для візуалізації оптимізації виробництва. Бекенд додатку було реалізовано мовою Java, а фронтенд – мовою TypeScript з використанням фреймворку Angular. В якості СУБД обрано PostgreSQL. Для отримання результатів від користувача вимагається лише введення параметрів системи у вікні користувача.
5. Четвертим етапом дипломного проектування було створення маркетингової та ринкової стратегії, порівняльний аналіз конкурентів і створеної системи, в рамках розробки стартап-проекту. Аналіз показав, що серед переваг створеного додатку є: простота користування товаром, унікальність торгівельної пропозиції, низька вартість впровадження технології на виробництві. Окрім того, існує потенційний високий попит на рішення, що пропонується, на ринку. Таким чином, можна говорити про рентабельність розвитку продукту, розрахована вартість якого складає 482000 грн. і включає в себе всі етапи та спеціалістів, які відповідальні за безпосереднє створення додатку і маркетинг.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Е.С. Пуховский, Технологические основы гибкого автоматизированного производства. Київ, Україна: Вища школа, 1989.
- [2] А.А. Краснопрошина, та ін., Системы управления гибким автоматизированным производством. Київ, Україна: Вища школа, 1987.
- [3] A. Raouf, Flexible Manufacturing Systems: Recent Developments (Manufacturing Research and Technology). Elsevier Science, 1995.
- [4] Н. Р. Веселовська, «Методологічні аспекти підвищення якості процесу механообробки в сучасних умовах», Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія : Технічні науки, вип. 11(2), с. 14-19, 2012.
- [5] В. А. Мажара, М.О Годунко, Основи гнучкого автоматизованого виробництва. Методичні вказівки до виконання самостійної роботи студентами спеціальності “Прикладна механіка”. Кропивницький, Україна: ЦНТУ, 2018.
- [6] Л. С. Ямпольський та ін., Гнучкі комп’ютеризовані системи: проєктування, моделювання і керування: Підручник. Житомир, Україна: ЖДТУ, 2005.
- [7] Є.С. Пуховський, Ю.М. Малафєєв, Проєктування гнучких виробничих систем машинобудування: Навч. посібник. Частина I. Київ, Україна: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017.
- [8] Н.Р. Веселовська, «Аналіз сучасного стану верстатних комплексів механічної обробки в машинобудуванні», Вісник НТУУ «КПІ». Серія : Машинобудування, № 64, с. 91–99, 2012. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/3036/1/91-64.pdf>
- [9] І. Ю. Черепанська, В. А. Кирилович, А. Ю. Сазонов, Б. Б. Самотокін, Планування, моделювання та верифікація процесів в гнучких виробничих системах. Практикум : навч.-метод. посібн. Житомир, Україна: ЖДТУ, 2015.
- [10] Й.М. Петрович, Г.М. Захарчин, Організація виробництва: підруч. Львів, Україна: Магнолія плюс, 2014.

- [11] М. М. Шкільняк, О. Ф. Овсянюк-Бердадіна, Ж. Л. Крисько, І. О. Демків, Менеджмент: Навчальний посібник. Тернопіль, Україна: Крок, 2017.
- [12] А.В. Шегда, Т.Б. Харченко, Ю.А. Сагайдак, Л.О. Пашнюк, Економіка підприємства: збірник тестів і задач: навч. посіб. Київ, Україна: Центр учбової літератури, 2010.
- [13] С.П. Выслоух, «Проектирование технологии в условиях гибкого автоматизированного производства.», Перспективные технологии, оснастка и методология подготовки производства. Научный технический сборник, с. 89-92, 1997.
- [14] V. Volterra, Lessons on the Mathematical Theory of Struggle for Life. Paris, France: Gauthier-Villars, 1931.
- [15] Р. Л. Лупак, Т. Г. Васильців, Конкурентоспроможність підприємства : навч. посіб. Львів, Україна: Видавництво ЛКА, 2016.
- [16] H. Haken, Information and Self-Organization. Berlin, Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.
- [17] В. М. Томашевський, Моделювання систем. Київ, Україна: Видавнича група BHV, 2005.
- [18] Д. Я. Хусаїнов, І.І. Харченко, А.В. Шатирко Введення в моделювання динамічних систем: навч. посібн. Київ, Україна: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2010.
- [19] T. R. Malthus, An essay on the principle of population, as it affects the futureimprovement of society. London, UK: Science, 1798.
- [20] А. Е. Кононюк. Обобщённая теория моделирования. Київ, Україна: Освіта України, 2012.
- [21] W. E. Ricker, Journal of the Fisheries Research Board of Canada. Canada: Chouette Publishing, 1954.
- [22] Lotka-Volterra model. [Online]. Available: https://teaching.smp.uq.edu.au/scims/Appl_analysis/Lotka_Volterra.html.
- [23] M. Henon, «On the Numerical Computation of Poincare Maps», Physica D, V.5, No2, 3, p. 412-414, 1982.

- [24] S. Maynard, John Models in Ecology. Cambridge, UK: Cambridge University Press 2010.
- [25] А.М. Самойленко, М.О. Перестюк, І.О. Парасюк, Диференціальні рівняння: підручник – 2-ге вид., перероб. І доп. Київ, Україна: Либідь, 2003.
- [26] В. Gompertz, On the Nature of function Expressive of the Law of Human Mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. London, UK: Royal Society of London, 1825.
- [27] В. І. Лаврик, Моделювання і прогнозування стану довкілля: підруч. Київ, Україна: Видавничий центр «Академія», 2010.
- [28] Л.О. Волонтир, Н.А. Потапова, І.М. Ушкаленко, І.А. Чіков, Оптимізаційні методи та моделі в підприємницькій діяльності: Навчальний посібник. Вінниця, Україна: ВНАУ, 2020.
- [29] С.Т. Пацера, В.В. Проців, Конспект лекцій з дисципліни «Системно-структурна оптимізація процесів обробки на верстатах з ЧПК». Дніпро, Україна: НТУ «Дніпровська політехніка», 2020.
- [30] С.В. Панченко, М.П. Медиченко, В.П. Лисечко, Методи оптимізації та моделювання: навч. посібник. Харків, Україна: УкрДАЗТ, 2015.
- [31] М. І. Жалдак, Ю.В. Триус, Основи теорії і методів оптимізації: навч. пос. Черкаси, Україна: Брама-Україна, 2005.
- [32] Г. П. Чуйко, О. В. Дворник, О. М. Яремчук. Математичне моделювання систем і процесів : навч. пос. Миколаїв, Україна: Видавництво ЧДУ імені Петра Могили, 2015.
- [33] Е. М. Гуліда, О. О. Ядченко, В. В. Ступницький, Гнучкі виробничі системи для механічної обробки. Львів, Україна: Світ, 1992.
- [34] О. Т. Іващук, Економіко-математичне моделювання: навчальний посібник. Тернопіль, Україна: ТНЕУ “Економічна думка”, 2008.
- [35] П. І. Бідюк, О. П. Гожий, Ймовірісно-статистичні методи моделювання і прогнозування. Миколаїв, Україна: Чорноморський державний університет ім. Петра Могили, 2014.

- [36] А. О. Матвєєва, С. П. Вислоух, «Моделювання роботи технологічного обладнання на основі структурно-логічного методу», XI Науково-практична конференція студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування»: збірник статей, с. 224–226, 2018.
- [37] What is FMS?. [Online]. Available: <https://www.slideserve.com/shadi/what-is-an-fms>
- [38] О.М. Сумець, П.С. Сиромятніков, Виробнича логістика: технічні системи і прийоми раціоналізації переміщення матеріальних потоків : навч. посібник. Дніпро, Україна: ТОВ «Пром-Арт-Проект», 2018.
- [39] 2021 Annual Report. [Online]. Available: <https://www.annualreports.com/Company/teck>
- [40] В.С. Антонюк, Л.Г. Полонський, В.І. Аверченков, Ю.А. Малахов, Методологія наукових досліджень: навч. посіб. Київ, Україна: НТУУ «КПІ», 2015. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://oiep.kpi.ua/downloads/disc/anton.pdf>
- [41] К. О. Бояринова, Розроблення стартап-проєкту: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей. Київ, Україна: НТУУ «КПІ», 2016.
- [42] AnyLogic simulation software. [Online]. Available: <https://www.anylogic.com/>
- [43] SIMULATION SOFTWARE MARKET - GROWTH, TRENDS, COVID-19 IMPACT, AND FORECASTS (2022 - 2027). [Online]. Available: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/simulation-software-market>
- [44] Кількість підприємств за видами економічної діяльності з розподілом на великі, середні, малі та мікропідприємства. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <http://kh.ukrstat.gov.ua/index.php/kilkist-pidpriemstv-za-ikh-rozmiramy-za-vydamy-ekonomichnoi-diialnosti>
- [45] Т. Г. Васильців, В. І. Волошин, А. М. Гуменюк, Пріоритети та засоби зміцнення економічної безпеки малого і середнього підприємництва: монографія. Львів, Україна: Вид-во Львів. комерц. акад., 2009.
- [46] Cay S. Horstmann, Core Java, Volume I: Fundamentals, 12th Edition. USA: Oracle Press, 2021.

- [47] TypeScript. [Online]. Available: <https://www.typescriptlang.org/>
- [48] Monolithic architecture vs microservices. [Online]. Available: <https://divante.com/blog/monolithic-architecture-vs-microservices/>
- [49] Spring Framework. [Online]. Available: <https://docs.spring.io/spring-framework/docs/current/reference/html/>
- [50] PostgreSQL. [Online]. Available: <https://www.postgresql.org/docs/12/index.html>
- [51] Apache maven. [Online]. Available: <https://maven.apache.org/index.html>
- [52] М. Роберт, Чистий код: створення і рефакторинг за допомогою Agile. Харків, Україна: Вид-во «Ранок»: Фабула, 2020.
- [53] Angular. [Online]. Available: <https://angular.io/docs>

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Список наукових та навчально-методичних праць

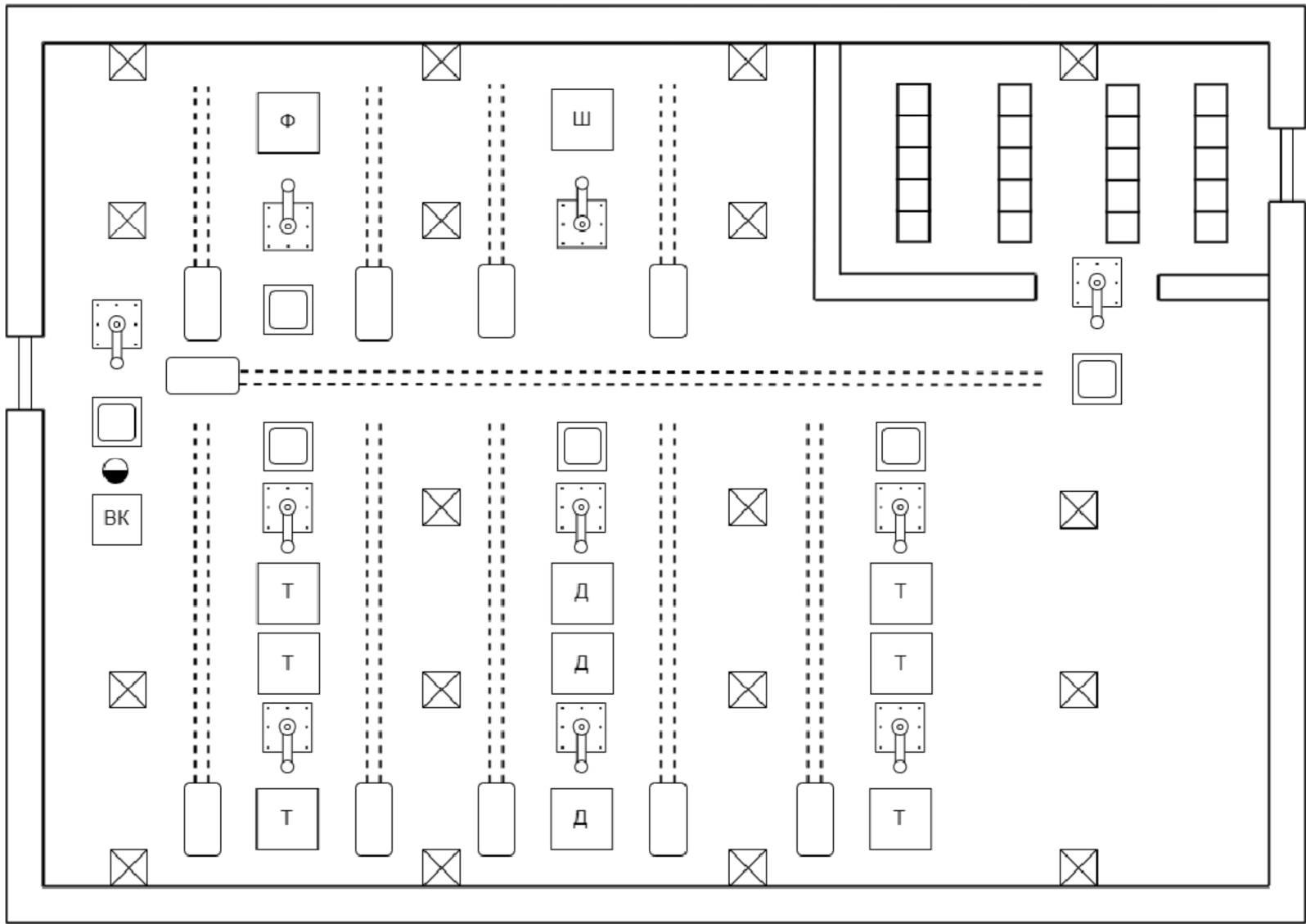
Даценко Ольги Романівни

№ п/п	Назва (мовою оригінала)	Вихідні данні	Обсяг друк. Стор.	Співавтори
1	2	3	4	5
1	ОПТИМІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ ЛОТКИ- ВОЛЬТЕРРИ (стаття)	Всеукраїнська науково- практична інтернет- конференція «ВІТЧИЗНЯНА НАУКА НА ЗЛАМІ ЕПОХ: ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ», 20 жовтня 2022 року	5	
2	ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛІ ЛОТКИ- ВОЛЬТЕРРИ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ (стаття)	«Вісник Київського політехнічного інституту. Серія приладобудування», вип.64(2), 2022	8	Клочко Т.Р
3	ОПТИМІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ ЛОТКИ- ВОЛЬТЕРРИ (стаття)	XVIII Науково- практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та Автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні»	4	

ДОДАТОК Б

**Структурно-компонувальна схема автоматизованої
дільниці**

Перв. примен.	Справ. №	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.

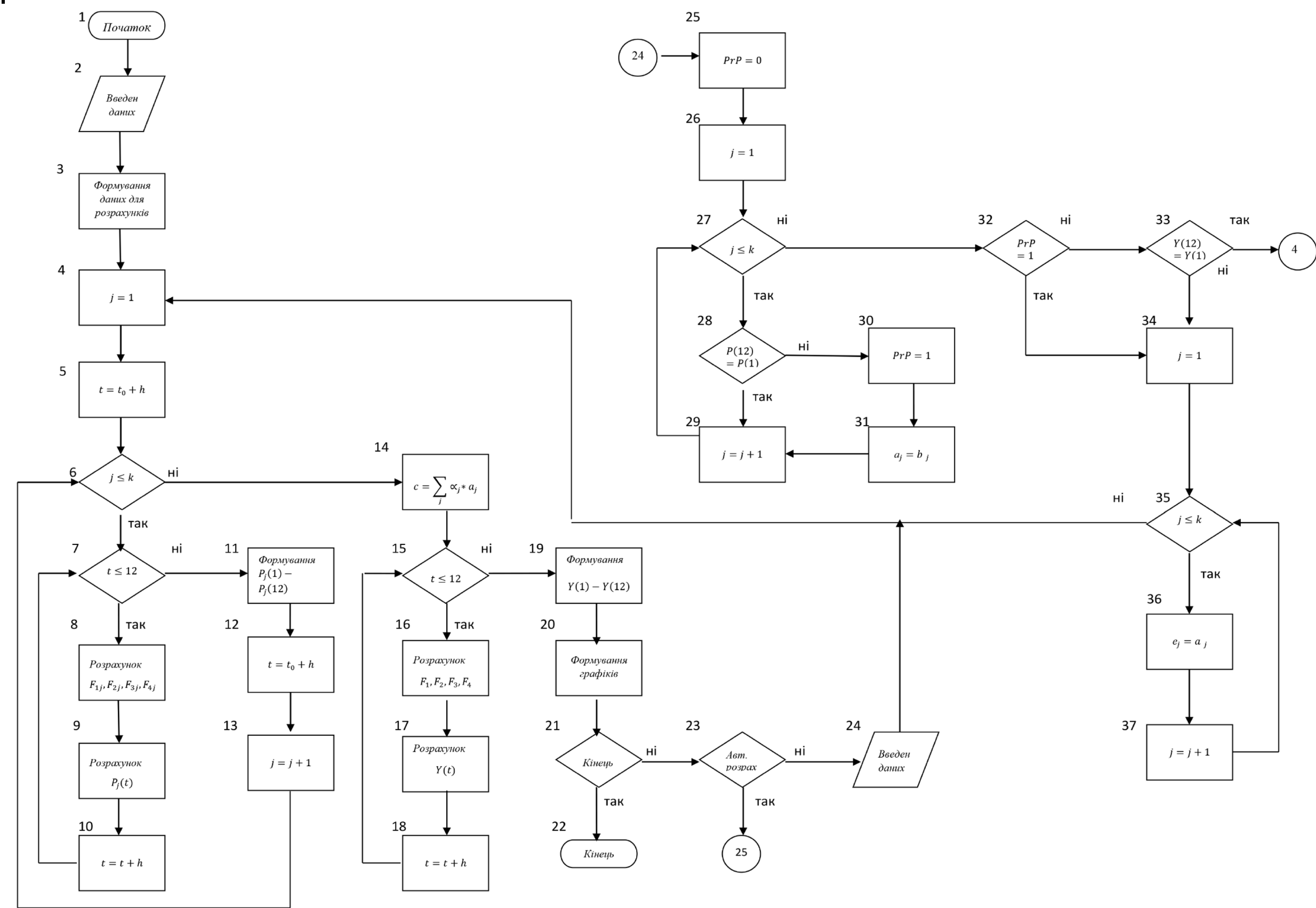


- ВК - висококваліфікований робітник
 Т - токарний верстат
 Д - довбильний верстат
 Ф - фрезерний верстат
 Ш - шліфувальний верстат
 X - колона
 [rectangle] - транспортний модуль
 [circle] - місце ВК робітника
 [robot arm] - робот маніпулятор
 [square] - накопичувач

						ДОДАТОК Б.Структурно-компонувальна схема автоматизованої ділянки				Лит.		Маса	Масштаб
Вип.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата									1:200
Розроб.	Даценко О.												
Перев.													
Т. контр.					Лист 1					Листів 1			
Н. контр.													
Затв													

ДОДАТОК В

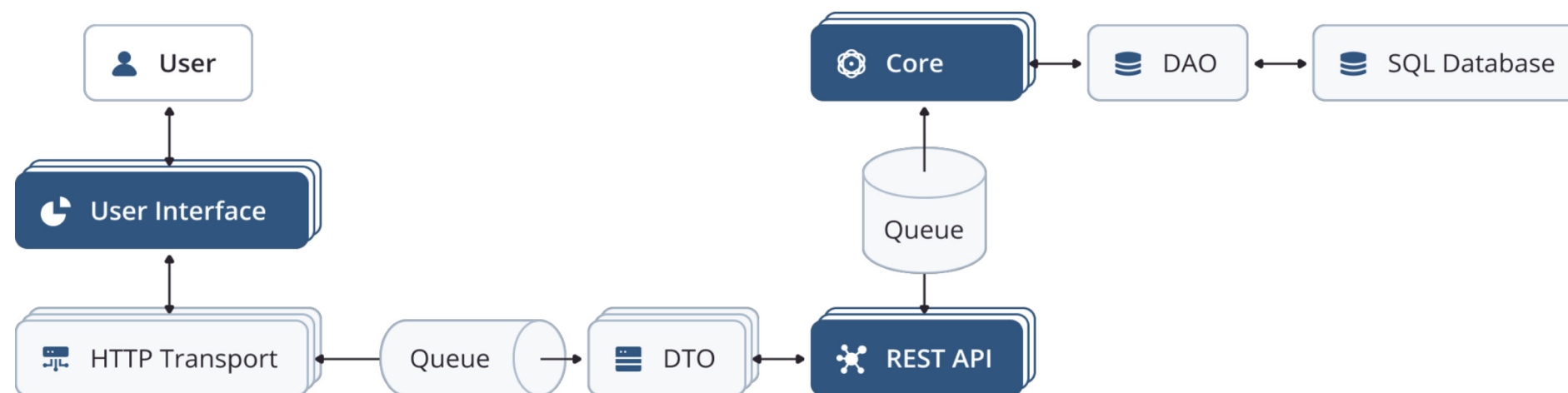
Блок-схема алгоритму



ДОДАТОК Г

Архітектура додатку

Архітектура додатку



Демонстраційний плакат №_1_
до дипломного проєкту на тему
„Оптимізація автоматизованої системи обробки деталей на основі
моделі Лотки-Вольтерри”

Розробила: студентка групи ПБ-11мп
Даценко О.Р.

ДОДАТОК Г

Лістинг коду

app.component.html

```

<ul style="list-style-type: none;">
  <li>
    <mat-form-field>
      <mat-label>y</mat-label>
      <input matInput placeholder="y" [(ngModel)]="y" autocomplete="disabled">
    </mat-form-field>
  <li>
    <mat-form-field>
      <mat-label>t0</mat-label>
      <input matInput placeholder="t0" [(ngModel)]="t0" autocomplete="disabled">
    </mat-form-field>
  </li>
  <li>
    <mat-form-field>
      <mat-label>t</mat-label>
      <input matInput placeholder="t" [(ngModel)]="t" autocomplete="disabled">
    </mat-form-field>
  </li>
  <li>
    <mat-form-field>
      <mat-label>h</mat-label>
      <input matInput placeholder="h" [(ngModel)]="h" autocomplete="disabled">
    </mat-form-field>
  </li>
  <li>
    <mat-form-field>
      <mat-label>x0</mat-label>
      <input matInput placeholder="x0" [(ngModel)]="p" autocomplete="disabled">
    </mat-form-field>
  </li>
</ul>

```


<mat-form-field>

<mat-label>name</mat-label>

<input matInput placeholder="name" [(ngModel)]="name" autocomplete="disabled">

</mat-form-field>

<mat-form-field>

<mat-label>a</mat-label>

<input matInput placeholder="a" [(ngModel)]="a" autocomplete="disabled">

</mat-form-field>

<mat-form-field>

<mat-label>b</mat-label>

<input matInput placeholder="b" [(ngModel)]="b" autocomplete="disabled">

</mat-form-field>

<mat-form-field>

<mat-label>e</mat-label>

<input matInput placeholder="c" [(ngModel)]="e" autocomplete="disabled">

</mat-form-field>

<mat-form-field>

<mat-label>d</mat-label>

<input matInput placeholder="d" [(ngModel)]="alpha" autocomplete="disabled">

</mat-form-field>

```

</li>
<li>
  <br>
  <button mat-flat-button color="primary"
(click)="addFactory()">Додати/Оновити</button>
</li>
<li><br>
  <button mat-flat-button color="accent" (click)="showChart()">Ручний
розрахунок</button>
</li>
<li><br>
  <button mat-flat-button color="accent" (click)="autoCalc()">Автоматичний
розрахунок</button>
</li>
<li style="margin-top: 18px;">
  <button mat-flat-button color="primary" (click)="updateGraph()">Оновити
візуалізацію</button>
</li>
</ul>
<ul
  style="display: flex; justify-content: center; position: fixed; top: 0; left: 0; width: 100%;
height: 23px; list-style-type: none;">
  <li *ngFor="let factory of factories; index as i;">
    <ul style="list-style-type: none;">
      <li>
        <mat-form-field>
          <mat-label>Name</mat-label>
          <input matInput placeholder="name" [value]="factory.name" disabled>
        </mat-form-field>
      </li>
    </ul>
  </li>

```

```

<li>
  <mat-form-field>
    <mat-label>d</mat-label>
    <input matInput placeholder="d" [value]="factory.alpha" disabled>
  </mat-form-field>
</li>
<li>
  <mat-form-field>
    <mat-label>a</mat-label>
    <input matInput placeholder="a" [value]="factory.a" disabled>
  </mat-form-field>
</li>
<li>
  <mat-form-field>
    <mat-label>b</mat-label>
    <input matInput placeholder="b" [value]="factory.b" disabled>
  </mat-form-field>
</li>
<li>
  <mat-form-field>
    <mat-label>e</mat-label>
    <input matInput placeholder="c" [value]="factory.e" disabled>
  </mat-form-field>
</li>
<li>
  <mat-form-field>
    <mat-label>p</mat-label>
    <input matInput placeholder="x0" [value]="factory.p" disabled>
  </mat-form-field>
</li>

```

```

</li>
<br>
<button mat-flat-button color="accent" (click)="changeFactory(i)"
[name]="factory.name">Редагувати</button>
</li>
<li>
<br>
<button mat-flat-button color="warn" (click)="deleteFactory(i)">Видалити</button>
</li>
</ul>
<br>
</li>
</ul>
<div id="chartContainer" style="height: 370px; width: 100%; margin-left:auto;margin-
right:auto;"></div>

```

Factory

```
package org.kpi.diploma.model;
```

```

import com.fasterxml.jackson.annotation.JsonIgnore;
import lombok.Data;
import lombok.EqualsAndHashCode;

```

```

import java.io.Serializable;
import java.util.HashMap;
import java.util.LinkedList;
import java.util.List;
import java.util.Map;
import java.util.UUID;

```

@Data

@EqualsAndHashCode

```
public class Factory implements Serializable {
    private UUID id;
    private String name;
    private double alpha;
    private double a;
    private double b;
    private double e;
    private double p;
    private Map<Double, Double> resultP = new HashMap<>();
```

@JsonIgnore

```
private List<Double> tempResultP = new LinkedList<>();
```

```
public Factory() {
```

```
}
```

```
public Factory(Factory factory) {
```

```
    this.id = factory.getId();
```

```
    this.name = factory.getName();
```

```
    this.alpha = factory.getAlpha();
```

```
    this.a = factory.getA();
```

```
    this.b = factory.getB();
```

```
    this.e = factory.getE();
```

```
    this.p = factory.getP();
```

```
    this.resultP = factory.getResultP();
```

```
    this.tempResultP = factory.getTempResultP();
```

```
}
```

```
}
```

app.component.spec.ts

```
import {Component, OnInit} from '@angular/core';
import {ChartService} from '../service/chart.service';
import * as CanvasJS from '../assets/canvasjs.min';
```

```
@Component({
  selector: 'app-root',
  templateUrl: './app.component.html'
})
```

```
export class AppComponent implements OnInit {
  factories = [];
  dataToRender = [];
  y = 10;
  t0 = 0;
  t = 10;
  h = 0.1;
  id: number = null;
  name: string;
  alpha: number;
  a: number;
  b: number;
  e: number;
  p: number;

  ngOnInit(): void {
    this.calc();
  }
}
```

```

constructor(private chartService: ChartService) {
  this.chartService.find().subscribe(res => {
    res.forEach(fac => this.factories.push(fac));
  });
}

calc(): void {
  const dataPoints = [];

  const request = {
    y: this.y,
    t0: this.t0,
    t: this.t,
    h: this.h
  };

  this.chartService.calculate(request).subscribe(res => {
    let result = Object.entries(res.y);
    // tslint:disable-next-line:only-arrow-functions
    result.sort(function (a, b) {
      // @ts-ignore
      return a[1] - b[1];
    });
    for (let [key, value] of result) {
      let x = parseFloat(key);
      let y = value;
      dataPoints.push({x, y});
    }
    this.dataToRender.push({

```

```

    type: 'line',
    name: 'Y(t)',
    showInLegend: true,
    markerSize: 0,
    dataPoints: dataPoints
  });
  for (let fac of res.factories) {
    let resultP = Object.entries(fac.resultP);
    resultP.sort(function (a, b) {
      // @ts-ignore
      return a[1] - b[1];
    });
    let dataToPass = [];
    for (let [key, value] of resultP) {
      let x = parseFloat(key);
      let y = value;
      dataToPass.push({x, y});
    }
    this.dataToRender.push({
      type: 'line',
      name: fac.name,
      showInLegend: true,
      markerSize: 0,
      dataPoints: dataToPass
    });
  }
});
console.log(this.dataToRender);
}

```

```
showChart(): void {  
  
    this.calc();  
  
    const chart = new CanvasJS.Chart('chartContainer', {  
        zoomEnabled: true,  
        animationEnabled: true,  
        exportEnabled: true,  
        title: {  
            text: 'Оптимізація роботи підприємства'  
        },  
        toolTip: {  
            shared: true  
        },  
        legend: {  
            cursor: 'pointer',  
            verticalAlign: 'top',  
            horizontalAlign: 'center',  
            dockInsidePlotArea: true  
        },  
        data: this.dataToRender  
    });  
  
    chart.render();  
  
    this.dataToRender = [];  
  
    window.scrollTo(0, document.body.scrollHeight);  
}
```

```

addFactory(): void {
  const factoryToSave = {
    id: this.id,
    name: this.name,
    alpha: this.alpha,
    a: this.a,
    b: this.b,
    e: this.e,
    p: this.p,
  };
  this.chartService.save(factoryToSave).subscribe(res => console.log(res));
  window.location.reload();
}

```

```

changeFactory(index: number): void {
  const factory = this.factories[index];

  this.id = factory.id;
  this.name = factory.name;
  this.alpha = factory.alpha;
  this.a = factory.a;
  this.b = factory.b;
  this.e = factory.e;
  this.p = factory.p;
}

```

```

deleteFactory(index: number): void {
  this.chartService.delete(this.factories[index].id).subscribe(res => console.log(res));
  window.location.reload();
}

```

```
}
```

```
autoCalc(): void {
```

```
  const request = {
```

```
    y: this.y,
```

```
    t0: this.t0,
```

```
    t: this.t,
```

```
    h: this.h
```

```
  };
```

```
  this.chartService.autoCalc(request).subscribe(res => console.log(res));
```

```
  this.showChart();
```

```
}
```

```
updateGraph(): void {
```

```
  window.location.reload();
```

```
}
```

```
}
```

ДОДАТОК Д

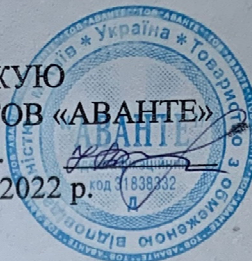
**Акт про впровадження в науково-дослідну роботу
результатів магістерської дисертації**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ТОВ «АВАНТЕ»

Лапіна Н.П.

«3» грудня 2022 р.



АКТ

про впровадження в науково-дослідну роботу результатів магістерської дисертації «Оптимізація автоматизованої системи обробки деталей на основі моделі Лотки-Вольтерри»
студентки II курсу НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», ПБФ, гр. ПБ-11мп
Даценко Ольги Романівни

В організації Товариство з обмеженою відповідальністю «АВАНТЕ»

Комісія в складі голови – Директора Лапіної Наталії Павлівни і членів: Бухгалтера Лапіної Євгенії Володимирівни, Завідувача виробництвом Лапіна Олександра Володимировича склали даний акт про те, що матеріал даної магістерської дисертації було використано:

1. Протестовано в якості діючого методу оптимізації виробничої ділянки.
2. Розглянута можливість використання даного методу у виробничій діяльності.

ГОЛОВА КОМІСІЇ

Директор

Лапіна Н.П.

ЧЛЕНИ КОМІСІЇ

Бухгалтер

Лапіна Є.В.

Завідувач

виробництвом

Лапін О.В.