

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет комп'ютерних наук і технологій

(повне найменування факультету)

Кафедра програмних засобів

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДІВ
ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ ОБРОБКИ ТЕХНІЧНИХ ВИРОБІВ
RESEARCH AND SOFTWARE IMPLEMENTATION OF METHODS
FOR OPTIMIZING MODES OF PROCESSING TECHNICAL PRODUCTS

Виконав: студент 2 курсу, групи КНТ-132м

Спеціальності 121 Інженерія програмного
(код і найменування спеціальності)

забезпечення

Освітня програма (спеціалізація)

Інженерія програмного забезпечення

ТИМЧЕНКО І.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник КОЛПАКОВА Т.О.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент КОЦУР М.І.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет КНТ
Кафедра програмних засобів
Ступінь вищої освіти магістр
Спеціальність 121 Інженерія програмного забезпечення
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) Інженерія програмного забезпечення
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ПЗ, д.т.н, проф.
Сергій СУББОТІН
“ ” 2023 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

ТИМЧЕНКА Івана Вікторовича

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Дослідження та програмна реалізація методів оптимізації режимів обробки технічних виробів. Research and Software Implementation of Methods for Optimizing Modes of Processing Technical Products

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доцент, КОЛПАКОВА Тетяна Олексіївна,
(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 14 ” листопада 2023 року № 437

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 01 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) рекомендована література, технічне завдання

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз предметної області. 2. Матеріали і методи. 3. Опис програми. 4. Експлуатація, тестування та експериментальне дослідження програми.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів) Слайди презентації

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРІЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-4 Основна частина	КОЛПАКОВА Т.О., доцент		
Нормоконтроль	КАМІНСЬКА Ж.К., асистент		

7. Дата видачі завдання “ 16 ” жовтня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Постановка завдання роботи.	1 тиждень	Завдання, ТЗ
2	Аналіз предметної області.	1 тиждень	Розділ 1
3	Вибір мови програмування та інших технологій	2 тиждень	Розділ 2
	розробки		
4	Розробка структури програми.	3 тиждень	Розділ 3
5	Розробка програми.	4-7 тижні	Розділи 3,4
6	Тестування та експериментальне дослідження	8 тиждень	Розділ 4
	програмного забезпечення.		
7	Оформлення пояснювальної записки та документів	9-10 тижні	Додатки
	до неї.		
8	Нормоконтроль та рецензування.	11 тиждень	
9	Захист роботи.	12 тиждень	

Студент(ка)

(підпис) Іван ТИМЧЕНКО
(Імя ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис) Тетяна КОЛПАКОВА
(Імя ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної кваліфікаційної роботи магістра:
90 с., 27 рис., 4 табл., 3 дод., 16 джерел.

**МАТЛАВ, РЕЖИМ ОБРОБКИ, БАГАТОВИМІРНА ОПТИМІЗАЦІЯ,
МОВА ПРОГРАМУВАННЯ, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.**

Об'єкт дослідження – процес розробки програмного забезпечення для обробки технічних виробів.

Предмет дослідження – програмні засоби для оптимізації режимів обробки технічних виробів.

Метою роботи є розробка програмного забезпечення для оптимізації режимів обробки технічних виробів.

Матеріали, методи та технічні засоби: мова програмування Matlab, середовище розробки Microsoft Visual Studio, фреймворк Microsoft .NET.

Результати. Розроблено програмне забезпечення для оптимізації режимів обробки технічних виробів за допомогою мови програмування Matlab та середовища розробки Microsoft Visual Studio.

Практична цінність роботи полягає у розробці програмного забезпечення, що реалізує методи багатовимірної оптимізації для обробки деталей технічних виробів та дозволяє ефективно обирати параметри режимів при виготовленні різних виробів.

Висновки. Виконано проєктування програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів. Розроблено програмне забезпечення для оптимізації режимів обробки технічних виробів. Здійснено тестування розробленого програмного забезпечення для оптимізації режимів обробки технічних виробів.

Галузь використання – програмні засоби підтримки технологічних процесів.

ABSTRACT

Explanatory note to the diploma qualifying work of the bachelor: 90 pages, 27 figures, 4 tables, 3 appendixes, 16 sources.

MATLAB, PROCESSING MODE, MULTIDIMENSIONAL OPTIMIZATION, PROGRAMMING LANGUAGE, SOFTWARE.

The object of research is the process of developing software for processing technical products.

The subject of the research is software for optimizing processing modes of technical products.

The purpose of this work is to develop the software for optimizing the processing modes of technical products.

Materials, methods and technical tools: Matlab programming language, Microsoft Visual Studio development environment, Microsoft .NET framework.

Results. The software tools for optimization of processing modes of technical products using Matlab programming language and Microsoft Visual Studio development environment have been developed.

The practical value of the work lies in the development of software that implements multidimensional optimization methods for processing the details of technical products and allows you to effectively choose the parameters of the modes in the manufacture of various products.

Conclusions. The software for the optimization of the processing modes of technical products has been designed. The software for the optimization of the processing modes of technical products has been developed. The developed software for the optimization of the processing modes of technical products has been tested.

Scope of use – software tools for technological process support.

ЗМІСТ

	С.
Перелік скорочень та умовних позначок	8
Вступ	9
1 Аналіз предметної області	11
1.1 Програмне забезпечення для підтримки процесу виготовлення технічних виробів	11
1.2 Аналіз програмного забезпечення підтримки технологічних процесів виготовлення технічних виробів	23
1.3 Висновки за розділом 1	35
2 Матеріали і методи	37
2.1 Вибір мови програмування та інших технологій розробки	37
2.2 Вибір середовища розробки для створення програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів	41
2.3 Метод оптимізації режимів обробки технічних виробів	45
2.4 Висновки за розділом 2	46
3 Опис програми	48
3.1 Структура програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів	48
3.2 Функціонування програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів	50
3.3 Особливості реалізації програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів	51
3.4 Проєктування бази даних програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів	55
3.5 Висновки за розділом 3	57
4 Експлуатація, тестування та експериментальне дослідження програми	58
4.1 Призначення й умови застосування програми	58
4.2 Характеристики програми оптимізації режимів обробки технічних виробів	59

4.3 Інструкція по експлуатації програми.....	59
4.3.1 Звернення до програми.....	59
4.3.2 Вхідні й вихідні дані.....	60
4.3.3 Повідомлення.....	60
4.4 Виконання програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів	60
4.5 Тестування програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів	63
4.6 Висновки за розділом 4	64
Висновки.....	66
Перелік джерел посилання	69
Додаток А Технічне завдання.....	71
Додаток Б Фрагмент тексту програми	75
Додаток В Слайди презентації	83

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАК

CMMS – computerized maintenance management system,
комп'ютеризована система керування техобслуговуванням;

COM – component object model, стандартна об'єктна модель;

ГА – генетичний алгоритм;

ЛП – лінійне програмування;

МО – метод оптимізації;

ПЗ – програмне забезпечення;

СКБД – система керування базами даних.

ВСТУП

При виготовленні складних виробів застосовують різні методи оброблення деталей. При цьому кожен метод оброблення характеризується певними параметрами. Крім того на процеси оброблення деталей за допомогою токарної, фрезерної та інших видів обробки можуть накладатися певні обмеження, зокрема обмеження за ріжучими властивостями використовуваного інструменту, міцності різця, потужності приводу, жорсткості інструменту та інші.

Тому з метою забезпечення ефективності процесу оброблення деталей в умовах різних обмежень варто застосувати програмні засоби, що використовують методи багатовимірної оптимізації з обмеженнями.

У наш час існує багато програмних систем для підтримки технологічних процесів виготовлення деталей та інших виробів. Але деякі з них є досить складними та містять багато різних функцій, зокрема, керування життєвим циклом процесу виготовлення деталей, функції по роботі з клієнтами, логістичні функції та ін., що часто ускладнюють роботу фахівців, що займаються обробкою деталей та є досить дорогими. Інші подібні системи є досить вузькоспеціалізовані, наприклад, такі, що дозволяють виконувати обчислення для різання лише за допомогою лазерного обладнання. Тому актуальною є розробка програмного забезпечення для оптимізації режимів різних видів обробки технічних виробів, що використовує методи багатовимірної оптимізації з обмеженнями для пошуку оптимальних значень параметрів відповідних процесів.

У дипломній кваліфікаційній роботі магістра розв'язується актуальне завдання розробки програмного забезпечення для оптимізації режимів обробки технічних виробів.

Для досягнення поставленої мети у кваліфікаційній роботі магістра необхідно розв'язати такі задачі:

- виконати аналіз предметної області та програмних засобів для підтримки технологічних процесів виготовлення технічних виробів;
- розробити метод оптимізації режимів обробки технічних виробів;
- здійснити проєктування програмного забезпечення для оптимізації режимів обробки технічних виробів;
- створити програмне забезпечення для оптимізації режимів обробки технічних виробів;
- виконати тестування розробленого програмного забезпечення для оптимізації режимів обробки технічних виробів.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Програмне забезпечення для підтримки процесу виготовлення технічних виробів

Удосконалення обробної промисловості загалом вимагає розвитку методів виробництва, технічного обладнання та відповідного програмного забезпечення. Зі складною геометрією та кількома функціональними ролями деталі технічних виробів часто є захисними частинами більш складних компонентів, виготовленими з матеріалів з прийнятними фізико-хімічними властивостями, з необхідними технічними характеристиками та умовами, що накладають певні обмеження на методи обробки та використання технологічного обладнання [1]-[6].

Тому важливим етапом при виготовленні технічних виробів є визначення оптимальної кількості та порядку операцій з технічного графу та відповідної математичної моделі, де вказані обмеження на цільову функцію та цілі, які необхідно досягти з метою забезпечення правильної обробки та виконання технологічного процесу [1]-[6].

Технологія, яка розуміється як наука про методи та способи перетворення матеріалу за допомогою набору виробничих процесів, що використовуються для виробництва продукції, розвинулась останніми роками через методи систематизації наукових знань, розробляються дійсні надійно методи, здатні забезпечити прийняття раціональних рішень в сучасних технологічних системах. У всіх галузях промисловості технологічна підготовка обробної промисловості повинна вирішити багато проблем за короткий проміжок часу [1]-[6]. Подолання технологічних обмежень потребує проведення науково-дослідних робіт у межах виробничих методів і обладнання, для комплексної оптимізації технологічних систем, що, зрештою, є важливою техніко-економічною проблемою [1]-[6].

У наш час існує багато публікацій, які ілюструють теоретичні та практичні питання технологічних процесів щодо нових операційних методів і

засобів виробництва, пов'язані, зокрема, з визначенням параметрів обробки при виготовленні технічних виробів. Комплексна оптимізація технологічних процесів потребує комплексного підходу до питань виробничого процесу та обладнання, що дозволяє аналізувати та оптимізувати рішення для методів обробки та методів обробки відповідно до можливостей технологічної системи, і в той же час покращувати характеристики та продуктивність технологічного процесу [1]-[6].

Технології завжди були в авангарді виробництва. Коли визначається виробнича технологія стосовно до сучасної промислової діяльності, необхідно дослідити конкретні технологічні розробки, які сприяли розвитку виробництва в будь-який момент часу [1]-[6]. Як загальне визначення, виробнича технологія описує використання інструментів і процесів, розроблених завдяки науковим, промисловим і технічним досягненням, для покращення продуктивності, якості та ефективності. У наш час для підвищення ефективності виготовлення різних технічних виробів користуються промисловими датчиками, підключенням обладнання, автоматизацією, аналітикою на основі даних і прийняттям рішень [1]-[6].

У сучасних технологічних процесах використовуються різні компоненти, що застосовують програмне забезпечення для підвищення ефективності процесу виготовлення технічних виробів. Проаналізуємо види програмного забезпечення, що може використовуватися для підтримки процесу виготовлення технічних виробів [1]-[6].

Комп'ютеризована система керування техобслуговуванням (Computerized maintenance management system, CMMS) призначена для керування операціями з обслуговування шляхом централізації та потокового передавання даних і процесів. Серцем CMMS є цифрове відстеження та аналіз продуктивності обладнання на основі даних у реальному часі. Програми CMMS використовуються для планування технічного обслуговування, а також інвентаризації та ресурсів технічного обслуговування, управління запасними частинами, управління ефективністю, забезпечення максимальної точності,

швидкості та ефективності виробничої стратегії відповідно до розкладу та вимог замовника [1]-[6].

Програмне забезпечення моніторингу стану та працездатності машин та обладнання зменшує позапланове технічне обслуговування та подовжує термін служби обладнання завдяки використанню датчиків для раннього виявлення потенційних проблем у роботі, як тільки почнеться основна проблема. Технологія дозволяє здійснювати моніторинг у режимі реального часу та аналізувати продуктивність і стан обладнання, а також пропонує значні переваги з точки зору доступності обладнання, терміну служби та продуктивності [1]-[6].

Програмне забезпечення підтримки діяльності промислових роботів та автоматизації у наш час є невід'ємною частиною виробничих технологій. Завдяки програмуванню та використанню даних датчиків автоматизація та промислові роботи є ефективним засобом підвищення ефективності промислового виробництва. Завдяки інтелектуальним датчикам і технології штучного інтелекту промислові роботи можуть працювати безпечно та виконувати найважчі завдання виробничих процесів [1]-[6].

Технологія та програмне забезпечення цифрового дублювання (Digital Twin) використовує високошвидкісне з'єднання, схоже на 5G, із дубльованим обладнанням у реальному часі, імітуючи поточну роботу, стабільність і проблеми з обслуговуванням. Технологія та програмне забезпечення цифрового двійника дозволяє переглядати та взаємодіяти з обслуговуючим персоналом за межами промислового майданчика, а також інженерам з усунення несправностей та операторам обладнання використовувати взаємодію в режимі реального часу для роботи з обладнанням. Тільки за допомогою сучасного високошвидкісного зв'язку можна реалізувати переваги цієї технології [1]-[6].

Програмне забезпечення підтримки технологічних процесів на основі штучного інтелекту завдяки зростаючому використанню промислових датчиків, глибокому та широкому аналізу даних, а також розумінню

використання цих даних та інноваціям, високошвидкісному з'єднанню та величезній кількості даних у реальному часі, а також потужності аналітичної обробки дозволяє виконувати планування технічного обслуговування та прийняття рішень стосовно параметрів виробничих процесів, що може суттєво підвищити продуктивність виготовлення технічних виробів [1]-[6].

Програмне забезпечення на основі технологій доповненої реальності забезпечує більше інновацій та ефективності, дозволяючи інженерам, операторам обладнання, обслуговуючому персоналу та іншим ключовим працівникам створювати практичні сценарії виробництва технічних виробів. Програмне забезпечення на основі доповненої реальності може допомогти в розробці продукту, плануванні технічного обслуговування, вирішенні проблем та в інших ключових сферах там, де звіти чи моделювання даних не можуть бути відтворені [1]-[6].

Використання програмних засобів у виробничих технологіях надає багато переваг кожній частині організації виробництва та забезпечує віддачу від інвестицій у технології, які стимулюють ці інновації [1]-[6]. Ці переваги включають наступне [1]-[6]:

- прогнозне технічне обслуговування являє собою промислові датчики та підключене обладнання з використанням програмного забезпечення, що підтримують процес технічного обслуговування, який визначає потенційні проблеми обладнання задовго до виходу з ладу машини, дозволяючи операторам і менеджерам визначати проблеми. Активне технічне обслуговування є одним із найефективніших інструментів, запропонованих технологією з використанням програмних засобів, що використовує збір даних у реальному часі та історичний аналіз для виявлення вібрації, ультразвукового моніторингу тощо, щоб забезпечити розуміння процесу використання обладнання [1]-[6];

- засоби забезпечення безпеки на сучасному робочому місці засновані на використанні програмних засобів з доступом у режимі реального часу до даних, аналітики та практичного досвіду за допомогою технологій цифрового

близнюка та доповненої реальності під час роботи за межами підприємства та віддалено [1]-[6];

– операційна гнучкість: завдяки технології, яка дає змогу здійснювати операції за межами підприємства, об'єкти краще оснащені для вирішення проблем, незалежно від їх причини. Кращий зв'язок і доступ до даних дають організаціям та їхнім співробітникам більше контролю над виробничими операціями та процесами [1]-[6];

– розширені інновації: такі технології, як доповнена реальність та цифрові близнюки, дозволяють інженерам і дизайнерам продуктів працювати з реалістичними копіями машин, компонентів і продуктів. Ці інструменти розширюють межі інновацій, що було б неможливо з традиційними інструментами, такими як програмне забезпечення систем автоматизації проектування та дозволяють забезпечити підвищення ефективності, якості та конкурентних переваг [1]-[6].

Виробнича технологія з використанням програмних засобів може бути застосована та є вигідною на будь-якій промисловій або виробничій компанії, будь-яке підприємство може почати реалізувати ці переваги за допомогою певних кроків, таких як модернізація промислових датчиків вторинного ринку в існуюче обладнання [1]-[6]. Вдосконалення виробничих процесів на основі програмних засобів та відповідного обладнання, включаючи моніторинг стану виробничих машин, датчики, розробку засобів надійності та виробничої безпеки, дозволяє підвищити продуктивність виробничого процесу, покращити безпеку, збільшити строки використання обладнання, збільшити час безвідмовної роботи та покращити результати виробництва [1]-[6].

Виробнича операційна система є невід'ємною частиною розробки виробничих операцій і процесів підприємства та являє собою структуру взаємопов'язаних елементів, включаючи методи та програмні засоби оцінювання якості та вдосконалення для кожного виробничого процесу, призначені для досягнення операційної досконалості [1]-[6].

Програмне забезпечення у вигляді операційної системи управління виробництвом контролює всі аспекти виробничого процесу, зокрема, керує прийняттям рішень, плануванням, бюджетуванням, управлінням, закупівлями, перевіркою, оцінюванням якості, виконанням тощо. Оскільки стандарти встановлюються промисловими операційними системами, менеджери та співробітники можуть зосередитися на поточних завданнях – технічне обслуговування, виробництво, планування тощо [1]-[6].

Програмні засоби системи управління виробничими операціями забезпечують багато переваг для всіх рівнів і функцій підприємства, залежно від структури прийняття рішень і активації. Перевагами використання такого програмного забезпечення є [1]-[6]:

- безперервність виробничих процесів і надійність: промислові операційні системи усувають операції, розробляючи та впроваджуючи стандартні операційні процедури для кожного аспекту об'єкта виробничої технології, від виробництва до технічного обслуговування, інвентаризації до закупівель, прогнозування та людських ресурсів. Ця послідовність і надійність дозволяє персоналу зосередитися на роботі на найвищому рівні, а не постійно займатися операціями на найнижчому рівні [1]-[6];

- керовані даними цілі та результати. Одна з найважливіших переваг операційної системи виробничого процесу полягає в тому, що, будучи інтегрованою структурою, вона забезпечує керований даними підхід до планування, розробки процесів і аналізу результатів. Маючи ці дані вона дозволяє покращити якість виробничого процесу та його результати [1]-[6];

- можливість зменшення прогалин в технічних навичках персоналу: продуктивна операційна система може усунути прогалини в навичках, надаючи підтримку та керівництво в сценаріях, коли навичок і досвіду персоналу недостатньо. Використання програмних засобів системи управління виробничими операціями дозволяє запровадити структуру, яка забезпечує низько кваліфікованим працівникам можливість ефективного виконання багатьох виробничих завдань [1]-[6];

– узгодженість з цілями замовника. Цілі замовника є невід’ємною частиною розробки операційної системи виробничого процесу. Ці цілі визначаються на ранній стадії виробничого проєкту та включаються в його структуру, щоб забезпечувати очікування клієнта [1]-[6];

– простота комунікації: зв’язок є невід’ємною частиною інфраструктури будь-якої операційної системи, включаючи документацію, виробництво, перевірку та гарантію якості. Це додатково гарантує, що проєкт або процес просуватиметься лише тоді, коли правильні канали зв’язку ввімкнено на кожному етапі виробничого процесу [1]-[6];

– впровадження корпоративної культури досконалості: добре спланована та ефективна операційна система управління може стати джерелом підтримки всієї організації. Коли результати роботи операційної системи стають очевидними (підвищення задоволеності клієнтів, підвищення продуктивності персоналу та, як наслідок, підвищення виробничої продуктивності), співробітники виявлятимуть більшу відданість організації та її цілям і задачам [1]-[6].

Операційні системи підтримки технологічних процесів базуються на чотирьох ключових компонентах:

– програмні засоби безпеки: чітко визначені процедури навчання та забезпечення безпеки, комплексні процедури розслідування інцидентів, залучення та відповідальність працівників, регулярні перевірки;

– персонал: стандартизоване та прозоре відстеження результатів і наслідків, участь у процесах управління та власності знизу вгору, інтегроване в процес навчання та розвиток;

– виробничий процес: безперервне надання послуг шляхом безперервного планування та виконання, прозорі заходи підзвітності, аналітика процесів, аналіз першопричин, відкрите спілкування та передача знань;

– технологія: стандартне технічне обслуговування та догляд за обладнанням, інтелектуальне керування обладнанням, зменшення помилок, персоналізоване планування та виконання на основі даних [1]-[6].

Кожен компонент операційної системи підтримки технологічних процесів базується на процесах, а не на людях. Завдяки чітко визначеним цілям ці компоненти підвищують ефективність, продуктивність і якість, підвищуючи загальну задоволеність клієнтів [1]-[6].

Останнім часом широке використання програмних засобів при виробництві складних технічних виробів змінило спосіб обміну інформацією, спілкування та роботи, що значною мірою обумовлено впровадженням розширеної аналітики даних та технологій Інтернету речей, хмарних обчислень, технологій штучного інтелекту і машинного навчання [1]-[6].

З розвитком програмних засобів та інформаційних технологій промислові можливості різко покращилися, завдяки автоматизації, кіберфізичним системам і робототехніці з'явилися розумні фабрики. Ці інтелектуальні фабрики розвиваються по всьому світу в таких галузях промисловості, як автомобільна промисловість і побутова електроніка [1]-[6].

Вивчаючи поточне використання когнітивних обчислень і підключення до хмарних серверів, розумні об'єкти з підтримкою Інтернету речей можуть зосередитися на впровадженні технологій персоналізації та задоволенні потреб конкретних споживачів на промисловому рівні шляхом розширення використання роботів на основі людини в промислових процесах за допомогою персональних пристроїв. Результатом є індивідуальний, повноцінний і єдиний підхід, який не замінює людей, як деякі попередні розробки. Така координація «людина-машина» спрямована на підвищення ефективності, а також продуктивності завдяки людським ресурсам, гнучкості та стабільності [1]-[6].

При виробництві складних технічних об'єктів останнім часом використовується технологія технічного обслуговування, керованого даними, як засіб підвищення ефективності виробництва [1]-[6]. Датчики, віддалений

моніторинг, підключені об'єкти та Інтернет речей були в списку трендів протягом багатьох років і продовжуватимуть залишатися ще досить довгий час. Використання програмного забезпечення на основі даних, зібраних з датчиків, продовжує розвиватися, оскільки зв'язок швидший і надійніший, а виробники швидко впроваджують інновації для забезпечення прогнозного обслуговування на основі даних. Краще та ефективніше технічне обслуговування має вирішальне значення, враховуючи фінансові проблеми, з якими багато об'єктів зіткнулися в останні роки. Прогнозне технічне обслуговування з використанням спеціалізованого програмного забезпечення може значно скоротити незаплановані простої, що робить економію витрат на матеріали важливішою зараз, ніж будь-коли [1]-[6]. Розвиток мереж 5G дає виробникам пропускну здатність і швидкість для передачі більше інформації з пристроїв на центральний сервер. Маючи ці знання, вони можуть значно пришвидшити виробничі процеси, заощадити час виробництва та, у такий спосіб, підвищити його ефективність [1]-[6].

Такі технології, як цифрові близнюки, машинне навчання, штучний інтелект, доповнена реальність і віртуальна реальність, допомагають виробникам подолати виклики пандемії, включаючи моніторинг обладнання, віддалений моніторинг і спеціалізовані програмні інструменти без необхідності безпосереднього перебування на робочому місці. Завдяки комунікації та обчислювальній потужності майже в режимі реального часу оператори програмного забезпечення, що керує виробничим процесом, відчують себе так, ніби вони перебувають в одному приміщенні з машиною, віртуальне та дистанційне керування вписується в інші останні тенденції у виробництві, які покращують доступність, гнучкість і безпеку виробничого процесу [1]-[6]. Ця технологія породила так звані чорні фабрики, які є повністю автоматизованими. Очікується, що широке застосування доповненої реальності та віртуальної реальності у виробництві зробить ці сфери більш поширеними в роботі багатьох виробників [1]-[6].

Виробництво складних технічних об'єктів відбувається за допомогою різних типів виробництва. Механічна обробка використовує механічні інструменти для формування твердих матеріалів і металів шляхом видалення зайвих матеріалів із заготовки, зазвичай шляхом різання. Механічна обробка є основою галузі та включає такі інструменти, як преси, інструменти для виготовлення чипів і сучасне обладнання з використанням програмного забезпечення [1]-[6].

Програмне забезпечення для підтримки процесів збирання виробів з деталей повинно враховувати коефіцієнти навантаження, ефективність складання, технічне обслуговування та експлуатацію. Необхідно враховувати, що болти є стандартним методом кріплення, тоді як зварювання є більш рентабельним і зменшує зайву вагу, оскільки не вимагає накладання матеріалів, кріпильних елементів або встановлених частин між ними [1]-[6].

Обробка матеріалів за допомогою лиття передбачає розчинення твердої речовини в рідині при нагріванні та заливанні у форму або порожнину. Лиття може створювати складні або прості форми з будь-якого виду плавкого металу з широким вибором дизайну [1]-[6].

Створення технічних виробів пов'язано з використанням різних методів обробки, зокрема, обробкою різанням, свердлінням, фрезеруванням та ін. [1]-[6]. Як зазначено вище, у наш час керування інструментом, що оброблює деталі, часто здійснюється на основі відповідного програмного забезпечення. Очевидно, чим швидше працює інструмент, тим ефективнішим є виробництво. Проте кожен з видів обробки має певні обмеження [1]-[6]. Наприклад, обмеження за швидкістю різання встановлює, що ця швидкість не може бути більшою, ніж певна величина, яка відображає взаємозв'язок між фактичною швидкістю різання (v , м/хв), діаметром заготовки ($D_{\text{заг}}$), коефіцієнтом C_v , що залежить від механічних властивостей матеріалу та інших характеристик, глибиною різання t , показниками ступеню різання x , y , m , допустимою швидкістю різання $v_{\text{доп}}$, частотою обертання деталі n , стійкістю інструменту T , подачею S , поправочним коефіцієнтом K_v , деякі з цих

характеристик обираються з відомих табличних даних [1]-[6]. Отже обмеження за швидкістю різання може бути подане за допомогою формул (1.1) та (1.2):

$$v \leq v_{\text{дон}}, \quad (1.1)$$

$$\frac{\pi \cdot D_{\text{заг}} \cdot n_{\phi}}{1000} \leq \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \times K_v. \quad (1.2)$$

Обмеження за частотою n обертання полягає у тому, що частота не може бути меншою ніж та, що забезпечується верстатом $n_{\text{ун min}}$ та визначається формулою (1.3):

$$n \geq n_{\text{ун min}}. \quad (1.3)$$

Подача повинна бути не менше мінімальної подачі верстату $S_{\text{верст min}}$ та не більше максимальної подачі $S_{\text{верст max}}$, що забезпечується на верстаті, та може бути визначена нерівностями (1.4) та (1.5):

$$S \geq S_{\text{верст min}}, \quad (1.4)$$

$$S \leq S_{\text{верст max}}. \quad (1.5)$$

Осьова складова сили різання P_x при подовжньому точінні встановлюється з урахуванням гранично допустимих механізмів подач верстата, зокрема граничного зусилля подачі $P_{S_{\text{верст}}}$ та може бути визначено за допомогою виразу (1.6):

$$P_x \leq P_{S_{\text{верст}}}. \quad (1.6)$$

Варто відзначити, що при визначенні режимів обробки деталей технічних виробів існують й інші обмеження [1]-[6]. Отже для підвищення ефективності процесу обробки технічних виробів доцільно розробити програмне забезпечення, що на основі методів оптимізації з урахуванням наявних обмежень дозволяє обирати оптимальні режими обробки.

Визначено, що удосконалення технологічних процесів у промисловості вимагає розвитку методів виробництва, технічного обладнання та відповідного програмного забезпечення. Проаналізовано застосування програмного забезпечення на різних технологічних процесах, що використовується для підвищення ефективності процесу виготовлення технічних виробів. Визначено, що використання програмних засобів у виробничих технологіях надає багато переваг кожній частині організації виробництва та забезпечує віддачу від інвестицій у технології, які стимулюють ці інновації. Відзначено, що вдосконалення виробничих процесів на основі програмних засобів та відповідного обладнання, включаючи моніторинг стану виробничих машин, датчики, розробку засобів надійності та виробничої безпеки, дозволяє підвищити продуктивність виробничого процесу, покращити безпеку, збільшити строки використання обладнання, збільшити час безвідмовної роботи та покращити результати виробництва.

Відзначено, що створення технічних виробів пов'язано з використанням програмного забезпечення, що дозволяє керувати різними процесами обробки деталей, зокрема, обробкою різанням, свердлінням, фрезеруванням та ін. Проаналізовано деякі обмеження, що необхідно враховувати при визначенні режимів обробки деталей технічних виробів. Отже, для підвищення ефективності процесу обробки технічних виробів доцільно розробити програмне забезпечення, що на основі методів оптимізації з урахуванням наявних обмежень дозволяє обирати оптимальні режими обробки.

1.2 Аналіз програмного забезпечення підтримки технологічних процесів виготовлення технічних виробів

Проаналізуємо програмне забезпечення підтримки технологічних процесів виготовлення технічних виробів [7]-[11].

Програмне забезпечення Abas ERP (рис. 1.1) є програмним рішенням для підтримки технологічних процесів виготовлення технічних виробів, орієнтованим на малих і середніх виробників. Програмне забезпечення Abas складається з трьох основних компонентів Abas ERP, Abas Distribution і Abas eВ, що являють собою лінійку рішень для електронного виробництва, доступ до яких можна отримати через веб-браузер [7], [8].

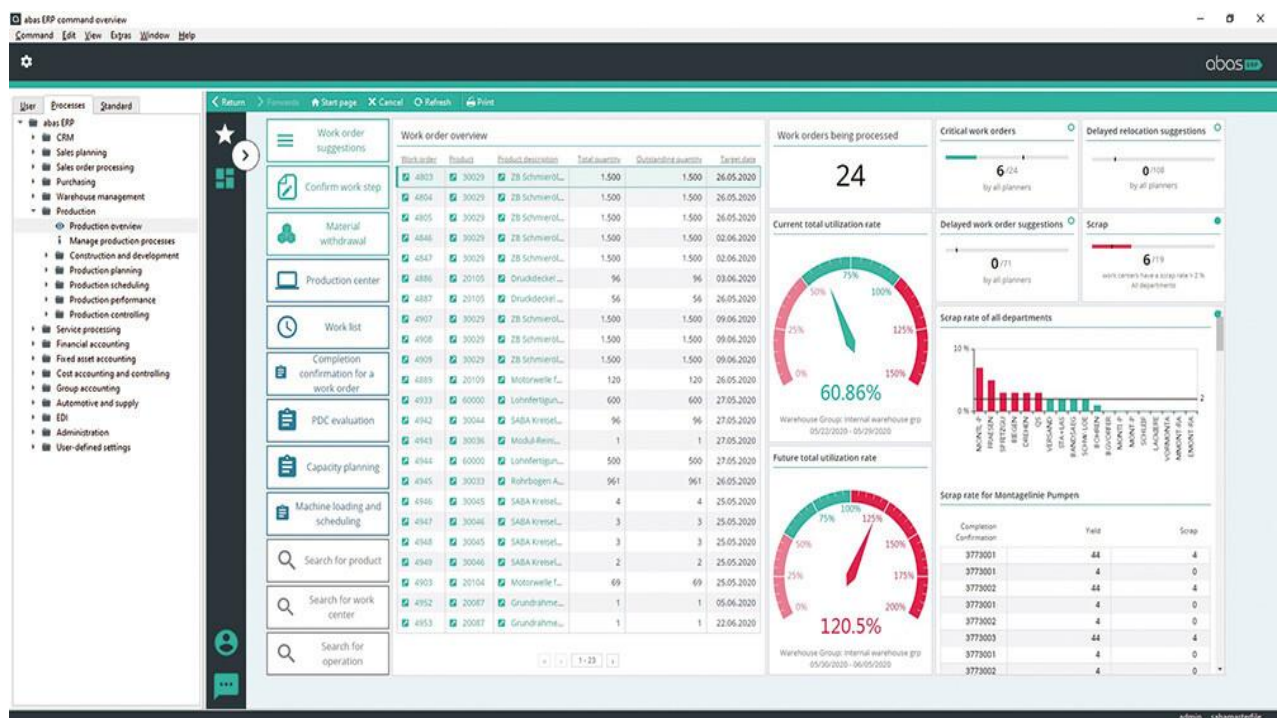


Рисунок 1.1 – Програмне забезпечення Abas ERP [7], [8]

Портал клієнтів програмного забезпечення Abas дозволяє користувачам переглядати продукти, розміщувати ціни та замовлення, переглядати пропозиції та замовлення в режимі реального часу та може бути налаштований відповідно до потреб користувачів [7], [8].

Редактор робочих процесів програмного забезпечення Abas являє собою плагін, який надає графічний редактор для створення нових робочих процесів, інтегрується з функціями ERP Abas і дозволяє користувачам переглядати пріоритетний список завдань і схвалень [7], [8].

Портал постачальників програмного забезпечення Abas дозволяє постачальникам переглядати та випускати замовлення на купівлю та запити, переглядати інформацію про відвантаження та відстеження. Його можна налаштовувати та інтегрувати з редактором робочих процесів Abas для контролю транзакцій, випущених або оновлених постачальниками [7], [8].

Програмне забезпечення Abas ERP підтримує мобільний збір виробничих даних за допомогою інтегрованої програми підтримки виробничих приміщень [7], [8]. Функція електронного виставлення рахунків включена в пакет Abas ERP. Технологія приладової панелі Abas на додаток до попередньо налаштованих оглядів і стандартних виглядів, надає можливість адаптації відповідно до індивідуальних потреб користувача у редакторі панелі приладів [7], [8].

Ще одна унікальна особливість Abas ERP полягає в тому, що всі індивідуальні налаштування клієнта зберігаються під час оновлення. За допомогою Abas індивідуальне налаштування встановленої версії не потрібно повторювати після застосування оновлення, що знижує вартість та складність процесу експлуатації програми [7], [8].

Програмне забезпечення Abas ERP є простим у використанні, знижує ймовірність помилок виробничого процесу і спрощує щоденні операції із закупівлі, продажу, обслуговування, складського, виробничого та фінансового обліку. Програмне забезпечення Abas ERP запобігає неправильним записам і помилкам в інвентарі, вартості запасів і розрахунках [7], [8].

Інтеграція попередньої надбудови також підвищує безпеку процесів. Програмне забезпечення Abas ERP містить інструмент для автоматизації робочих процесів, який дозволяє компаніям швидко адаптувати процеси до потреб ринку. Відповідно до встановленого стандарту бізнес-процеси в різних

компаніях графічно відображаються, автоматизуються та розподіляються по всій компанії та систематично контролюються за допомогою програмного забезпечення Abas ERP [7], [8].

До програмного забезпечення Abas ERP включено два інструменти управління якістю: Abas Connect та Abas PDM. Користувачі можуть здійснювати планування, забезпечення якості, контроль і звітність без додаткової плати. Abas Connect і Abas PDM забезпечують подальшу взаємодію з документами: інтеграційна платформа Abas Connect полегшує обмін інформацією між Abas ERP і сторонніми системами. Для виробників безперебійний зв'язок між різними програмними системами може прискорити та значно покращити довгостроковий процес створення продукції [7], [8].

Програмне забезпечення Abas ERP надає користувачам інструмент самообслуговування для редагування, який дозволяє їм створювати власну інформаційну панель і розробляти її відповідно до потреб кожного відділу, користувача чи функції. Важливі дані та статистику можна графічно відобразити за допомогою різних засобів і поєднати із зовнішньою інформацією [7], [8].

Сервер ліцензій програмного забезпечення Abas забезпечує повністю автоматизоване ліцензування всіх інсталяційних компонентів і автоматичне оновлення до останньої версії. Це означає, що доступ сторонніх осіб до системи не потрібен. Ще одним нововведенням у цій галузі є компонент керування ідентифікацією та доступом, що забезпечує безпечну аутентифікацію, тому з'єднання може бути передано до всіх підключених компонентів [7], [8].

Серед особливостей програмного забезпечення Abas ERP для підтримки технологічних процесів виготовлення продукції можна виділити такі [7], [8]:

- підтримка виробничого процесу;
- засоби створення розкладу процесу виготовлення продукції;
- програмні засоби підтримки фінансових розрахунків;

- засоби обчислення собівартості продукції;
- можливість налаштувань під потреби користувачів;
- засоби підтримки продажів товару;
- інструмент для автоматизації робочих процесів;
- засоби підтримки закупівель сировини та інших матеріалів, необхідних для виробничого процесу;
- звітування за результатами виготовлення та продажу продукції;
- підтримка засобів створення документації;
- мобільний збір виробничих даних за допомогою інтегрованої програми підтримки виробничих приміщень;
- наявність мобільного застосунку;
- засоби виставлення електронних рахунків;
- підтримка автоматизації виробництва;
- керування якістю продукції;
- інструменти інтеграції з іншими програмними засобами;
- засоби керування запасами.

Отже Abas ERP є комплексним рішенням, яке поєднує в собі повністю налаштовану виробничу функціональність із гнучкістю, необхідною для запуску унікальних бізнес-процесів малих і середніх виробників.

Серед недоліків програмного забезпечення Abas ERP можна відзначити те, що це програмне забезпечення є досить складним та підтримує багато функцій виробничого процесу, які не завжди є необхідними фахівцям, що займаються безпосередньо виробництвом. Крім того, ця програма не підтримує можливості розрахунку режимів обробки деталей технічних виробів з урахуванням різних обмежень технологічного процесу [7], [8].

Програмне забезпечення S2K Enterprise надає користувачам розширені функції, пов'язані з підтримкою виробництва, а також функції бізнес-аналітики, прогнозної аналітики, мобільного замовлення, управління запасами, електронної комерції тощо. Оскільки виробничі компанії все більше покладаються на програмні технології для підтримки виробничих процесів,

часто необхідним є використання комплексних рішень, які інтегрують програми продажів, операцій, фінансів і маркетингу в централізоване середовище для забезпечення легкого доступу до інформації на всьому життєвому циклі виробництва та реалізації продукції [7], [9].

Програмне забезпечення S2K Enterprise (рис. 1.2) може працювати як локально, так і за допомогою засобів приватної хмари, дозволяючи організаціям вибрати відповідне середовище, що якнайкраще відповідає їхнім потребам. При роботі у приватній хмарі забезпечується безпека доступу та безпека даних клієнтів, також забезпечується середовище підтримки віддалених працівників компанії [7], [9].

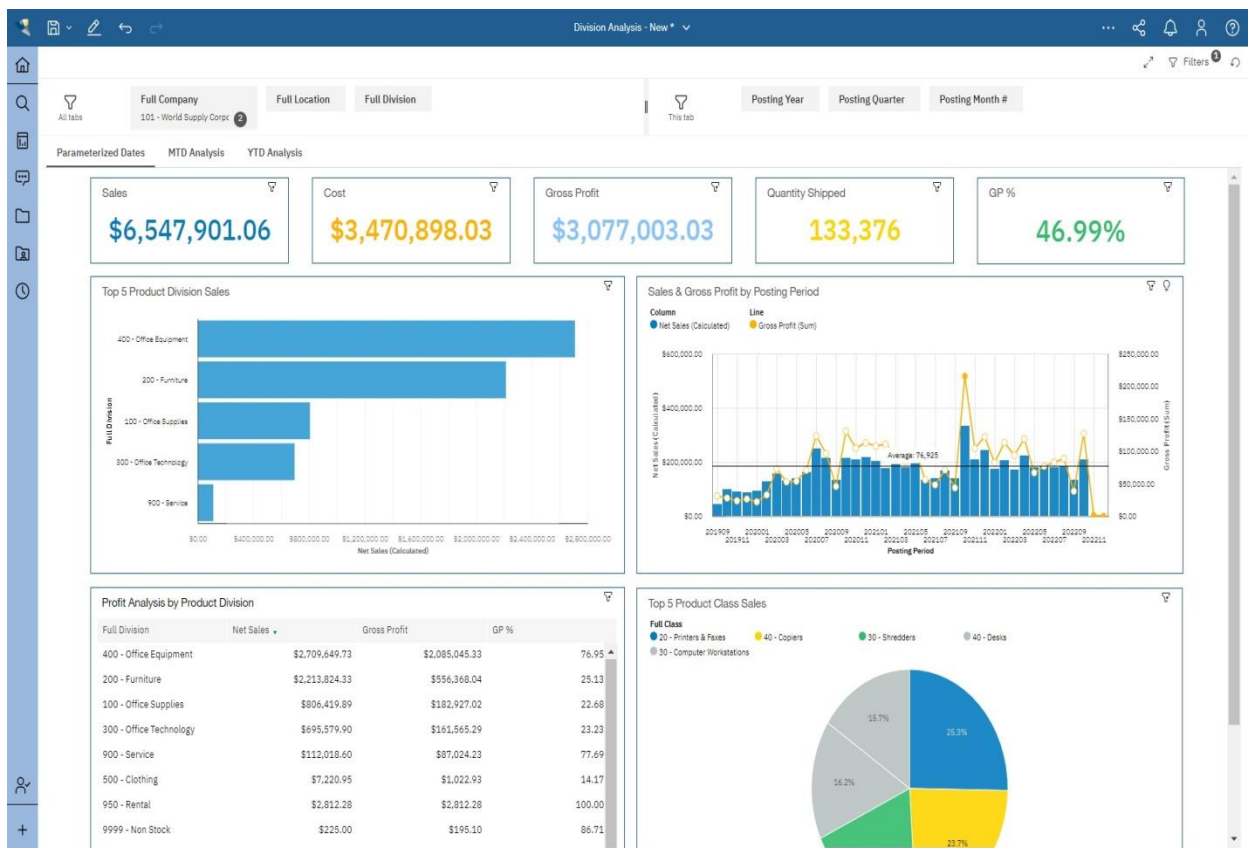


Рисунок 1.2 – Програмне забезпечення S2K Enterprise [7], [9]

Оскільки виробники та дистриб'ютори відкривають нові дані та можливості прогнозування та планування виробничих процесів, програмне забезпечення S2K Enterprise відстежує минулі моделі та дані при виробництві продукції та використовує передові формули для прогнозування майбутніх

потреб виробничого процесу. Користувачі можуть вносити деякі коригування в прогноз, щоб покупці могли негайно реагувати на проблеми або можливості попиту чи пропозиції. За допомогою програмного забезпечення S2K Enterprise користувачі можуть відстежувати процеси ланцюжка поставок і керувати різними аспектами виробничого процесу, від замовлень сировини до отримання коштів за поставлену продукцію, за допомогою мобільних пристроїв. Крім того, програмне забезпечення S2K Enterprise забезпечує передові маркетингові інструменти, динамічна аналітика, бізнес-сповіщення в реальному часі та повідомлення для співробітників і клієнтів [7], [9].

Серед особливостей програмного забезпечення S2K Enterprise для підтримки технологічних процесів виготовлення продукції можна виділити такі [7], [9]:

- підтримка виробничого процесу;
- маркетингові інструменти;
- засоби підтримки закупівель сировини та інших матеріалів, необхідних для виробничого процесу;
- звітування за результатами виготовлення та продажу продукції;
- засоби створення розкладу процесу виготовлення продукції;
- програмні засоби підтримки фінансових розрахунків;
- засоби обчислення собівартості продукції;
- можливість налаштувань під потреби користувачів;
- засоби підтримки продажів товару;
- підтримка засобів створення документації;
- засоби динамічної аналітики даних;
- мобільний збір виробничих даних за допомогою інтегрованої програми підтримки виробничих приміщень;
- наявність мобільного застосунку;
- засоби виставлення електронних рахунків;
- підтримка автоматизації виробництва;

- бізнес-сповіщення в реальному часі та повідомлення для співробітників і клієнтів;
- інструменти інтеграції з іншими програмними засобами.

Серед недоліків програмного забезпечення S2K Enterprise можна відзначити те, що це програмне забезпечення є досить складним та підтримує багато функцій виробничого процесу, які не завжди є необхідними фахівцям, що займаються безпосередньо виробництвом. Крім того, ця програма не підтримує можливості розрахунку режимів обробки деталей технічних виробів з урахуванням різних обмежень технологічного процесу [7], [9].

Програмне забезпечення JobScore (рис. 1.3) являє собою хмарне виробниче рішення, яке підтримує різні галузі виробництва, зокрема, виробництво промислового обладнання, металургію, електроніку, автомобільну промисловість і високотехнологічні компанії з можливостями планування ресурсів підприємства. Основні модулі програмного забезпечення JobScore включають котирування, оцінку, інжиніринг, виробничу специфікацію, планування, фінансовий менеджмент, аналіз замовлень, функції звітності та різноманітні інформаційні панелі [7], [10].

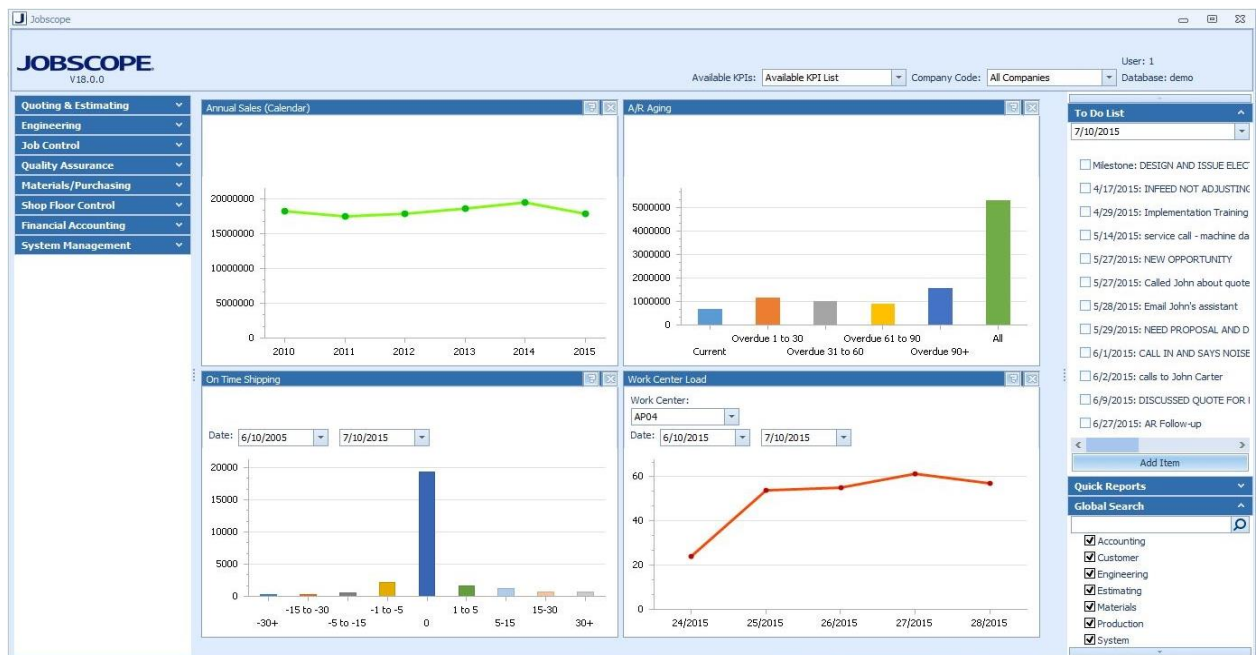


Рисунок 1.3 – Програмне забезпечення Jobscore [7], [10]

Програмне забезпечення JobScore може керувати плануванням виробничого проекту, налаштовувати типи специфікацій, автоматизувати роботу в цехах і дозволяє імпортувати специфікації з інтегрованих пакетів прикладних програм. Він також забезпечує інтеграцію з іншим програмним забезпеченням, що дозволяє експортувати файли даних у різних форматах [7], [10].

JobScore надає візуальні ключові показники ефективності, які допомагають аналізувати бізнес-дані та відображати планову інформацію за виробничими відділами. Користувачі можуть публікувати інформацію про ціни на контракти, проекти та роботи в режимі реального часу. Рішення забезпечує функціональність, що дозволяє розглядати кожен вид витрат як окремий компонент [7], [10]. Програмне забезпечення JobScore може працювати як локально, так і за допомогою засобів хмарних технологій, дозволяючи організаціям вибрати відповідне середовище, що якнайкраще відповідає їхнім потребам. При роботі у хмарі забезпечується безпека доступу та безпека даних клієнтів, також забезпечується середовище підтримки віддалених працівників компанії [7], [10].

Серед особливостей програмного забезпечення JobScore для підтримки технологічних процесів виготовлення продукції можна виділити такі [7], [10]:

- підтримка виробничого процесу;
- маркетингові інструменти;
- засоби підтримки закупівель сировини та інших матеріалів, необхідних для виробничого процесу;
- звітування за результатами виготовлення та продажу продукції;
- засоби створення розкладу процесу виготовлення продукції;
- програмні засоби підтримки фінансових розрахунків;
- засоби обчислення собівартості продукції;
- можливість налаштувань під потреби користувачів;
- засоби підтримки продажів товару;
- підтримка засобів створення документації;

- засоби динамічної аналітики даних;
- мобільний збір виробничих даних за допомогою інтегрованої програми підтримки виробничих приміщень;
- наявність мобільного застосунку;
- засоби виставлення електронних рахунків;
- підтримка автоматизації виробництва;
- бізнес-сповіщення в реальному часі та повідомлення для співробітників і клієнтів;
- інструменти інтеграції з іншими програмними засобами.

Серед недоліків програмного забезпечення Jobscope можна відзначити те, що це програмне забезпечення є досить складним та підтримує багато функцій виробничого процесу, які не завжди є необхідними фахівцям, що займаються безпосередньо виробництвом. Крім того, ця програма не підтримує можливості розрахунку режимів обробки деталей технічних виробів з урахуванням різних обмежень технологічного процесу [7], [10].

Програмне забезпечення Decision Builder є рішенням для планування ресурсів підприємства, яке обслуговує виробничі, розподільні та сервісні компанії [7], [11].

Програмне рішення Decision Builder є системою планування виробничих ресурсів підприємства, яка обслуговує підприємства на етапах виробництва, дистрибуції та надання виробничих послуг. Програмне рішення Decision Builder є повністю інтегрованою системою, яка включає модулі розподілу, керування виробництвом, обслуговування, керування фінансами, та модуль стратегічного менеджменту [7], [11].

Деякі подібні системи автоматизують лише частини виробничого процесу, повністю інтегрована конструкція Decision Builder покращує загальну операційну ефективність виробничої компанії, усуваючи ручні та непотрібні процеси, які вимагають багато систем. Завдяки програмному забезпеченню Decision Builder співробітники виробничої організації на передовій лінії команда менеджерів матимуть доступ до актуальної, точної та

надійної інформації, щоб вони могли краще обслуговувати клієнтів і приймати більш обґрунтовані бізнес-рішення [7], [11].

Інтерфейс користувача програмного забезпечення Decision Builder (рис. 1.4) дуже простий, зрозумілий та інтуїтивно зрозумілий [7], [11].

Рисунок 1.4 – Програмне забезпечення Decision Builder [7], [11]

Програмне забезпечення Decision Builder є дуже простим у впровадженні, дуже простим в освоєнні та дуже простим у використанні. Системи входу та меню на основі ролей надають користувачам лише ті програми та функції, які дійсно їм потрібні. Вичерпна довідка надає докладні відомості про те, як використовувати програму Decision Builder, а також інструкції по візуальним елементам користувача для кожної програми [7], [11].

Програмне забезпечення Decision Maker – це багатофункціональна програма, яку можна використовувати для задоволення конкретних бізнес-потреб при виробництві технічних виробів. При цьому виробники можуть

обрати функції та процеси, які найкраще відповідають їх вимогам. Як наслідок, Decision Maker є комплексним та інтуїтивно зрозумілим бізнес-рішенням, яке дозволяє покращити ефективність і прибутковість виробничої компанії економічно ефективним способом [7], [11].

Програмне забезпечення Decision Builder – це інтегрована система, яка включає в себе функції, характерні для трьох вертикальних галузей виробництва, а також процеси управління взаємовідносинами з клієнтами, стратегічного та фінансового менеджменту. Основні функції включають запити клієнтів, підтримку виробництва, руху грошових коштів та інвентаризацію. Програма також може керувати специфікаціями та замовленнями на обслуговування, а також багатьма іншими бізнес-процесами у процесі виробництва продукції [7], [11].

Серед особливостей програмного забезпечення Decision Builder для підтримки технологічних процесів виготовлення продукції можна виділити такі [7], [11]:

- засоби підтримки закупівель сировини та інших матеріалів, необхідних для виробничого процесу;
- звітування за результатами виготовлення та продажу продукції;
- програмні засоби підтримки фінансових розрахунків;
- можливість налаштувань під потреби користувачів;
- засоби підтримки продажів товару;
- засоби виставлення електронних рахунків;
- інструменти інтеграції з іншими програмними засобами.

Серед недоліків програмного забезпечення Decision Builder можна відзначити те, що це програмне забезпечення є досить складним та підтримує багато функцій виробничого процесу, які не завжди є необхідними фахівцям, що займаються безпосередньо виробництвом. Крім того, ця програма не підтримує можливості розрахунку режимів обробки деталей технічних виробів з урахуванням різних обмежень технологічного процесу [7], [11].

Порівняльну характеристику програмного забезпечення підтримки технологічних процесів виготовлення технічних виробів наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння програмного забезпечення підтримки технологічних процесів виготовлення технічних виробів

Критерій порівняння	Abas ERP [8]	S2K Enterprise [9]	Jobscope [10]	Decision Builder [11]
Інструменти автоматизації робочих процесів	+	+—	+	—
Вартість використання	від 149 у.о. на місяць	не публікується виробником	від 3000 у.о.	не публікується виробником
Засоби створення виробничої документації	+	—	—	+
Маркетингові інструменти, динамічна аналітика, бізнес-сповіщення в реальному часі та повідомлення для співробітників і клієнтів	+—	+	—	+
Засоби сповіщення в реальному часі	+—	+	+	—
Використання хмарних сервісів	+—	+—	+	—

За результатами проведеного аналізу можна зробити висновок, що у наш час існує досить багато програмних засобів підтримки технологічних процесів виготовлення технічних виробів. Проте деякі всі вони є досить високовартісними, надають багато зайвих функцій та не підтримують

можливості розрахунку режимів обробки деталей технічних виробів з урахуванням різних обмежень технологічного процесу.

Тому актуальною є розробка програмного забезпечення, що реалізує методи оптимізації режимів обробки технічних виробів.

При розробці програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів необхідно забезпечити такі функціональні вимоги:

- можливість введення числових даних, що характеризують процес обробки технічних виробів;
- можливість задавання типу та параметрів обмежень, що накладаються на процес обробки технічних виробів;
- пошук значень оптимальних параметрів режимів обробки технічних виробів з урахуванням наявних обмежень процесу обробки з використанням різних методів багатовимірної оптимізації;
- виведення результатів оптимізації у зручному для користувача вигляді.

1.3 Висновки за розділом 1

Визначено, що удосконалення технологічних процесів у промисловості вимагає розвитку методів виробництва, технічного обладнання та відповідного програмного забезпечення. Проаналізовано застосування програмного забезпечення на різних технологічних процесах, що використовується для підвищення ефективності процесу виготовлення технічних виробів. Визначено, що використання програмних засобів у виробничих технологіях надає багато переваг кожній частині організації виробництва та забезпечує віддачу від інвестицій у технології, які стимулюють ці інновації. Відзначено, що вдосконалення виробничих процесів на основі програмних засобів та відповідного обладнання, включаючи моніторинг стану виробничих машин, датчики, розробку засобів надійності та виробничої безпеки, дозволяє підвищити продуктивність виробничого процесу, покращити безпеку,

збільшити строки використання обладнання, збільшити час безвідмовної роботи та покращити результати виробництва.

Відзначено, що створення технічних виробів пов'язано з використанням програмного забезпечення, що дозволяє керувати різними процесами обробки деталей, зокрема, обробкою різанням, свердлінням, фрезеруванням та ін. Проаналізовано деякі обмеження, що необхідно враховувати при визначенні режимів обробки деталей технічних виробів. Отже, для підвищення ефективності процесу обробки технічних виробів доцільно розробити програмне забезпечення, що на основі методів оптимізації з урахуванням наявних обмежень дозволяє обирати оптимальні режими обробки.

За результатами проведеного аналізу можна зробити висновок, що у наш час існує досить багато програмних засобів підтримки технологічних процесів виготовлення технічних виробів. Проте деякі всі вони є досить високовартісними, надають багато зайвих функцій та не підтримують можливості розрахунку режимів обробки деталей технічних виробів з урахуванням різних обмежень технологічного процесу. Тому актуальною є розробка програмного забезпечення, що реалізує методи оптимізації режимів обробки технічних виробів.

Сформульовано функціональні вимоги до програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів.

2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

2.1 Вибір мови програмування та інших технологій розробки

При розробці програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів було використано мову програмування MATLAB [12]-[14].

MATLAB є відомою системою обчислювальної математики, що заснована на матричних операціях. Назва MATLAB походить від словосполучення лабораторія матриць. Матриці широко використовуються в складних математичних обчисленнях. Програма MATLAB подолала обмеження спеціальних матричних систем і стала однією з найпотужніших універсальних систем комп'ютерної математики [12]-[14].

Програма MATLAB є системою, що об'єднує обчислення, візуалізацію та програмування у зручному для користувача середовищі. Вона дозволяє вирішувати проблеми та формувати рішення у загальній математичній формі. Основні напрямки використання MATLAB включають: математичні та інші розрахунки, розробку алгоритмів, моделювання, аналіз даних та візуалізацію, створення наукових та технічних графіків, а також розробку додатків [12]-[14].

Різноманітні можливості внесення змін у систему та її гнучкість для вирішення різноманітних науково-технічних задач призвели до створення численних прикладних пакетів, що значно розширили сферу застосування цієї системи. Кожен такий пакет містить бібліотеки функцій MATLAB (збережені у файлах з розширенням *m*), які дозволяють MATLAB впоратися із специфічними завданнями [12]-[14].

Розглянемо аналоги програмного забезпечення MATLAB. Відомими аналогами є система SciLab та проект Octave. Обидві програми мають інтерфейс, схожий на ранні версії MATLAB, зберігають його ідеологію та використовують практично ту ж саму мову програмування. Доступні версії для різних операційних систем, зокрема Windows, Linux і FreeBSD. Проте не

всі можливості, які є у MATLAB, реалізовані у цих програмах-аналогах, особливо у випадку останніх версій MATLAB [12]-[14].

SciLab має добре структуровану систему допомоги користувачам, а також російську версію документації на їхньому сайті. Програма вдало реалізована для роботи з графіками. З іншого боку, Octave має менш зручний інтерфейс, заснований на командному рядку, і не так популярний як SciLab. Крім того, документація доступна лише англійською мовою [12]-[14].

Програма MATLAB характеризується декількома перевагами порівняно з іншими програмними середовищами, призначеними для наукових та інженерних розрахунків та візуалізації результатів. До цих переваг можна віднести наступне [12]-[14]:

- можливість створення практичного, універсального та зручного інтегрованого середовища, яке дозволить вирішувати проблеми та знаходити рішення у загальній математичній формі без необхідності традиційного програмування [12]-[14];

- реалізація численних функцій, що дозволяє забезпечити легке розширення та гнучкість системи для вирішення різноманітних робочих завдань [12]-[14];

- можливість розв'язання проблемно-орієнтованих процедур, що надають багато можливостей для вирішення задач у конкретних практичних галузях [12]-[14];

- можливість використовувати вектори і матриці як основні структури даних, а також забезпечити швидкість виконання інтегрованих векторних і матричних операцій [12]-[14].

Наведені переваги роблять MATLAB популярною мовою програмування та широко використовуваним інструментом для інженерних розрахунків [12]-[14].

Optimization Toolbox є додатковим пакетом для MATLAB, який включає в себе класичні алгоритми для розв'язання стандартних і багатовимірних задач оптимізації. Він містить функції для лінійного,

квадратичного та цілочисельного програмування, а також для нелінійної оптимізації, методів найменших квадратів, розв'язання систем нелінійних рівнянь, багатовимірної оптимізації та мінімізації функцій. Цей пакет допомагає знайти оптимальні рішення та вирішувати проблеми оптимізації шляхом використання стандартних алгоритмів [12]-[14].

Завдяки MATLAB та Optimization Toolbox, інженери та дослідники мають необхідні інструменти для пошуку оптимальних рішень, формулювання та діагностики оптимізаційних задач. Вони також можуть швидко впроваджувати стандартні алгоритми оптимізації у своїх робочих процесах або навіть інтегрувати власні методи. Використовуючи ці інструменти, користувачі можуть зберігати параметри процесу ітерації або створювати власні параметри для виконання обчислень [12]-[14].

Genetic Algorithm and Direct Search Toolkit – це набір інструментів, який розширює можливості оптимізації в середовищі Matlab і Optimization Toolkit для розв'язання задач одновимірної та безперервної оптимізації. Генетичні алгоритми та інструменти прямого пошуку вирішують проблеми оптимізації, які мають високий рівень нелінійності та асиметрії і не можуть бути вирішені за допомогою класичних методів оптимізації [12]-[14].

Для класичного процесу оптимізації використовуються генетичні алгоритми та функції панелі інструментів прямого пошуку у пакеті Genetic Algorithm and Direct Search Toolkit. Цей пакет має специфічні графічні функції, які дозволяють подати у графічному вигляді процес розподілу, значення цільової функції, параметри параметрів, розмір сітки та кількість обчислень цільової функції. Важливою особливістю цього пакету є можливість імпортувати наявну конфігурацію завдання оптимізації, що дозволяє повторно використовувати її [12]-[14].

Функції Genetic Algorithm і Direct Search Toolbox розроблені на відкритій мові програмування MATLAB, що дозволяє користувачам керувати виконанням алгоритмів, змінювати вихідний код і створювати власні функції та підпрограми [12]-[14].

Основними рисами цих інструментів є графічний інтерфейс користувача та функції командного рядка, що дозволяють швидко запускати процеси оптимізації та моніторити їх, розв'язувати оптимізаційні задачі з високою нелінійністю цільової функції та лінійними та нелінійними обмеженнями. Інструменти також надають засоби для генерації початкових популяцій, батьківського відбору, типів кросинговерів і мутацій для алгоритмів генетичної оптимізації, а також дозволяють знаходити моделі, встановлювати параметри та розмір сітки за допомогою інструменту прямого пошуку [12]-[14].

Обґрунтування вибору мови програмування для розробки програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Обґрунтування вибору мови програмування для розробки програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів

Критерій порівняння мов програмування	Мова програмування		
	MATLAB	SciLab	MuPAD
Засоби багатовимірної оптимізації	+	+—	—
DLL-виклики	+	+	—
Зручність подання результатів у вигляді графіків	+	+—	+—
Засоби експорту та імпорту даних	+	+—	—
Тип ліцензії	Пропрієтарна	GPL	Пропрієтарна

Отже, для реалізації програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів обрано мову програмування MATLAB, яка є відомою програмною системою обчислювальної математики, що заснована на

матричних операціях, та має засоби для розробки програмного забезпечення для пошуку оптимальних значень у багатовимірному просторі.

2.2 Вибір середовища розробки для створення програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів

В якості середовища розробки для створення програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів було обрано Microsoft Visual Studio [15], [16].

Середовище розробки Microsoft Visual Studio є відкритим середовищем для мов програмування. Це означає, що при певних умовах можна використовувати будь-яку мову програмування, а також мови, які підтримуються цим середовищем за замовчуванням, зокрема, Microsoft Visual C++ .NET, Visual C# .NET, J# .NET та Visual Basic .NET. Основне обмеження полягає в тому, що всі мови, які використовуються в середовищі Visual Studio .NET, повинні підтримувати .NET Framework [15], [16]. Це середовище має декілька особливостей [15], [16]:

- можливість використовувати зручні багатомовні компоненти;
- можливість комбінувати частини програми з різних мов;
- підтримка прозорого налагодження таких додатків;
- здатність писати класи однією мовою, а його дочірні класи – іншою мовою [15], [16].

Середовище розробки Microsoft Visual Studio сприяє інтеграції різних мов програмування, дозволяючи зберегти їх індивідуальність та особливості. Прикладом такого підходу є платформа Microsoft .NET, яка надає середовище для виконання програм та детально описує, як створити і запустити програмний код на комп'ютері. Вона охоплює операційні системи та прикладні програми, забезпечуючи доступ до баз даних, підтримку мережових програм, різні мови програмування та методи керування з'єднаннями з використанням основних класів [15], [16].

Також, в рамках платформи .NET, існує пакет MATLAB Builder, який є розширенням пакета MATLAB Compiler. Він дозволяє перетворювати функції MATLAB в класи .NET, які можуть бути використані як компоненти або пакети .NET. При цьому, кожна функція MATLAB стає методом певного класу, і її можна легко викликати з програми .NET [15], [16].

.NET Builder є інструментом, який перетворює функції з MATLAB на методи .NET, що дозволяє вбудовувати код MATLAB в програми на .NET. Кожен компонент .NET Builder складається з одного або кількох класів, і кожен клас надає інтерфейс для певної кількості функцій, які додаються до класу під час створення компонента. Після створення компонента, він представлений двома файлами: один з них (dll) містить збірку компонента, а інший (ctf) містить технічну інформацію, необхідну для запуску компонента MATLAB [15], [16].

Програми, що використовують методи, створені за допомогою .NET Builder, не залежать від наявності встановленого MATLAB. Проте для коректної роботи таких програм потрібно мати середовище виконання компонентів MATLAB. Зазвичай .NET Builder створює приватні збірки, але також підтримує можливість створення збірок з відкритим доступом [15], [16].

.NET Builder є інструментом, який надає потужні можливості для перетворення, індексування та форматування масивів даних в середовищі MATLAB. Його основна мета – забезпечити гнучкість та ефективність при виклику методів MATLAB із зовнішнього керуючого коду, особливо в мережесхемних додатках [15], [16].

Для підтримки типів даних MATLAB у .NET Builder, розробники використовують клас перетворення даних MWArray, який визначений у пакеті .NET Builder. Завдяки цьому класу, здійснюється перетворення рідних матриць на матриці MATLAB та навпаки, що дозволяє зручно працювати з даними обох середовищ [15], [16].

.NET Builder також забезпечує зручну обробку помилок, включаючи стандартну обробку винятків, що дозволяє розробникам більш легко виявляти та вирішувати проблеми, що виникають при роботі з програмою [15], [16].

Крім того, .NET Builder можна використовувати для створення COM-компонентів, що забезпечує можливість використання його функцій у різних додатках із використанням інтерфейсу Component Object Model (COM). Така функціональність дозволяє зробити код більш переносимим та зручним для використання в різних середовищах [15], [16].

Щоб створити компонент .NET, ви пишете одну або кілька м-функцій MATLAB, а потім створюєте проект у MATLAB Builder для .NET за допомогою середовища розробки Deployment Tools. Коли ви створюєте компонент, .NET Builder перетворює функції MATLAB, визначені в проекті компонента, на методи, які належать до керованого класу, який також створюється під час процесу конструювання [15], [16].

Коли ви створюєте компонент, ви повинні вказати ім'я класу та ім'я компонента. Це ім'я компонента також визначає ім'я збірки, яку реалізує компонент [15], [16].

Щоб викликати методи згенерованого компонента, розробнику потрібно ініціалізувати клас, створений .NET Builder, а потім викликати методи, які викликають функції MATLAB [15], [16].

Для створення компонента .NET розробнику необхідно створити одну або декілька функцій у середовищі MATLAB, а потім організувати проект за допомогою MATLAB Builder для .NET, використовуючи інструмент Deployment Tools. Коли проект компонента створено, .NET Builder перетворює визначені в ньому функції MATLAB на методи, що належать до керованого класу, який також автоматично створюється [15], [16].

При створенні компонента, потрібно вказати ім'я класу та ім'я самого компонента. Ім'я компонента визначає також ім'я збірки, яка буде реалізована компонентом [15], [16].

Отже, середовище розробки Microsoft Visual Studio підтримує розробку на мові MATLAB, є безкоштовним та дозволяє розробляти програмне забезпечення на основі методів багатовимірної оптимізації [15], [16].

Обґрунтування середовища розробки для створення програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Обґрунтування вибору середовища розробки для створення програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів

Критерій порівняння середовищ розробки	Середовище розробки		
	Microsoft Visual Studio	IntelliJ IDEA	Xcode
Виробник	Microsoft	JetBrains	Apple
Мови програмування	C#, VB.NET, C++, інші	Java, Kotlin, інші	Swift, Objective-C
Платформи підтримки	Windows	Windows, macOS, Linux	macOS
Розширення та інтеграція	Велика кількість	Багато плагінів та інтеграцій з іншими інструментами	Невелика кількість
Розробка вебзастосунків	Так	Так	Ні

Таким чином, для створення програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів обрано середовище розробки Microsoft Visual Studio, що підтримує розробку на мові MATLAB, є безкоштовним та дозволяє розробляти програмне забезпечення на основі методів багатовимірної оптимізації.

2.3 Метод оптимізації режимів обробки технічних виробів

У запропонованому методі оптимізації режимів обробки технічних виробів на етапі ініціалізації користувач вводить основні параметри обробки, зокрема, тип обробки (різання, свердління, фрезерування, штампування та ін.), тип верстату, оброблюваний матеріал. На цьому етапі задаються обмеження, які накладаються на процес обробки, а також параметри заготовки.

На наступному етапі виконується вибір класичного методу багатовимірної оптимізації, за допомогою якого виконується пошук оптимальних параметрів необхідного режиму обробки виробу з заданими характеристиками в умовах заданих обмежень.

На третьому етапі відбувається пошук оптимальних параметрів режиму обробки виробу з заданими характеристиками в умовах заданих обмежень за допомогою генетичного методу.

На заключному етапі обирається оптимальне рішення (рішення, яке забезпечує найкраще значення цільової функції) та виводяться на екран результати.

Таким чином запропоновано метод оптимізації режимів обробки технічних виробів, у якому на етапі ініціалізації задаються основні параметри та обмеження процесу обробки, а також параметри заготовки, потім відбувається пошук оптимальних параметрів відповідного процесу за допомогою методів багатовимірної оптимізації, що дозволяє обирати оптимальні режими обробки деталей технічних виробів з урахуванням обмежень, які накладаються на процес обробки.

Схематично розроблений метод оптимізації режимів обробки технічних виробів подано на рис. 2.1.

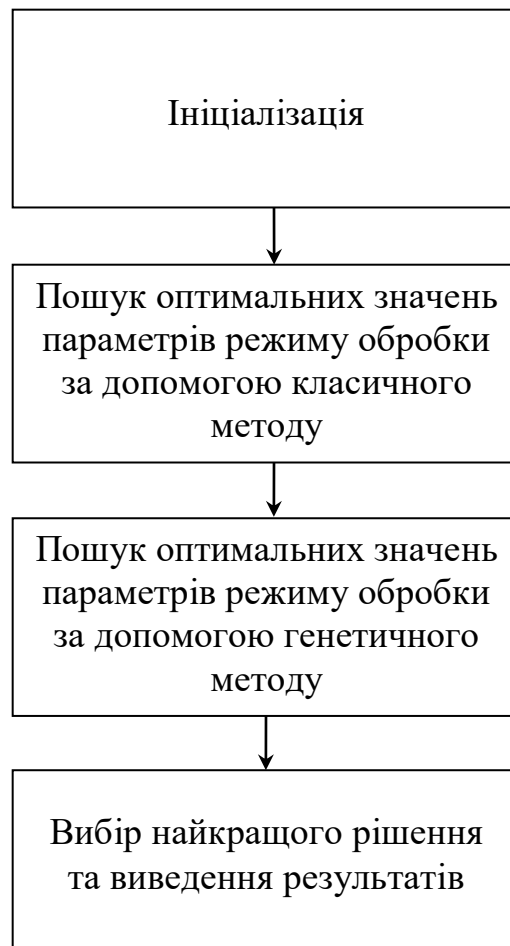


Рисунок 2.1 – Метод оптимізації режимів обробки технічних виробів

2.4 Висновки за розділом 2

Для реалізації програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів обрано мову програмування MATLAB, яка є відомою програмною системою обчислювальної математики, що заснована на матричних операціях, та має засоби для розробки програмного забезпечення для пошуку оптимальних значень у багатовимірному просторі.

Для створення програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів обрано середовище розробки Microsoft Visual Studio, що підтримує розробку на мові MATLAB, є безкоштовним та дозволяє розробляти програмне забезпечення на основі методів багатовимірної оптимізації.

Запропоновано метод оптимізації режимів обробки технічних виробів, у якому на етапі ініціалізації задаються основні параметри та обмеження процесу обробки, а також параметри заготовки, потім відбувається пошук оптимальних параметрів відповідного процесу за допомогою методів багатовимірної оптимізації, що дозволяє обирати оптимальні режими обробки деталей технічних виробів з урахуванням обмежень, які накладаються на процес обробки.

3 ОПИС ПРОГРАМИ

3.1 Структура програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів

Структуру програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів наведено на рис. 3.1.



Рисунок 3.1 – Структура програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів

Як видно з рисунку, програмне забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів складається з таких компонентів:

- модуль оптимізації, який являє собою .NET компонент;
- основний модуль, що являє собою застосунок для Windows;
- база довідкових даних.

Проаналізуємо призначення основних компонентів програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів. Модуль оптимізації програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів виконує дві основні функції:

- здійснення оптимізації цільової функції за допомогою симплексного методу лінійного програмування;
- здійснення оптимізації цільової функції з використанням генетичних алгоритмів.

Оскільки середовище MATLAB виявляється швидшим у порівнянні з іншими мовами програмування при розв'язанні типових задач оптимізації та спрощує розробку нових алгоритмів, його було обрано для створення підсистеми модулю оптимізації. Оскільки вбудовані функції MATLAB не підлягають компіляції, розроблено m-файли, які викликатимуть функції з відповідних модулів системи. За допомогою середовища .NET розроблені m-функції перетворюються на відповідні методи, які слугуватимуть оболонкою для доступу до функцій ззовні.

Таким чином, оптимізаційна підсистема програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів складається з .NET компонента, який включатиме два класи, кожен з яких забезпечуватиме інтерфейс для відповідних m-функцій, що реалізують відповідні методи багатовимірної оптимізації.

Основна функціональність оптимізаційної підсистеми програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів є такою:

- забезпечення графічного інтерфейсу для введення та виведення даних, які описують досліджувані процеси та параметри обробки й інші технологічні дані;
- пошук оптимальної комбінації параметрів режиму різання за допомогою різних методів багатовимірної оптимізації з метою досягнення максимальної продуктивності.

Основний модуль програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів являє собою застосунок для Windows, який використовує .NET компонент, створений засобами середовища розробки.

База довідкових даних забезпечує можливості у процесі функціонування програмного забезпечення оптимізації режимів обробки

технічних виробів доступу до бази даних, у якій можуть зберігатися довідкові дані, які є необхідними для пошуку оптимальних параметрів процесу обробки, відповідні дані зберігаються у базі даних під керуванням системи керування базами даних Access.

3.2 Функціонування програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів

Схема функціонування програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів наведена на рис. 3.2.

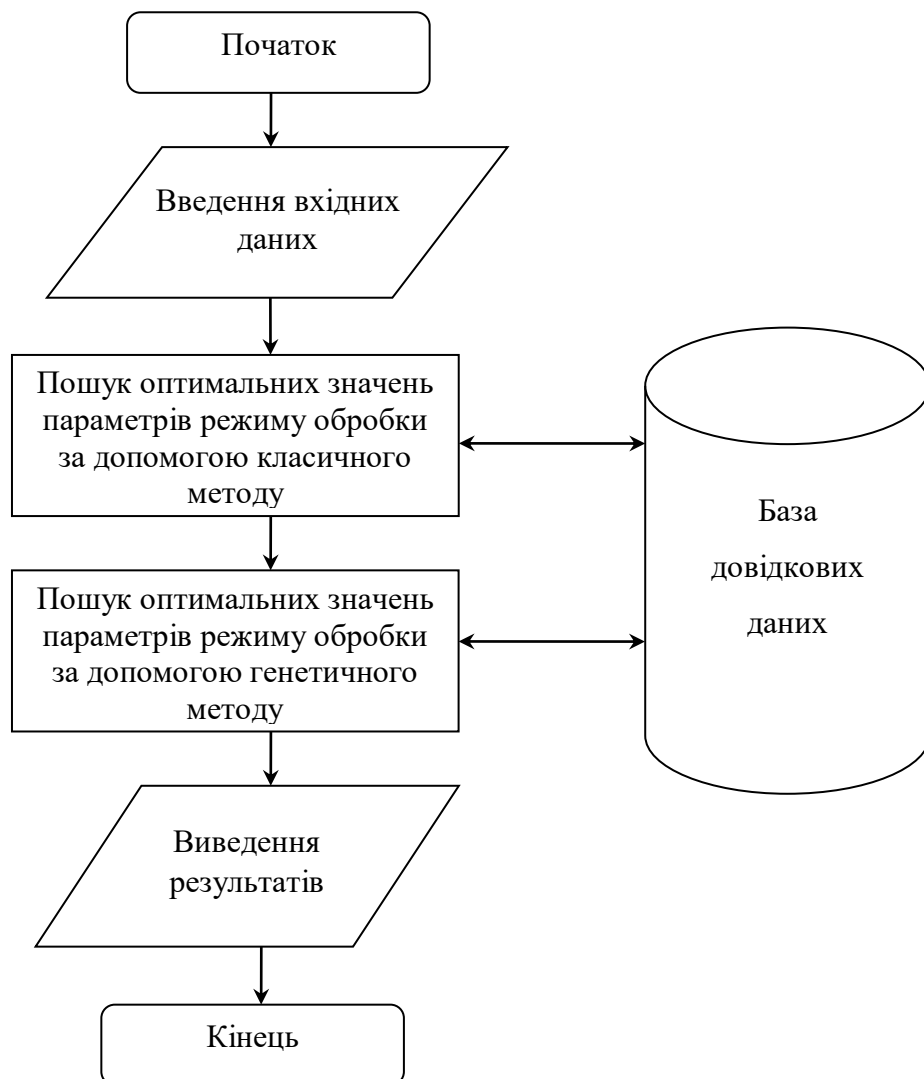


Рисунок 3.2 – Схема функціонування програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів

Як видно з рисунку 3.2, після запуску програми користувач вводить основні параметри обробки, зокрема, тип обробки (різання, свердління, фрезерування, штампування та ін.), тип верстату, оброблюваний матеріал. На цьому етапі задаються обмеження, які накладаються на процес обробки, а також параметри заготовки.

Далі відбувається пошук оптимальних значень параметрів режиму обробки за допомогою класичного методу багатовимірної оптимізації в умовах заданих обмежень.

Після цього виконується пошук оптимальних параметрів режиму обробки виробу з заданими характеристиками в умовах заданих обмежень за допомогою генетичного методу.

Після цього виконується пошук оптимальних параметрів виконується вибір оптимального рішення (рішення, яке забезпечує найкраще значення цільової функції) та виводяться на екран результати.

3.3 Особливості реалізації програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів

При реалізації програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів використовувалися функції, що реалізують багатовимірний пошук з урахуванням обмежень, за допомогою симплексного методу лінійного програмування та генетичних методів.

Лінійні програмувальні задачі у розробленому програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів можна вирішити за допомогою вбудованої функції використаної мови програмування. Ця функція використовує задані умови для області пошуку, цільова функція визначається за допомогою вектора коефіцієнтів. За допомогою певного параметра можна встановити додаткові налаштування, включаючи вибір алгоритму для розв'язання задачі. Для розв'язання лінійних програмувальних задач доступні два підходи: алгоритм внутрішньої точки (Large-Scale

Algorithm) та варіант симплекс-методу (Medium-Scale Algorithm). Для зміни значень параметрів функції можна скористатися параметром, що дозволяє відрегулювати параметри задачі залежно від потреб і обмежень задачі лінійного програмування.

Оптимізацію на основі генетичного пошуку у розробленому програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів можна здійснити за допомогою функції, яка включає засоби для виконання генетичного пошуку та основних генетичних операторів. Для використання генетичних методів використовується функція, яка дозволяє знаходити мінімум цільової функції з певними параметрами. Параметри роботи функції генетичного алгоритму встановлюються у змінній опцій, яка є структурою, де можна визначити різні налаштування, такі як представлення інформації в хромосомі, генетичні оператори, критерії зупинення та інші. Щоб застосувати генетичний алгоритм до цільової функції, необхідно спочатку записати її у вигляді окремого програмного модуля (функції).

Розмір обраної популяції при генетичному пошуку у розробленому програмному забезпеченні оптимізації режимів обробки технічних виробів становить 100 особин, що вважається оптимальним для уникнення збіжності алгоритму передчасно. Кількість елітних особин підібрано згідно з рекомендованим ступенем оновлення популяції, який дорівнює 0,92. Щоб уникнути безперервних стрибків по простору пошуку і зберегти рішення, ймовірність мутації не перевищує ймовірність схрещування. За замовчуванням, ці ймовірності дорівнюють 0,9 і 0,02 відповідно.

Найбільша кількість ітерацій, необхідна для генетичного алгоритму, для пошуку оптимального рішення досягається, коли ймовірність мутації дорівнює нулю, що означає відсутність мутацій. У цьому випадку покоління оновлюється лише за допомогою схрещування, без зміни значень, що призводить до деградації особин. Враховуючи ненульову ймовірність мутації, сто ітерацій пошуку вважається достатнім.

Початкова популяція формується за допомогою функції, яка створює випадкові початкові особини, що відповідають усім обмеженням та умовам.

Процедура масштабування придатності зводиться до зведення множини значень придатності до певного діапазону, що вважається оптимальним для роботи функції відбору. Величина цього діапазону впливає на продуктивність генетичного алгоритму. Якщо значення придатності масштабовані широко, то індивідуальні об'єкти з найвищими значеннями швидко розмножуються, і генетична популяція спадкових характеристик формується також швидко. Внаслідок цього може бути обмежений пошук рішень в інших областях простору рішень. З іншого боку, якщо масштабовані значення змінюються недостатньо, всі індивідуальні об'єкти мають приблизно однакові шанси на розмноження і пошук рішення, що суттєво уповільнює процес розв'язання. Зазвичай використовується функція для масштабування значень цільової функції.

Для використання генетичного алгоритму в даній задачі було обрано турнірний відбір, оскільки він має переваги перед іншими видами відбору, зокрема, не втрачає своєї ефективності, коли всі елементи популяції мають схожі значення цільової функції. Для оператора схрещування було обрано рівномірне схрещування, що є оптимальним варіантом з урахуванням розміру популяції. Функція мутації використовує випадкові напрямки, які підпорядковані останньому успішному або неуспішному поколінню, що дозволяє задовольняти обмеженням і лінійним обмеженням.

Прийнято рішення використовувати гібридну модель, де результат еволюційного пошуку використовується як початкова точка для оптимізації з використанням функції, що реалізує класичні методи багатовимірного пошуку.

Зважаючи на стохастичність генетичного алгоритму, у розробленій програмі він запускається декілька разів, і обирається найкращий результат.

Після написання функцій за допомогою мови MATLAB, було створено проєкт у середовищі розробки, який упаковує всі функції в один компонент.

При побудові компонента виконано генерацію коду для інтерфейсного класу, який розміщується в підкаталозі проєктного каталогу. Також створено збірку компонента, яка містить інтерфейсні класи та stf-файл, розташовані в іншому підкаталозі проєктного каталогу.

Після цього виконано проєктування інтерфейсу програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів (рис. 3.3). Для створення форми було використано різні компоненти, такі як текстові поля TextBox, мітки Label та компоненти ComboBox. Також, використано елемент управління CheckedListBox для представлення списку обмежень, які застосовуються під час режиму обробки. Компонент MenuStrip використовується для подання головного меню, а компоненти RadioButton використовуються як перемикачі.

Рисунок 3.3 – Проєктування форми програмного застосунку

Виконання операції оптимізації у багатовимірному просторі пошуку може займати багато часу, і це може призвести до того, що користувальницький інтерфейс не буде відображати коректної інформації. Тому в інтерфейсі програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів використано компонент, який дозволяє виконувати довгочасні операції у фоновому режимі в іншому потоці користувальницького інтерфейсу.

Оскільки програмне забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів використовує методи класів з компонента, створеного за допомогою .NET Builder, необхідно підключити деякі зовнішні класи та середовище виконання. Також до проєкту додано посилання на компоненти, що реалізують багатовимірну оптимізацію.

У випадку оптимізації методом генетичного пошуку визначаються обмеження для процесу обробки, трансформується матриця коефіцієнтів невідомих з лівих частин обмежень, а також вектори обмежень до типів, з якими може працювати генетичний алгоритм. Після цього запускається асинхронна операція та в обробнику відповідної події створюється екземпляр класу, що реалізує генетичний алгоритм. Далі обробляються значення, отримані в результаті виконання функції генетичного алгоритму. Оскільки потік, який викликав метод генетичного пошуку, продовжить свою нормальну роботу, щоб уникнути враження, що програма не працює, відображається форма з індикатором прогресу для індикації виконання процесу еволюційного пошуку.

3.4 Проєктування бази даних програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів

У процесі роботи з програмним забезпеченням оптимізації режимів обробки технічних виробів користувач може встановлювати параметри технологічних процесів та відповідних інструментів, додавати нові дані про

матеріали, інструменти та інші параметри. Вирішено, що для зберігання довідкових таблиць буде використовуватися база даних Access.

Розроблено схему бази даних програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів, яка наведена на рис. 3.4.

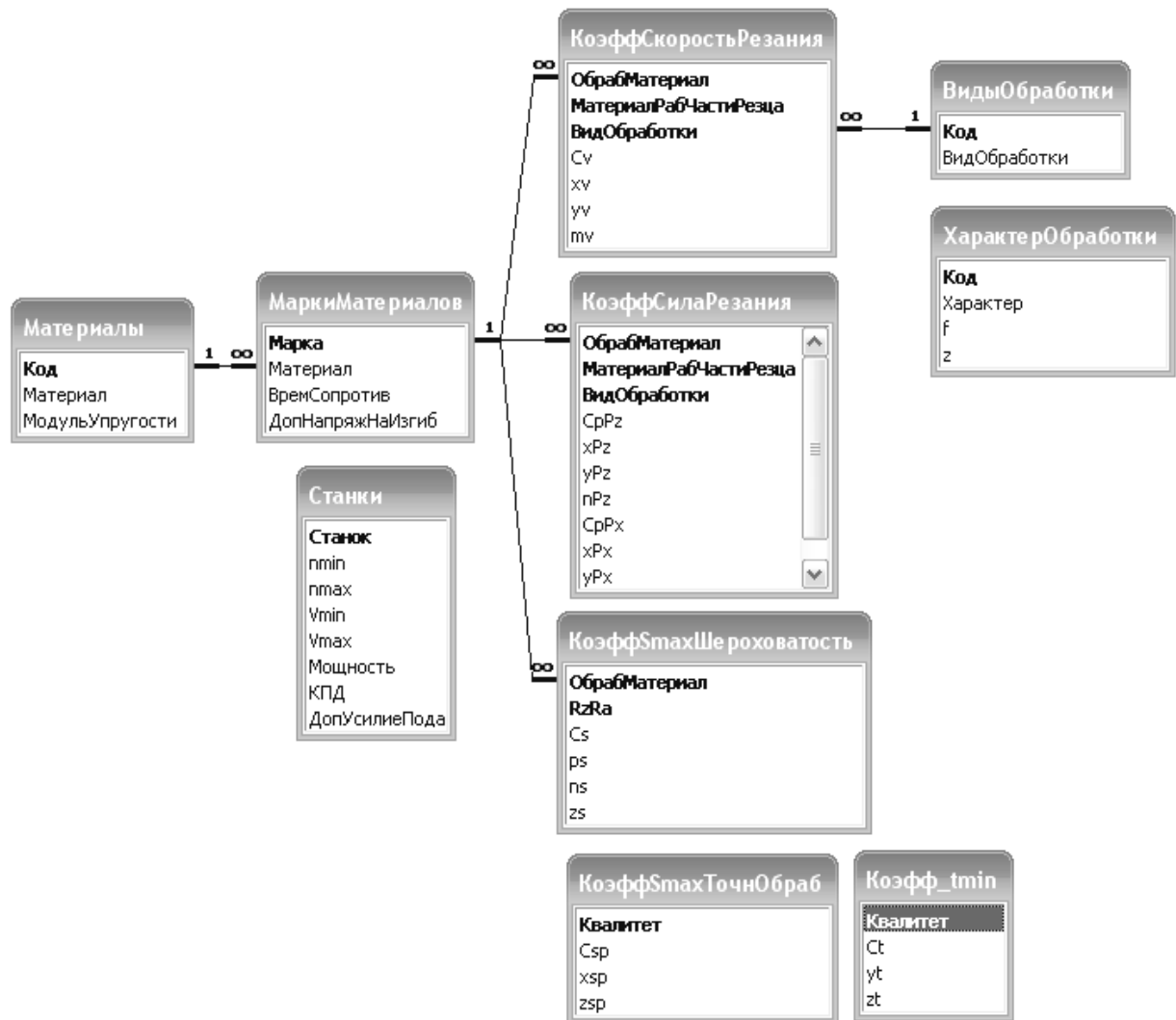


Рисунок 3.4 – Схема бази даних програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів

Як видно, у базі даних зберігається основна інформація про матеріали, верстати, характеристики процесу обробки та ін., що дозволяє формувати обмеження, які використовуються в процесі пошуку оптимальних параметрів обробки деталей.

3.5 Висновки за розділом 3

Розроблено програмне забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів. Запропоновано структуру та описано основні модулі програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів. Визначено, що основними компонентами програми оптимізації режимів обробки технічних виробів є: модуль оптимізації, який являє собою .NET компонент, основний модуль, що являє собою застосунок для Windows, база довідкових даних.

Описано функціонування програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів. Описано особливості реалізації програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів. Виконано проектування інтерфейсу взаємодії користувача з програмним забезпеченням оптимізації режимів обробки технічних виробів.

Здійснено проектування бази даних програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів.

4 ЕКСПЛУАТАЦІЯ, ТЕСТУВАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГРАМИ

4.1 Призначення й умови застосування програми

Програма призначена для забезпечення та підтримки процесу оптимізації режимів обробки технічних виробів. Програма написана на мові MATLAB, яка є відомою програмною системою обчислювальної математики, що заснована на матричних операціях, та має засоби для розробки програмного забезпечення для пошуку оптимальних значень у багатовимірному просторі. В якості середовища розробки для створення програми обрано Microsoft Visual Studio, що підтримує розробку на мові MATLAB, є безкоштовним та дозволяє розробляти програмне забезпечення на основі методів багатовимірної оптимізації.

Програмне забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів забезпечує виконання таких функцій:

- можливість введення числових даних, що характеризують процес обробки технічних виробів;
- можливість задавання типу та параметрів обмежень, що накладаються на процес обробки технічних виробів;
- пошук значень оптимальних параметрів режимів обробки технічних виробів з урахуванням наявних обмежень процесу обробки з використанням різних методів багатовимірної оптимізації;
- виведення результатів оптимізації у зручному для користувача вигляді.

Для експлуатації програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів необхідно таке апаратне та програмне забезпечення:

- тактова частота процесора 500 Мегагерц;
- вільне місце на жорсткому диску: 2Гб;
- оперативна пам'ять об'ємом 1Гб;

- операційна система сімейства Windows;
- середовище виконання .NET Framework 2.0;
- система керування базами даних MS Access.

Функціональні характеристики розробленого програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів наведено у технічному завданні (додаток А). Фрагмент тексту програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів наведено у додатку Б.

4.2 Характеристики програми оптимізації режимів обробки технічних виробів

Програмне забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів може працювати безперервно, в залежності від потреб користувача, швидкість його роботи залежить від швидкодії апаратних характеристик комп'ютера.

Під час роботи програма оптимізації режимів обробки технічних виробів надає інформацію користувачу у наступних формах:

- форма з полями для введення вхідних даних;
- форма з індикатором, який показує стан виконання процесу багатовимірної оптимізації;
- форма з виведеними оптимальними параметрами режиму обробки.

Під час роботи програма оптимізації режимів обробки технічних виробів також використовує довідкові дані, які знаходяться у базі даних.

4.3 Інструкція по експлуатації програми

4.3.1 Звернення до програми

Звертання користувачів до програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів здійснюється стандартними засобами операційної системи.

4.3.2 Вхідні й вихідні дані

Вхідними даними до програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів є основні параметри обробки, зокрема, тип обробки (різання, свердління, фрезерування, штампування та ін.), тип верстату, оброблюваний матеріал, обмеження, які накладаються на процес обробки, а також параметри заготовки.

Вихідними даними програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів є рішення (значення параметрів обробки), яке забезпечує найкраще значення цільової функції.

4.3.3 Повідомлення

Користувач програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів може отримати такі повідомлення: повідомлення про введення користувачем програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів некоректних даних, а також деякі інші повідомлення.

4.4 Виконання програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів

Після запуску програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів користувачу виводиться головна форма програми (рис. 4.1).

Рисунок 4.1 – Головна форма програмного забезпечення програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів

На цій формі користувач програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів може ввести основні параметри обробки, зокрема, вид обробки (різання, свердління, фрезерування, штампування та ін.), тип верстату, оброблюваний матеріал, обмеження, які накладаються на процес обробки, а також параметри заготовки.

У довідковому розділі головного меню програми оптимізації режимів обробки технічних виробів знаходиться пункт меню, при натисканні на який форма заповнюється конкретними даними технологічного процесу, що дозволяє спростити процес тестування програмного забезпечення.

На рис. 4.2 зображено приклад заповнення головної форми технологічними даними.

Оптимизация режимов резания во время токарной обработки

Выполнить Справка

Станок: 16K20Ф3

Марки материалов:

Обрабатываемый материал: 40Х

Материал режущей части резца: 40Х

Обработка:

Вид: Наружное продольное точение

Характер: Чистовая

ВЫБЕРИТЕ ОГРАНИЧЕНИЯ, НАКЛАДЫВАЕМЫЕ НА ПРОЦЕСС РЕЗАНИЯ

- ☒ Ограничение по скорости резания
- ☒ Ограничение по мощности главного привода
- ☒ Ограничение по прочности державки резца
- ☒ Ограничение по жесткости инструмента
- ☒ Ограничение по усилию подачи, предельно допустимой механизмами подачи станка
- ☒ Ограничение по величине наименьшей допустимой подачи, ограниченной радиусом скругления режущей кромки резца
- ☒ Ограничение по наибольшей величине подачи, ограниченной точностью обработки
- ☒ Ограничение по глубине резания, минимально допустимой по точности детали при чистовой обработке

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Диаметр заготовки, мм: 60

Стойкость резца, мин: 60

Проверка резца на прочность

Для прямоугольного поперечного сечения державки резца:

B, мм: 25 H, мм: 25

Вылет державки (l, мм): 37,5

Для круглого сечения державки резца:

d, мм:

Требования к шероховатости:

☒ Rz: 20 мкм

☐ Ra: мкм

гв, мм: 1,2

Ограничение по радиусу скругления режущей кромки:

rmin, мм: 0,02

phi, град: 45

Ограничение по точности обработки:

Квалитет точности: 10

Рисунок 4.2 – Головна форма програмного забезпечення програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів з заповненими технологічними даними

Для того, щоб уникнути враження у користувача програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів, що програма не реагує під час процесу багатовимірної оптимізації, на екрані відображається спеціальна форма з індикатором виконання пошуку оптимальних рішень (рис. 4.3).

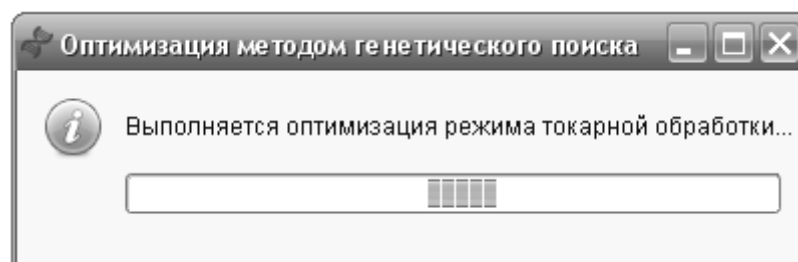


Рисунок 4.3 – Форма відображення прогресу багатовимірної оптимізації

Після завершення процесу багатовимірної оптимізації на екран (рис. 4.4) виводяться результати (параметри обробки) та значення критерію оптимальності (максимальна продуктивність).

Оптимальные параметры режима резания	
Частота вращения шпинделя станка, об/мин	2000,00
Подача, мм/об	0,028
Глубина резания, мм	1,501
<u>Максимальная производительность</u>	83,494
Дополнительная информация	
Время оптимизации, с	6,279
Количество итераций	53
Количество вычислений целевой функции	4024

Рисунок 4.4 – Результати виконання програмного забезпечення програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів

4.5 Тестування програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів

Виконано тестування програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів. Для цього було розв'язано завдання пошуку оптимальних параметрів режимів обробки при точінні. Цільова функція у цьому випадку є така: $F = n \cdot S \cdot t \Rightarrow \max$, де n є частотою обертання заготовки, змінна S позначає подачу інструменту, а t є глибиною різання. Для можливості застосування методу лінійного програмування функцію було прологарифмовано, що дало можливість з мультиплікативної залежності перейти до адитивної. Було задано чисельні та категоріальні параметри обробки, зокрема, вид обробки (різання, свердління, фрезерування,

штампування та ін.), тип верстату, оброблюваний матеріал, обмеження, які накладаються на процес обробки, а також параметри заготовки. При розв'язанні цієї задачі було враховано обмеження по жорсткості інструменту, потужності приводу, подачею, швидкістю обробки та інші.

Результати розв'язання завдання оптимізації режимів обробки технічних виробів наведено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати розв'язання завдання оптимізації режимів обробки технічних виробів

Критерій порівняння	Симплексний метод лінійного програмування	Генетичний метод
Значення критерію оптимальності	91,65	106,5
Частота обертання заготовки	2500	2500
Подача інструменту	0,026	0,030
Глибина різання	1,41	1,42
Час оптимізації, с	0,031	1,52

Як видно з табл. 4.1, розроблене програмне забезпечення дозволяє розв'язувати завдання оптимізації режимів обробки технічних виробів за допомогою різних методів багатовимірної пошуку. При цьому використання генетичного методу дає більш ефективний результат, витрачаючи більше часу на виконання оптимізації.

4.6 Висновки за розділом 4

Описано програмне забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів. Виконано тестування розробленого програмного

забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів. Результати тестування програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів показали, що розроблена програма дозволяє розв'язувати завдання оптимізації режимів обробки технічних виробів за допомогою різних методів багатовимірного пошуку. При цьому використання генетичного методу дає більш ефективний результат, витрачаючи більше часу на виконання оптимізації.

ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломної кваліфікаційної роботи магістра було проаналізовано та досліджено процес розробки програмного забезпечення для обробки технічних виробів.

Визначено, що удосконалення технологічних процесів у промисловості вимагає розвитку методів виробництва, технічного обладнання та відповідного програмного забезпечення. Проаналізовано застосування програмного забезпечення на різних технологічних процесах, що використовується для підвищення ефективності процесу виготовлення технічних виробів. Визначено, що використання програмних засобів у виробничих технологіях надає багато переваг кожній частині організації виробництва та забезпечує віддачу від інвестицій у технології, які стимулюють ці інновації. Відзначено, що вдосконалення виробничих процесів на основі програмних засобів та відповідного обладнання, включаючи моніторинг стану виробничих машин, датчики, розробку засобів надійності та виробничої безпеки, дозволяє підвищити продуктивність виробничого процесу, покращити безпеку, збільшити строки використання обладнання, збільшити час безвідмовної роботи та покращити результати виробництва.

Відзначено, що створення технічних виробів пов'язано з використанням програмного забезпечення, що дозволяє керувати різними процесами обробки деталей, зокрема, обробкою різанням, свердлінням, фрезеруванням та ін. Проаналізовано деякі обмеження, що необхідно враховувати при визначенні режимів обробки деталей технічних виробів. Отже, для підвищення ефективності процесу обробки технічних виробів доцільно розробити програмне забезпечення, що на основі методів оптимізації з урахуванням наявних обмежень дозволяє обирати оптимальні режими обробки.

За результатами проведеного аналізу можна зробити висновок, що у наш час існує досить багато програмних засобів підтримки технологічних

процесів виготовлення технічних виробів. Проте деякі всі вони є досить високовартісними, надають багато зайвих функцій та не підтримують можливості розрахунку режимів обробки деталей технічних виробів з урахуванням різних обмежень технологічного процесу. Тому актуальною є розробка програмного забезпечення, що реалізує методи оптимізації режимів обробки технічних виробів.

Сформульовано функціональні вимоги до програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів.

Для реалізації програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів обрано мову програмування MATLAB, яка є відомою програмною системою обчислювальної математики, що заснована на матричних операціях, та має засоби для розробки програмного забезпечення для пошуку оптимальних значень у багатовимірному просторі.

Для створення програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів обрано середовище розробки Microsoft Visual Studio, що підтримує розробку на мові MATLAB, є безкоштовним та дозволяє розробляти програмне забезпечення на основі методів багатовимірної оптимізації.

Новизна роботи полягає в тому, що запропоновано метод оптимізації режимів обробки технічних виробів, у якому на етапі ініціалізації задаються основні параметри та обмеження процесу обробки, а також параметри заготовки, потім відбувається пошук оптимальних параметрів відповідного процесу за допомогою методів багатовимірної оптимізації, що дозволяє обирати оптимальні режими обробки деталей технічних виробів з урахуванням обмежень, які накладаються на процес обробки. Виконано адаптацію методів багатовимірної оптимізації з обмеженнями до розв'язання завдань пошуку оптимальних параметрів режимів оброблення деталей виробів різноманітного призначення.

Практичне значення роботи полягає у тому, що розроблено програмне забезпечення для оптимізації режимів обробки технічних виробів з використанням методів багатовимірного пошуку з обмеженнями.

Запропоновано структуру та описано основні модулі програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів. Визначено, що основними компонентами програми оптимізації режимів обробки технічних виробів є: модуль оптимізації, який являє собою .NET компонент, основний модуль, що являє собою застосунок для Windows, база довідкових даних.

Описано функціонування програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів. Описано особливості реалізації програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів. Виконано проектування інтерфейсу взаємодії користувача з програмним забезпеченням оптимізації режимів обробки технічних виробів.

Здійснено проектування бази даних програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів.

Виконано тестування розробленого програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів. Результати тестування програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів показали, що розроблена програма дозволяє розв'язувати завдання оптимізації режимів обробки технічних виробів за допомогою різних методів багатовимірного пошуку. При цьому використання генетичного методу дає більш ефективний результат, витрачаючи більше часу на виконання оптимізації.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Manufacturing System [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.wallstreetmojo.com/manufacturing-system/>.
2. Optimization of the technological process and equipment of complex profiled parts [Electronic resource]. – Access mode : <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/916/1/012058/pdf>.
3. What is process technology [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.remingtoncollege.edu/articles/what-is-process-technology/>.
4. 6 Types of Manufacturing Processes [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.indeed.com/career-advice/career-development/manufacturing-processes>.
5. What is Manufacturing Technology [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.advancedtech.com/blog/manufacturing-technology/>.
6. Process Parameter Optimization of Additively Manufactured Parts Using Intelligent Manufacturing [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/22/15475>.
7. Find the best Manufacturing Software [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.softwareadvice.com/manufacturing/>.
8. Abas ERP [Electronic resource]. – Access mode : <https://abas-erp.com/en/product>.
9. S2K Enterprise Management Software [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.erpfocus.com/s2k-enterprise-management-erp-software-profile.html>.
10. Jobscope [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.jobscope.com/>.
11. Decision Builder [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.decisionsoftware.com/product-DB.html>.
12. MATLAB [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>.

13. MATLAB Tutorial [Electronic resource]. – Access mode :
<https://www.tutorialspoint.com/matlab/index.htm>.

14. MATLAB for beginners [Electronic resource]. – Access mode :
<https://www.cdslab.org/matlab/notes/preliminary-foundations/matlab-for-beginners/index.html>.

15. What is Visual Studio? [Electronic resource]. – Access mode :
<https://blog.hubspot.com/website/what-is-visual-studio>.

16. Microsoft Visual Studio [Electronic resource]. – Access mode :
<https://visualstudio.microsoft.com>.

ДОДАТОК А
Технічне завдання

Вступ

Програмне забезпечення може використовуватися для оптимізації режимів обробки технічних виробів.

A.1 Підстава для розробки

Підставою для розробки є завдання на дипломну кваліфікаційну роботу на тему «Дослідження та програмна реалізація методів оптимізації режимів обробки технічних виробів», затверджене наказом Національного університету «Запорізька політехніка» № 437 від 14 листопада 2023 р.

A.2 Призначення розробки

Програмний продукт призначений для забезпечення та підтримки процесу оптимізації режимів обробки технічних виробів.

A.3 Основні вимоги до програми, що розробляється

A.3.1 Вимоги до функціональних характеристик

Програмне забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів забезпечує виконання таких функцій:

- можливість введення числових даних, що характеризують процес обробки технічних виробів;
- можливість задавання типу та параметрів обмежень, що накладаються на процес обробки технічних виробів;
- пошук значень оптимальних параметрів режимів обробки технічних виробів з урахуванням наявних обмежень процесу обробки з використанням різних методів багатовимірної оптимізації;

– виведення результатів оптимізації у зручному для користувача вигляді.

А.3.2 Вимоги до інтерфейсу програми

Інтерфейс програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів повинен бути зручним для користувачів.

А.3.3 Вимоги до надійності

Програмне забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів повинно забезпечити надійне функціонування.

А.3.4 Умови експлуатації

Для експлуатації програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів необхідна наявність персонального комп'ютера у користувача.

А.3.5 Вимоги до складу та параметрів технічний засобів

Для експлуатації програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів необхідно таке апаратне та програмне забезпечення:

- тактова частота процесора 500 Меггерц;
- вільне місце на жорсткому диску: 2Гб;
- оперативна пам'ять об'ємом 1Гб;
- операційна система сімейства Windows;

- середовище виконання .NET Framework 2.0;
- система керування базами даних MS Access.

A.3.6 Вимоги до маркування і пакування

Програма оптимізації режимів обробки технічних виробів може бути записана на будь-якому носії інформації. На пакуванні повинна бути назва програми – «Програмне забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів».

A.4 Вхідні дані до роботи

Вхідними даними до програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів є основні параметри обробки, зокрема, тип обробки (різання, свердління, фрезерування, штампування та ін.), тип верстату, оброблюваний матеріал, обмеження, які накладаються на процес обробки, а також параметри заготовки.

Вихідними даними програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів є рішення (значення параметрів обробки), яке забезпечує найкраще значення цільової функції.

ДОДАТОК Б
Фрагмент тексту програми

```

namespace Optmctmd
{
    public partial class MainForm : Form
    {
        double Kktv = 1,
            Ktpp = 1,
            Dm,          //диаметр заготовки
            CppPz, xPpz, yPpz, nPpz,
            CppPx, xPpx, yPpx, nPpx,
            Np,
            effp,
            psigma,
            l,
            Bp,
            Hp,
            dp,
            Ep,
            fp,
            Psp,
            workpmanpshipp,
            nminp,
            nmaxp,
            Vminp,
            Vmaxp;

        List<double> plb = new List<double>();
        List<double> pub = new List<double>();
        List<double> pbineq = new List<double>();
        List<double[]> pAineq = new List<double[]>();

        double pnGA,
            pSGA,
            ptGA,
            pFmaxGA,

```

```

        ptimeGA,
        pgenerationsGA,
        pfunccountGA,
        pnLP,
        pSLP,
        ptLP,
        pFmaxpLP,
        ptimepLP,
        piterationspLP;

FormRngg  frmgg ;
FormRnplp frm1p;

public MainForm()
{
    InitializeComponent();
    tftbblnkdmtr.Enabled = false;
    tftbctrdmtr.Enabled = false;
    tftbB.Enabled = false;
    tftbH.Enabled = false;
    tftbL.Enabled = false;
    tftbd.Enabled = false;
    tftbRa.Enabled = false;
    tftbRz.Enabled = false;
    tftbrv.Enabled = false;
    rdbtnrz.Enabled = false;
    rdbtnra.Enabled = false;
    tftbpmin.Enabled = false;
    tftbphi.Enabled = false;
    tftbwrkmnshp.Enabled = false;

    OleDbConnection cnctn = new OleDbConnection(cnctnString);
    try
    {

```

```

        cnctn.Open();
    }
    catch (Exception ex)
    {
        MessageBox.Show("err");
        return;
    }

    OleDbCommand cmmd = new OleDbCommand();
    cmmd.Connection = cnctn; //подключение к базе данных

    cmmd.CommandText = "SELECT Tprc FROM Tbltprcs ORDER BY Tprc
ASC";

    try
    {
        OleDbDataReader ddtrr = cmmd.ExecuteReader();
        while (ddtrr.Read())
        {
            cbtrttrp.Items.Add(ddtrr["Tprc"]);
        }
        ddtrr.Close();
        ddtrr.Dispose();
    }

    cmmd.CommandText = "SELECT Mrk FROM MrkMtrls ORDER BY Mrk
ASC";

    try
    {
        OleDbDataReader ddtrr = cmmd.ExecuteReader();
        while (ddtrr.Read())
        {
            dbtbmtrtrt.Items.Add(ddtrr["Mrk"]);
            dbctmtrl.Items.Add(ddtrr["Mrk"]);
        }
    }

```

```

        ddtrr.Close();
        ddtrr.Dispose();
    }

    cmmd.CommandText = "SELECT Chrcct FROM Chrctprcs ORDER BY
Chrcct ASC";
    try
    {
        OleDbDataReader ddtrr = cmmd.ExecuteReader();
        while (ddtrr.Read())
        {
            tcbtrtntr.Items.Add(ddtrr["Chrcct"]);
        }
        ddtrr.Close();
        ddtrr.Dispose();
    }

    cmmd.CommandText = "SELECT Mchn FROM Mchns ORDER BY Mchn
ASC";
    try
    {
        OleDbDataReader ddtrr = cmmd.ExecuteReader();
        while (ddtrr.Read())
        {
            cblth.Items.Add(ddtrr["Mchn"]);
        }
        ddtrr.Close();
        ddtrr.Dispose();
    }
    }
    cnctn.Close();      }

    private void tcbtrtntr_SelectedIndexChanged(object sender,
EventArgs e)

```

```

{
    string cmmdtxt = "SELECT fth FROM Chrctprcs " +
        "WHERE Chrcct='" + tcbtrtntr.SelectedItem.ToString() +
        "'";

    DataSet ddst = new DataSet();
    ddst = QueryToDB(cmmdtxt);
    fth =
double.Parse(ddst.Tables[0].Rows[0]["fth"].ToString());
    ddst.Dispose();
}

private void cbtrttp_SelectedIndexChanged(object sender,
EventArgs e)
{
    switch (cbtrttp.SelectedItem.ToString())
    {
        case "xtrlngtd":
            Kktv = 0.95;
            break;
        default:
            Kktv = 0.85;
            break;
    }
}

private void chkdcnstrn_SelectedIndexChanged(object sender,
EventArgs e)
{
    foreach (int ndxvhkd in chkdcnstrn.CheckedIndices)
    {
        switch (ndxvhkd)
        {
            case 0:

```

```

        tftbblnkdmttr.Enabled = true;
        tftbctrdmtr.Enabled = true;
        break;
case 1:
    tftbblnkdmttr.Enabled = true;
    break;
case 2:
    tftbblnkdmttr.Enabled = true;
    tftbL.Enabled = true;
    switch (cbtrttp.SelectedItem.ToString())
    {
        case "Xtrlngtd":
            tftbB.Enabled = true;
            tftbH.Enabled = true;
            break;
        default:
            tftbd.Enabled = true;
            break;
    }
    break;
case 3:
    tftbblnkdmttr.Enabled = true;
    tftbL.Enabled = true;
    switch (cbtrttp.SelectedItem.ToString())
    {
        case "Xtrlngtd":
            tftbB.Enabled = true;
            tftbH.Enabled = true;
            break;
        default:
            tftbd.Enabled = true;
            break;
    }
    break;

```

```

        case 4:
            tftbblnkdmttr.Enabled = true;
            break;
        case 5:
            tftbblnkdmttr.Enabled = true;
            rdbtnra.Enabled = true;
            rdbtnrz.Enabled = true;
            tftbrv.Enabled = true;
            break;
        case 6:
            tftbpmin.Enabled = true;
            tftbphi.Enabled = true;
            break;
        case 7:
            tftbblnkdmttr.Enabled = true;
            tftbwrkmnshp.Enabled = true;
            break;
    }
}

private void rdbtnrz_CheckedChanged(object sender, EventArgs e)
{
    if (rdbtnrz.Checked) tftbRz.Enabled = true;
    else tftbRz.Enabled = false;
}

private void rdbtnra_CheckedChanged(object sender, EventArgs e)
{
    if (rdbtnra.Checked) tftbRa.Enabled = true;
    else tftbRa.Enabled = false;
}

```

ДОДАТОК В
Слайди презентації

**Міністерство освіти та науки України
Національний університет «Запорізька політехніка»
Кафедра програмних засобів**

**Дослідження та програмна реалізація методів
оптимізації режимів обробки технічних виробів**

Виконав

ст. гр. КНТ-132м

Іван ТИМЧЕНКО

Керівник

к. т. н., доцент

Тетяна КОЛПАКОВА

1

Рисунок В.1 – Слайд 1

Об'єктом дослідження є процес розробки програмного забезпечення для обробки технічних виробів.

Предмет дослідження – програмні засоби для оптимізації режимів обробки технічних виробів.

Мета роботи – розробка програмного забезпечення для оптимізації режимів обробки технічних виробів.

2

Рисунок В.2 – Слайд 2

ЗАВДАННЯ РОБОТИ

- виконати аналіз предметної області та програмних засобів для підтримки технологічних процесів виготовлення технічних виробів;
- розробити метод оптимізації режимів обробки технічних виробів;
- здійснити проектування програмного забезпечення для оптимізації режимів обробки технічних виробів;
- створити програмне забезпечення для оптимізації режимів обробки технічних виробів;
- виконати тестування розробленого програмного забезпечення для оптимізації режимів обробки технічних виробів.

3

Рисунок В.3 – Слайд 3

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАМ ПІДТРИМКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ВИРОБІВ

Критерій порівняння	AbasERP	S2K Enterprise	Jobscope	Decision Builder
Інструменти автоматизації робочих процесів	+	+–	+	–
Вартість використання	від 149 у.о. на місяць	не публікується виробником	від 3000 у.о.	не публікується виробником
Засоби створення виробничої документації	+	–	–	+
Маркетингові інструменти, динамічна аналітика, бізнес-сповіщення в реальному часі та повідомлення для співробітників і клієнтів	+–	+	–	+
Засоби сповіщення в реальному часі	+–	+	+	–
Використання хмарних сервісів	+–	+–	+	–

4

Рисунок В.4 – Слайд 4

ПОРІВНЯННЯ МОВ ПРОГРАМУВАННЯ

Критерій порівняння мов програмування	Мова програмування		
	MATLAB	SciLab	MuPAD
Засоби багатовимірної оптимізації	+	+-	-
DLL-виклики	+	+	-
Зручність подання результатів у вигляді графіків	+	+-	+-
Засоби експорту та імпорту даних	+	+-	-
Тип ліцензії	Пропріетарна	GPL	Пропріетарна

5

Рисунок В.5 – Слайд 5

ВИБІР СЕРЕДОВИЩА РОЗРОБКИ

Критерій порівняння середовищ розробки	Середовище розробки		
	Microsoft Visual Studio	IntelliJ IDEA	Xcode
Виробник	Microsoft	JetBrains	Apple
Мови програмування	C#, VB.NET, C++, інші	Java, Kotlin, інші	Swift, Objective-C
Платформи підтримки	Windows	Windows, macOS, Linux	macOS
Розширення та інтеграція	Велика кількість	Багато плагінів та інтеграцій з іншими інструментами	Невелика кількість
Розробка вебзастосунків	Так	Так	Ні

6

Рисунок В.6 – Слайд 6

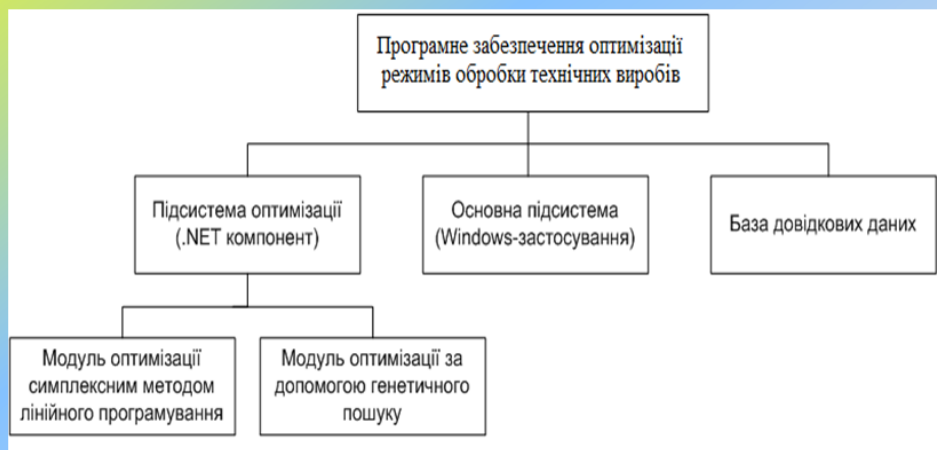
МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ ОБРОБКИ ТЕХНІЧНИХ ВИРОБІВ



7

Рисунок В.7 – Слайд 7

СТРУКТУРА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ ОБРОБКИ ТЕХНІЧНИХ ВИРОБІВ



8

Рисунок В.8 – Слайд 8

ПРИКЛАД РОБОТЫ С ПРОГРАМОЮ. Головна форма

Выполнить Справка

Станок: 16K20Ф3

Марки материалов: 40K

Обработываемый материал: 40K

Материал режущей части резца: 40K

Обработка: Наружное продольное точение

Вид: Чистовая

Характер: Чистовая

ВЫБЕРИТЕ ОГРАНИЧЕНИЯ, НАКЛАДЫВАЕМЫЕ НА ПРОЦЕСС РЕЗАНИЯ

- ☒ Ограничение по скорости резания
- ☒ Ограничение по мощности главного привода
- ☒ Ограничение по прочности державки резца
- ☒ Ограничение по жесткости инструмента
- ☒ Ограничение по усилию подачи, предельно допустимый механизм подачи станка
- ☒ Ограничение по величине подачи, предельно допустимый требования к шероховатости обрабатываемой поверхности
- ☒ Ограничение по величине наименьшей допустимой подачи, ограниченной радиусом скругления режущей кромки резца
- ☒ Ограничение по наибольшей величине подачи, ограниченной точностью обработки
- ☒ Ограничение по глубине резания, минимально допустимой по точности детали при чистовой обработке

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Диаметр заготовки, мм: 60

Стойкость резца, мин: 60

Проверка резца на прочность

Для прямоугольного поперечного сечения державки резца

Для круглого сечения державки резца

Требования к шероховатости

Рz: 20 мкм

Ra: мкм

lv, мм: 1.2

Ограничение по радиусу скругления режущей кромки

рап, мм: 0.02

phi, град: 45

Ограничение по точности обработки

Квалитет точности: 10

В, мм: 25

H, мм: 25

Вылет державки (l, мм): 37.5

11

Рисунок В.11 – Слайд 11

ПРИКЛАД РОБОТЫ С ПРОГРАМОЮ. Форма с результатами

Результаты оптимизации

Оптимальные параметры режима резания

Частота вращения шпинделя станка, об/мин: 2000.00

Подача, мм/об: 0.028

Глубина резания, мм: 1.501

Максимальная производительность: 83.494

Дополнительная информация

Время оптимизации, с: 6.279

Количество итераций: 53

Количество вычислений целевой функции: 4024

Оптимизация методом генетического поиска

Выполняется оптимизация режима токарной обработки...

12

Рисунок В.12 – Слайд 12

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАВДАННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ ОБРОБКИ ТЕХНІЧНИХ ВИРОБІВ

Критерій порівняння	Симплексний метод лінійного програмування	Генетичний метод
Значення критерію оптимальності	91,65	106,5
Частота обертання заготовки	2500	2500
Подача інструменту	0,026	0,030
Глибина різання	1,41	1,42
Час оптимізації, с	0,031	1,52

13

Рисунок В.13 – Слайд 13

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломної кваліфікаційної роботи магістра було проаналізовано та досліджено процес розробки програмного забезпечення для обробки технічних виробів.

Новизна роботи полягає в тому, що запропоновано метод оптимізації режимів обробки технічних виробів, у якому на етапі ініціалізації задаються основні параметри та обмеження процесу обробки, а також параметри заготовки, потім відбувається пошук оптимальних параметрів відповідного процесу за допомогою методів багатовимірної оптимізації, що дозволяє обирати оптимальні режими обробки деталей технічних виробів з урахуванням обмежень, які накладаються на процес обробки.

Практичне значення роботи полягає у тому, що розроблено програмне забезпечення для оптимізації режимів обробки технічних виробів з використанням методів багатовимірного пошуку з обмеженнями.

Виконано тестування розробленого програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів. Результати тестування програмного забезпечення оптимізації режимів обробки технічних виробів показали, що розроблена програма дозволяє розв'язувати завдання оптимізації режимів обробки технічних виробів за допомогою різних методів багатовимірного пошуку.

14

Рисунок В.14 – Слайд 14