

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет інформаційної безпеки та електронних комунікацій
(повне найменування факультету)

Кафедра інформаційних технологій електронних засобів
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ
ПРИСТОСУВАНЬ ОСНАЩЕННЯ
AUTOMATED DESIGN SYSTEM FOR TECHNOLOGICAL PROCESSES
OF MECHANICAL PROCESSING OF PARTS FOR FIXTURES AND
EQUIPMENT

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи БК-612м
Спеціальності 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Автоматизація, мехатроніка та робототехніка

КІРІЧКОВ А.А.
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ТЯГУНОВА М.Ю.
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет інформаційної безпеки та електронних комунікацій
 Кафедра інформаційних технологій електронних засобів
 Ступінь вищої освіти магістр
 Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Автоматизація, мехатроніка та робототехніка
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.завідувача кафедри ІТЕЗ, к.т.н, доц.
О.Ю. МАЛИЙ
 “ ” 2024 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

КІРІЧКОВА Антона Анатолійовича

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Система автоматизованого проектування технологічних процесів механічної обробки деталей пристосувань оснащення Automated design system for technological processes of mechanical processing of parts for fixtures and equipment.

керівник проекту (роботи) к.т.н., доц., ТЯГУНОВА Марія Юріївна,
(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові,)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 23 ” квітня 2024 року № 162

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 18 червня 2024 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) технологічні процеси механічної обробки деталей пристосувань оснащення, комп'ютерні моделі деталей

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ, 1. Аналіз предметної області, постановка задачі; 2 Загальна характеристика системи автоматизованого проектування технологічних процесів механічної обробки деталей; 3 Рішення по реалізації компонентів системи; 4 Використання системи автоматизованого проектування технологічних процесів механічної обробки деталей, Висновки, Додатки
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) слайди презентації, ЕРД-діаграми

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Розділи 1-4	ТЯГУНОВА М.Ю., доцент		
Нормоконтроль	ПОСПЕСВА І. Є., ст.викладач		

7. Дата видачі завдання « 01 » березня 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Постановка завдання	1 тиждень	Завдання, ТЗ
2	Аналіз предметної області.	2-3 тиждень	Розділ 1,2
3	Розробка загальної архітектури системи	4-5 тиждень	Розділ 3
4	Розробка компонента системи	6-7 тиждень	Розділ 3
5	Тестування роботи системи	8 тиждень	Розділ 4
6	Оформлення пояснювальної записки та створення презентації	9-10 тиждень	Пояснювальна записка
7	Нормоконтроль та рецензування	11 тиждень	
8	Захист дипломної роботи.	11 тиждень	

Студент(ка)

_____ Антон КІРІЧКОВ
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)

_____ Марія ТЯГУНОВА
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної кваліфікаційної роботи магістра:
87 с., 15 табл., 18 рис., 2 дод., 25 джерел.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ,
КОНСТРУКТОРСЬКА ДОКУМЕНТАЦІЯ, ТЕХНОЛОГІЧНА
ДОКУМЕНТАЦІЯ, БАЗА ДАНИХ, CAD, CAM.

Об'єкт дослідження – система автоматизованого проектування технологічних процесів механічної обробки деталей пристосувань оснащення.

Предмет дослідження – структура та загальна архітектура системи автоматизованого проектування технологічних процесів механічної обробки деталей пристосувань оснащення та її компонентів.

Мета роботи – розробка загальної архітектури системи автоматизованого проектування технологічних процесів механічної обробки деталей пристосувань оснащення та компонента цієї системи, за допомогою якої інженер-технолог буде розробляти технологічний процес механічної обробки деталей пристосувань оснащення на основі типових технологічних процесів, створювати технологічну документацію для механічної обробки деталей, зберігати її у базі даних, виводити на екран монітору та роздруковувати.

Для реалізації програмної частини використовувалася мова програмування C++.

Система призначена для розробки технологічних процесів механічної обробки деталей пристосувань оснащення, їх збереження у базі даних, виведення на екран монітору та роздрукування.

ABSTRACT

Explanatory note to the diploma qualifying work of the master: 87 pages, 15 tables, 18 figures, 2 appendixes, 25 sources.

AUTOMATED SYSTEM FOR DESIGN OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF MECHANICAL PROCESSES, DESIGN DOCUMENTATION, TECHNOLOGICAL DOCUMENTATION, DATA BASE, CAD, CAM.

The object of the research is an automated design system for technological processes of mechanical processing of fixture parts.

The subject of the study is the structure and general architecture of the automated design system for technological processes of mechanical processing of fixture parts and its components.

The purpose of the work to develop of the overall architecture of the automated design system for technological processes of mechanical processing of fixture parts and a component of this system, which allows a process engineer to develop a technological process for mechanical processing of fixture parts based on typical technological processes, create technological documentation for mechanical processing of parts, store it in a database, display it on a monitor screen, and print it.

The C++ programming language was used to implement the software part.

The system is intended for the development of technological processes for the mechanical processing of fixture parts, their storage in a database, display on a monitor screen, and printing.

ЗМІСТ

Вступ.....	9
1 Аналіз та огляд об'єкту автоматизованого проєктування технологічних процесів механічної обробки	14
1.1 Об'єкт проєктування та основні етапи проєктування технологічного процесу механічної обробки деталей.....	14
1.2. Використання інформаційних технологій у проєктуванні технологічних процесів механічної обробки деталей.....	27
2 Загальна характеристика систем автоматизованого проєктування технологічних процесів механічної обробки деталей	35
2.1 Загальні положення.....	35
2.2 Огляд деяких САПР ТП машинобудівного виробництва.....	38
3 Рішення по реалізації структури та компонентів системи.....	41
3.1 Склад, структура і компоненти САПР, загальні відомості.....	41
3.2 Автоматизація проєктування технологічних процесів механічної обробки в умовах одиничного виробництва	45
3.3 Розробка функціональних вимог САПР ТП.....	49
3.4 Розробка структури САПР ТП одиничного виробництва	52
3.5 Модулі та архітектура системи.....	62
3.6 Системи безпеки і відновлення	67
3.7 Вимоги до апаратного та програмного забезпечення	68
3.8 Програмне забезпечення деяких модулів системи.....	69
4 Використання системи автоматизованого проєктування механічної обробки деталей.....	70
4.1 Реалізація САПР ТП на прикладі розробки нового ТП механічної обробки деталі пристосування оснащення.....	70
4.2 Реалізація САПР ТП на прикладі розробки ТП механічної обробки деталі пристосування оснащення на основі вже існуючого ТП аналогічних деталей.....	76

Висновки	78
Перелік джерел посилання	80
Додаток А Текст програми.....,.....	82
Додаток Б Текст програми	84

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАК

CAD	– Computer Aided Design;
CAM	– Computer Aided Manufacturing;
CAPP	– Computer Aided Process Planning;
CALS	– Continuous Acquisition and Life cycle Support;
CAAP	– Computer Aided Assembly Planing;
PDM	– Product Data Management;
PLM	– Product Lifecycle Management;
APM	– автоматизоване робоче місце;
САПР ТП	– Система автоматизованого проектування технологічних процесів;
ТП	– технологічний процес;
ТД	– технологічна документація;
КД	– конструкторська документація;
ПЗ	– програмне забезпечення;
МЗ	– математичне забезпечення;
ІЗ	– інформаційне забезпечення;
ЛЗ	– лінгвістичне забезпечення;
ТЗ	– технічне забезпечення;
ЧПК	– числове програмне керування;
БД	– база даних

ВСТУП

Актуальність дослідження. Розробка і виробництво авіаційних двигунів є ключовими елементами авіаційної промисловості, що динамічно розвивається, та у сучасних умовах має важливе значення в українському промисловому та оборонному секторах. Також вона потребує постійного оновлення технологій виробництва, обробки та складання деталей авіаційних двигунів і, відповідно до того й пристосувань оснащення для їх обробки та складання, без застосування яких це неможливо.

Використання нових багатофункціональних верстатів, модернізація існуючого технологічного обладнання для обробки деталей авіаційних двигунів, впровадження нових матеріалів, наприклад композитів, а також нових технологій, потребують виготовлення нових пристосувань оснащення. Також разом з цим, постійна потреба у виготовленні та ремонті нових пристосувань оснащення замість зношених, часта зміна виробничих завдань як за типами, так і за обсягами та строками виготовлення пристосувань оснащення, обумовлюють постійну та нагальну актуальність швидкої розробки нових технологічних процесів (ТП) механічної обробки деталей пристосувань оснащення. Це все вимагає прийняття інженером – технологом складних рішень в мінімальні терміни [1]. Також на ефективність прийнятих рішень, поряд з досвідом та кваліфікацією інженера-технолога, неабиякий вплив зроблять використовувані ним засоби автоматизації.

Однак, тип виробництва пристосувань оснащення є в основному одиничним, дрібносерійним і в рідкому випадку середньосерійним, що в свою чергу створює відомі труднощі в плануванні та організації виробництва [2]. Тому, при такій організації виробництва номенклатура виробів, що випускаються, велика, строки випуску готових виробів обмежені, через що часу на технологічну підготовку виробництва обмаль, що збільшує складність і ризики виробництва. При всьому цьому також і процес розробки технологічних процесів дуже трудомісткий і пов'язаний з можливим

виникненням великої кількості помилок, що ускладнює реалізацію стандартних підходів до автоматизації виробництва, яка потребує унікальних рішень для кожного конкретного випадку.

Також є велика необхідність швидкого реагування на зміни номенклатури продукції, що виготовляється та забезпечення високої гнучкості виробничих процесів. У середньому строки проектування технологічних процесів виготовлення типового пристосування оснащення у ручному режимі без застосування САПР ТП становлять до 5-7 робочих днів.

Основними утрудненнями під час ручної розробки ТП є неможливість однозначного прийняття рішень по розробці ТП на певному рівні, тому що значення критеріїв для вибору конкретного елемента технологічного процесу стануть відомі тільки на наступних етапах проектування, а найчастіше в самому кінці проектування. При цьому необхідно враховувати велику кількість критеріїв для об'єктивної оцінки одержуваних варіантів рішень.

Тому для прийняття вірних рішень потрібні інженери - технологи високої кваліфікації з великим досвідом роботи, що у нинішніх умовах є проблемою для машинобудівних підприємств у зв'язку з їхньою нестачею.

Це потребує впровадження систем автоматизованого проектування технологічних процесів (САПР ТП), які дозволяють значно скоротити час розробки ТП та підвищити ефективність виробництва.

Проблематика і цілі дослідження. Основною проблемою сучасного виробництва пристосувань оснащення є значні часові витрати на технологічну підготовку. Умови швидкої зміни виробничих завдань вимагають скорочення строків розробки та впровадження ТП для часто змінюваної номенклатури пристосувань оснащення, що виготовляються.

Така ситуація вимагає використання автоматизації технологічної підготовки виробництва й зокрема розробки й застосування систем автоматизованого проектування ТП (САПР ТП), що дозволить значно скоротити час розробки ТП механічної обробки деталей пристосувань оснащення, поліпшити якість самих ТП.

Мета роботи – розробка структури та загальної архітектури інтегрованої САПР ТП, що дозволяє зменшити часові витрати на розробку нових ТП, підвищити якість виготовлених деталей та забезпечити оперативне внесення коригувань в технологічну документацію.

Ідея роботи полягає в розробці структури та архітектури САПР ТП на основі формалізації методики одержання технології в умовах одиничного й дрібносерійного виробництва.

Завдання дослідження. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- проаналізувати існуючі САПР ТП;
- розробити структуру САПР ТП, що включає взаємодію з іншими системами підприємства, такими як CAD і CAM;
- розробити бази даних технологічних можливостей обладнання, інструментів та оснащення, а також типових ТП;
- розробити програми для деяких компонентів системи для написання ТП на основі технологічних класів деталей та типових технологій , розроблених для цих класів, що забезпечує автоматизацію рутинних операцій і зниження часових витрат на коригування ТП;
- впровадити систему зворотного зв'язку для оперативного виправлення помилок та коригування ТД в реальному часі.

Створення інтегрованої системи дозволить забезпечити безперервний потік інформації між різними етапами виробничого процесу. Взаємодія між CAD, CAM та САПР ТП забезпечить швидкий обмін даними, що значно спростить розробку та впровадження нових технологічних процесів.

Для цього будуть розроблені структури баз даних, що містять інформацію про технологічні можливості обладнання, інструментів та оснащення, які використовуються на підприємстві. Бази даних також включатимуть типові технологічні процеси для різних типів деталей.

Система зворотного зв'язку забезпечить швидке виявлення та виправлення помилок у технологічній документації під час виробничого

процесу, що дозволить підвищити якість продукції та знизити витрати на виробництво.

Наукова новизна. Наукова новизна дослідження полягає у створенні інтегрованої системи автоматизованого проектування ТП, яка дозволить значно скоротити часові витрати на розробку нових технологічних процесів для умов одиничного та дрібносерійного виробництва, що володіє такими властивостями, як можливість проектування ТП для найрізноманітніших виробів, у тому числі нових, які раніше ще не надходили у виробництво. Також ця система дозволяє скоротити витрати на виробництво за кшталт зменшення числа помилок у розроблюваних ТП. Розроблена система буде взаємодіяти з існуючими CAD і CAM системами, що забезпечить комплексний підхід до проектування та виготовлення деталей.

Практична значущість. Практична значущість роботи полягає у можливості застосування розробленої САПР ТП у таких галузях промисловості, де потрібна швидка і якісна розробка технологічних процесів для дрібносерійного та одиничного виробництва. Впровадження системи дозволить підвищити ефективність виробничого процесу, скоротити час на підготовку та впровадження нових ТП, а також покращити якість виготовленої продукції за рахунок автоматизації рутинних операцій. Використання САПР ТП на підприємствах дозволить знизити навантаження на технологів, забезпечити більш швидке впровадження нових ТП.

Методи досліджень. Результати досліджень отримані на основі теорії технології машинобудування, дослідження операцій і керування, моделювання і проектування. Аналіз існуючих підходів і методів автоматизованого проектування ТП проводився з використанням сучасних інформаційних технологій та програмного забезпечення для моделювання виробничих процесів.

Для створення баз даних та розробки модулів САПР ТП використовувалися сучасні програмні засоби, які дозволяють інтегрувати різні етапи проектування та виготовлення деталей у єдину систему.

Проведені експериментальні дослідження дозволили оцінити ефективність розробленої системи та її вплив на виробничі процеси.

Апробація роботи. За матеріалами роботи були подані тези на науково-практичну конференцію викладачів, науковців, молодих учених, аспірантів та студентів «Тиждень науки-2024».

Структура роботи. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків.

1 АНАЛІЗ ТА ОГЛЯД ОБ'ЄКТУ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

1.1 Об'єкт проектування та основні етапи проектування технологічного процесу механічної обробки деталей

1.1.1 Вибір об'єкта проектування

У якості об'єкта проектування обрано технологічні процеси механічної обробки деталей пристосувань оснащення. Ці деталі можуть варіюватися від деталей з простими геометричними формами до складних зварних вузлів, можуть мати розміри від міліметрів до декількох метрів, та точність обробки поверхонь до $\pm 0,002$ мм.

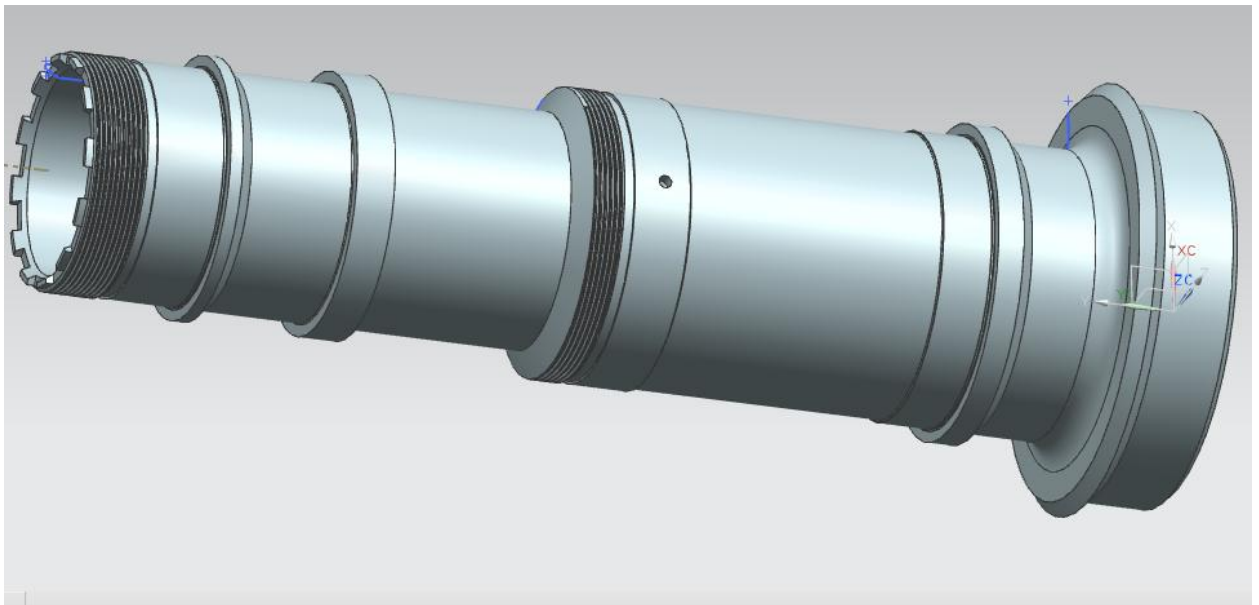


Рисунок 1.1 – Вал задній (биття та співвісність - 0.01 мм; довжина - 800 мм)

Пристосування оснащення використовуються у авіадвигунобудуванні, зокрема для механічної, термічної, електроерозійної, лазерної, гідроабразивної та інших видів обробки деталей авіаційних двигунів та їх подальшого складання.

Основні вимоги до таких деталей включають точність розмірів, якість обробки поверхонь та відповідність технічним вимогам (ТВ) креслень, 3-D моделям та іншої конструкторської документації (КД). Деталі можуть бути як серійними, так і унікальними, що впливає на вибір методів і підходів до розробки ТП їх виготовлення.

Досвід свідчить про те, що виробництво деталей пристосувань оснащення може бути досить тривалим процесом. Цей процес пов'язаний з необхідністю задіяти на виробництві робітників високої кваліфікації, високоточного обладнання а часто і виготовлення оснащення II порядку та унікального ріжучого та вимірювального інструменту.

Тому, дуже важливе оперативна і своєчасна розробка якісних і докладних технологічних процесів механічної обробки деталей пристосувань оснащення, які забезпечить їх швидке та якісне виготовлення, що є однією з найважливіших науково-технічних проблем, яка збільшується наявністю великої різноманітності конструкцій і вимог до цих деталей. Найважливішою умовою виготовлення таких пристосувань оснащення, що відповідають ТВ КД є висока технічна культура інструментальних цехів авіадвигунобудівних підприємств, яка визначається науковою організацією праці, наявністю унікального обладнання, прогресивними технологіями, технологічної дисципліною й технічною грамотністю інженерних і робочих кадрів.

Значна частина пристосувань оснащення, що випускаються, іде не тільки на оснащення виробництва нових виробів, але на заміну зношених і, на жаль, таких, що вийшли з ладу від наслідків ворожих обстрілів пристосувань оснащення.

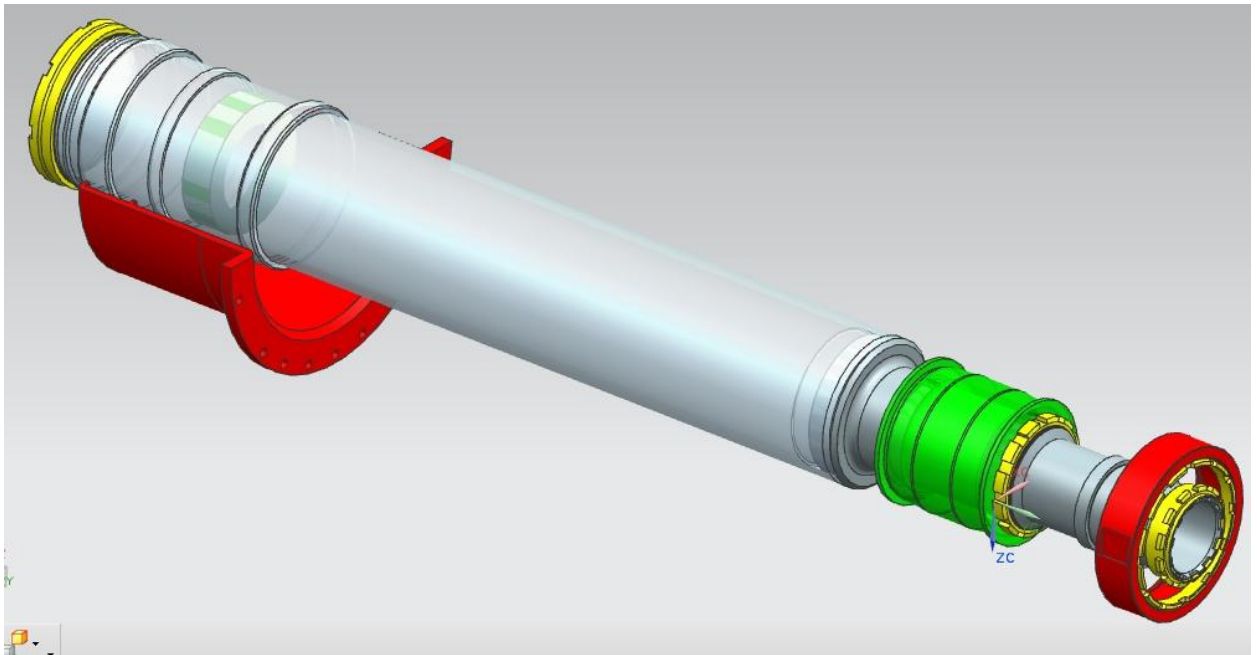


Рисунок 1.2 – Балансувальна оправка (биття та співвісність - 0.005 мм;
довжина - 1850 мм)

1.1.2 Основні етапи проектування технологічного процесу механічної обробки деталей

Розробка технологічного процесу виготовлення деталей пристосувань оснащення включає кілька основних етапів:

Аналіз вихідних даних. Він починається з детального вивчення КД - складальних креслень пристосування чи тієї складальної одиниці, у яку в якості одного із взаємозалежних ланок входить оброблювана деталь, та за наявності 3-D моделей деталі а також технічних вимог, вимог до точності обробки, якості поверхні та інших параметрів та вимог технологічності обробки та складання, що дозволяє встановити взаємозв'язок між оброблюваними поверхнями деталі, установити взаємозв'язок оброблюваної деталі з іншими деталями, правильно оцінити розміри й допуски, намітити послідовність обробки окремих поверхонь деталі, розрахувати міжопераційні припуски на попередню обробку.

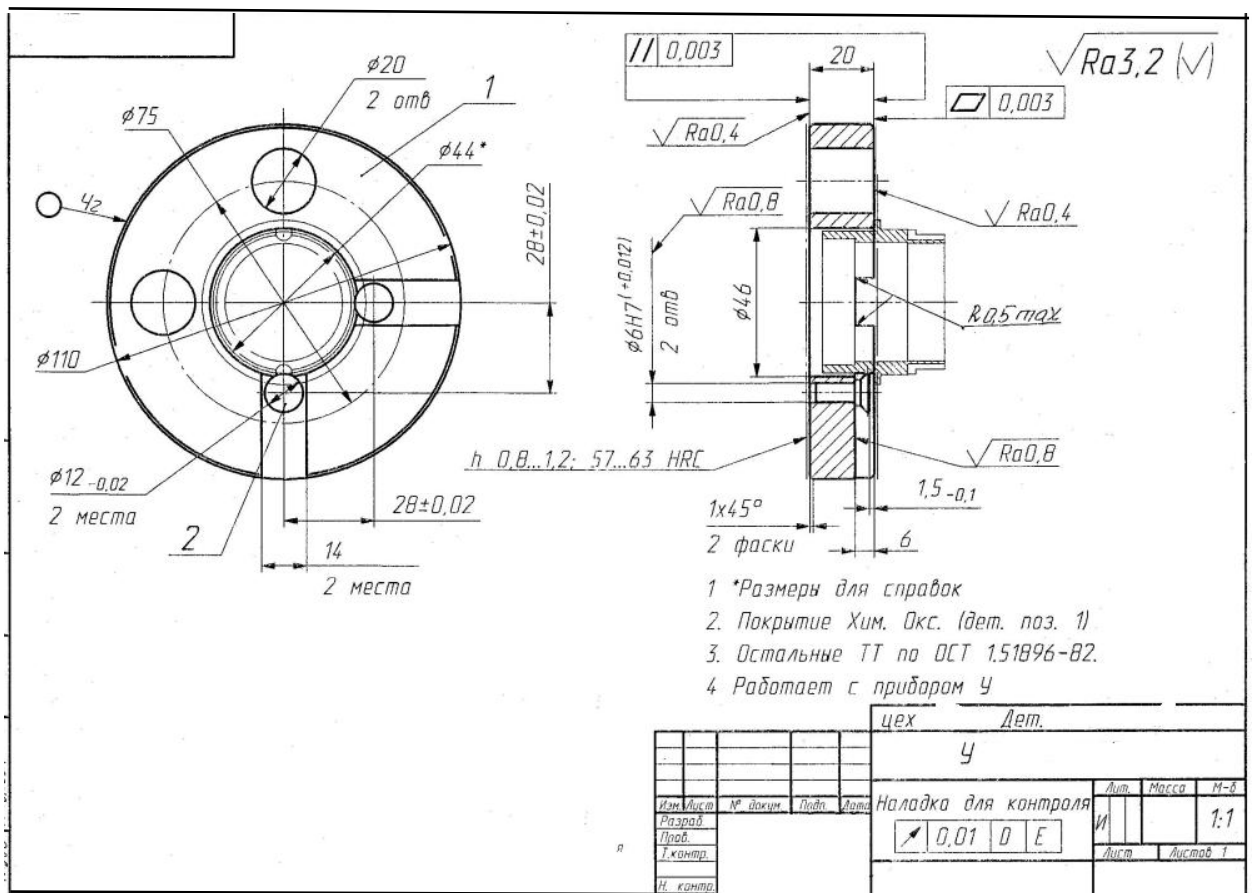


Рисунок 1.3 – Наладка для контролю, складальне креслення

Залежно від конструкції, технологічного класу, розміру й матеріалу деталей ТП виготовлення бути різний. Застосовуються різні типові технології в залежності від технологічного класу деталі, але вибір конкретної технології відбувається на розсуд технолога, виходячи з досвіду діючого виробництва. Важливим аспектом є оцінка виробничих можливостей цеху, наявності та справності необхідного обладнання, оснащення ПІ порядку та інструменту. Навіть наявність та відсутність того чи іншого конкретного робітника може впливати на ТП виготовлення деталей.

Неоднозначність вибору певних рішень на проміжних етапах розробки ТП, приводить до необхідності розробки великої кількості варіантів ТП, які можна оцінити тільки наприкінці розробки. При цьому відсутнє достатня кількість критеріїв для об'єктивної оцінки одержуваних варіантів, тому рекомендується проводити остаточний, але все ж суб'єктивний вибір оптимального технологічного процесу із декілька

варіантів. Через те, що сформовані варіанти ТП можуть мати досить велику кількість даних, технолог з деякою часткою ймовірності прийме невірне рішення, що призводить у кращому випадку до коригування технології в процесі виробництва, а в гіршому до одержання бракованої деталі, що призводить к великим втратам, як матеріальним, так і грошовим, а головне, к зриву строку виготовлення пристосування оснащення, і, як наслідок зриву строку виготовлення моторної деталі авіаційного двигуна.

Для аналізу вихідних даних можливо (за наявності) використовувати такі інструменти, як системи управління даними про продукт (PDM) та системи управління життєвим циклом продукту (PLM). Ці системи дозволяють ефективно управляти документацією та забезпечують доступ до актуальної інформації про вироби.

Аналіз технологічності деталі. Тут переважно оцінюються різні стадії виробництва: конструкція деталі, методи виготовлення заготовок, методи обробки, наявність інструменту та ін.

Тобто технологу необхідно враховувати й аналізувати фактори, які виникають на наступних стадіях виготовлення деталі, причому технолог повинен проводити розрахунки в більшості випадків багатьох варіантів у спеціалізованих галузях знань, задіявши інших технологів, що спеціалізуються в конкретній області (ливарні цехи, ковальські цехи тощо).

Технологічність конструкції залежить від типу виробництва й не є постійною величиною. Та сама деталь у різний виробничих умовах може бути як технологічною, так і нетехнологічною у виробництві. Таке рішення у загальному випадку може видати тільки технолог, ґрунтуючись на свій досвід. Але слід також зауважити, що при одиничному типі виробництва деталей пристосувань оснащення технолог керується більш наявністю обладнання та кваліфікованих спеціалістів, ніж технологічністю виготовлення деталі.

У процесі розробки ТП конструкція деталі та самого пристосування оснащення повинна бути проаналізована. Ціль такого аналізу - це виявлення

недоліків конструкції деталі та можливих помилок конструктора, а також можливе поліпшення технологічності конструкції розглянутої деталі.

Технологічний аналіз конструкції забезпечує поліпшення якості розроблюваного ТП, тому технологічний аналіз це один з найважливіших етапів розробки ТП.

Основні завдання, розв'язувані при аналізі технологічності конструкції деталі, зводяться до можливого зменшення трудомісткості та можливості обробки деталі на високопродуктивному обладнанні, яке є у наявності у цеху чи на підприємстві. Тобто, поліпшення технологічності конструкції може призвести до скорочення строку виготовлення деталі без шкоди для її якості. Виходячи з вищесказаного можна зробити вивід, що повну оцінку технологічності можна провести тільки суб'єктивно, на основі досвіду технолога, а автоматизувати даний процес можна тільки із застосуванням діалогового режиму. Для вибору методів обробки використовуються спеціалізовані бази даних та програмне забезпечення, такі як TechDB і MachiningCloud, які надають інформацію про найкращі практики та інструменти для різних типів обробки.

Розробка технологічного процесу механічної обробки деталі.

Розробка ТП виготовлення деталі представляє собою рішення складного комплексного завдання. Потрібно знайти оптимальний для даних виробничих умов варіант отримання із заготовки готової деталі, яка відповідає всім ТВ КД.

Обраний варіант повинен забезпечити низьку собівартість та заданий строк виготовлення деталі та усього пристосування оснащення. При розробці ТП треба враховувати вплив великої кількості різних факторів, виявляти й оцінювати їхнє питома значення й на основі синтезу розробляти ТП.

Розробку ТП рекомендується вести у такій послідовності :

а) по КД та (за наявності) 3-D моделі деталі чи усього пристосування оснащення уявити призначення пристосування оснащення чи деталі й усі вимоги, яким вони повинні відповідати;

б) обрати технологічний клас деталі;

в) обрати тип та розмір заготовки, з якої повинна виготовлятися деталь;

г) розробити викладеним вище шляхом кілька можливих варіантів ТП виготовлення деталі й обрати з них найбільш доцільний та відповідальний умовам виробництва;

д) розробити остаточний ТП виготовлення деталі з заготовки, який включає в себе визначення всіх параметрів та маршруту обробки, допусків і припусків на розміри, на цьому етапі окремим підрозділом розробляються керуючі програми для верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК); також визначаються допоміжні процеси, такі як термообробка, гальванічні операції та перевірка деталі (у разі необхідності перевірка проводиться на контрольно - вимірювальній машині (КВМ)); при необхідності проектується оснащення II порядку, вимірювальний та ріжучий інструмент, розробляється 3-D моделі деталі для КВМ.

Таким чином технологу під час розробки ТП необхідно аналізувати й синтезувати знання, які є частиною різних стадій виробництва, а саме: конструювання, виробництво заготовок, безпосередньо технологія обробки (причому як механічна, так і термічна, гальванічна і т.п.), конструювання засобів технологічного оснащення, організація виробництва.

Для розв'язку поставлених завдань необхідно мати наступні вихідні дані й матеріали:

а) складальні креслення пристосування оснащення, креслення вхідних деталей, специфікацію на деталі та нормалізовані деталі, 3-D моделі (за наявністю) окремих деталей та/або усього пристосування оснащення;

б) технічні вимоги, норми точності й інші дані, що характеризують призначення пристосування оснащення;

в) состав обладнання – наявність і його стан, наявність і кваліфікація робітників;

г) типові ТП на основні технологічні класи деталей;

д) реальні технологічні характеристики обладнання, наявність та стан ріжучого та вимірювального інструменту;

ж) різноманітна довідкова література, інструкції, стандарти підприємства ДСТУ, ТУ та ін.

Інформація такого роду є дуже велика за обсягом, також вона може змінюватися в часі в дуже короткі строки.

Розробка ТП виготовлення кожної деталі повинна починатися з детального вивчення її призначення в пристосуванні оснащення. Для цього необхідно вивчити складальні креслення та технічні вимоги пристосування оснащення або тієї складальної одиниці, у яку в якості однієї із взаємозалежних ланок входить дана деталь. Це вивчення необхідно супроводжувати критичним аналізом КД та технічних вимог, яким повинна відповідати готова деталь.

Усі виявлені помилки в неправильній постановці розмірів, у призначенні допусків, що визначають точність розмірів і геометричних форм поверхонь, у вимогах до їхньої шорсткості і т.д. повинні бути виправлені в КД деталі конструктором.

Критичний аналіз КД деталей дозволяє привести їх у більшу відповідність із вимогами виробництва. У результаті цієї роботи чітко і ясно формулюється завдання, для розв'язку якої повинен розроблятися ТП виготовлення кожної деталі.

У разі відсутності такого аналізу можливе виявлення браку, пов'язаного з конструкцією пристосування оснащення або деталі тільки на стадії її виробництва й в основному на жаль у кінцевій стадії. Слід зауважити, що існує формалізованої методики для проведення таких робіт, однією із причин якої є велика різноманітність конструкторської інформації.

Практично перед технологом завжди виникає завдання розробки ТП виготовлення конкретної деталі. При цьому деталі пристосувань оснащення в більшості випадків не є типовими й надходять у виробництво один раз поштучно або малими партіями. Намітивши тип заготовки й уточнивши

кількісні значення якісних показників, які повинні мати заготовки (розміри поверхонь, величина дефектного шару матеріалу та ін.), приступають до розробки ТП механічної обробки для одержання готової деталі.

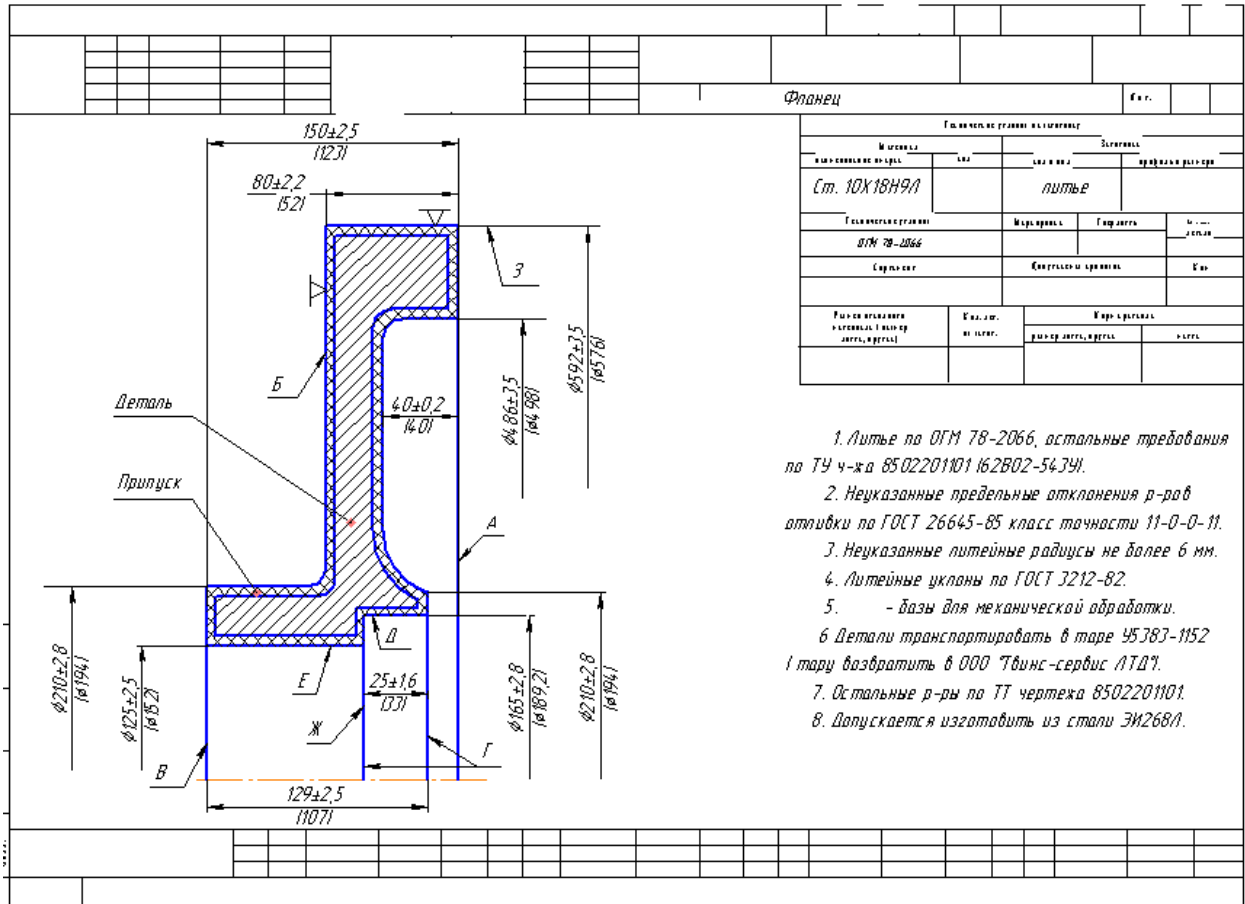


Рисунок 1.4 – Креслення литої заготовки

Розробка технологічного процесу механічної обробки деталі має наступну послідовність[3]:

Послідовність обробки та бази. Після вивчення КД та ТВ , призначення деталі в пристосуванні оснащення а також вибору типу заготовки необхідно намітити послідовність обробки поверхонь деталей, виявити можливість їх одночасної обробки й намітити технологічні бази. При тому, деякі підлягаючи обробці поверхні розташовані звичайно на різних частинах деталі і тому при їх обробці доводиться переустановлювати деталь, отож і послідовність їх обробки бути різною. Це питання вирішується з урахуванням ряду міркувань. Наприклад, в першу чергу прагнуть обробити

ті з поверхонь, на яких можуть виявитися ливарні пороки (раковини, порожнечі), щоб не затрачувати даремно працю на обробку інших поверхонь через можливий брак деталі по дефектах лиття. Послідовність обробки може бути обумовлена також бажанням забезпечити можливо менше число перестановок і поворотів деталі.

Переходи та операції. З'ясувати можливість сполучення переходів обробки поверхонь деталі й сформувати з них операції. На вибір способів, засобів і кількості переходів впливають декілька основних факторів [4]: це технічні вимоги креслення, необхідні величини припусків, які необхідно забезпечити в результаті обробки кожної з поверхонь деталей; кількість поверхонь, які обробляються та їх відносне розташування на деталі.

Уточнення баз. Уточнити технологічні бази, намічені для використання на кожній операції. При цьому бажано, щоб можливо більше поверхонь деталі оброблялися з однієї установки та на одній технологічній базі, що дозволить скоротити трудомісткість обробки.

Оснащення II порядку. При необхідності, запроектувати технологічне оснащення II порядку для виконання деяких операцій: (пристосування для установки деталі, різального інструменту, різальний інструмент, вимірювальний інструмент і т.п.).

Розміри та припуски. Розрахувати й установити по кожній операції необхідні розміри й припуски.

Технологічна документація. Оформити необхідну технологічну документацію (ТД), для цього бажано використовувати системи автоматизованого проектування технологічних процесів (САРР), що інтегрують дані з САД і САМ систем для створення повного набору ТД.

Розробка техзадань оснащення II порядку. При потребі розробити технічні завдання на конструювання технологічного оснащення II порядку (пристосування для установки деталі, різального інструменту, різальний інструмент, вимірювальний інструмент і т.п.) для замовлення його виготовлення у інших підрозділах підприємства.

При розробці ТП виготовлення деталей пристосувань оснащення потрібно у самих широких межах використовувати типові технологічні процеси, які розроблені для різноманітних технологічних класів деталей . Наприклад, декілька таких класів:

- а) деталі типу тіла обертання, які обробляються у центрах (вали, штирі й т.п.), сирі, ті що гартуються, цементовані;
- б) деталі типу обертання, що шліфуються усередині в патроні, на планшайбі, поверху на оправці;
- в) литі деталі (чавунні, сталеві) переважно типу тіла обертання; можливе застосування для корпусних деталей невеликих габаритів;
- г) деталі з алюмінієвих сплавів, литі або із прокату, ковані.

А також довідкову й періодичну літературу, різного роду нормативи й досвід людей, безпосередньо зайнятих у виробництві. При цьому не слід забувати про створенні нових методів і засобів виконання технологічних процесів, розробці принципово нових технологічних процесів і вдосконалюванні існуючих.

Технологові необхідно враховувати можливі варіанти структурної й параметричної оптимізації ТП. Аналізуються можливі помилки і дефекти, проводиться їх корекція. Також проводиться оптимізація процесів з метою зниження витрат і підвищення продуктивності.

Для оцінки і оптимізації ТП застосовуються програмні продукти для моделювання виробничих процесів, такі як Tecnomatix і FlexSim. Ці інструменти дозволяють проводити віртуальні випробування і оптимізувати виробничий процес до початку реального виробництва.

Документація. Кожний технологічний процес виготовлення деталі оформляється у вигляді необхідної для його виконання технологічної документації (ТД). При одиничному типу виробництва, яке переважно і використовується при виготовленні пристосувань оснащення ТД повинна містити дані, що характеризують матеріал деталі, його якість, позначення

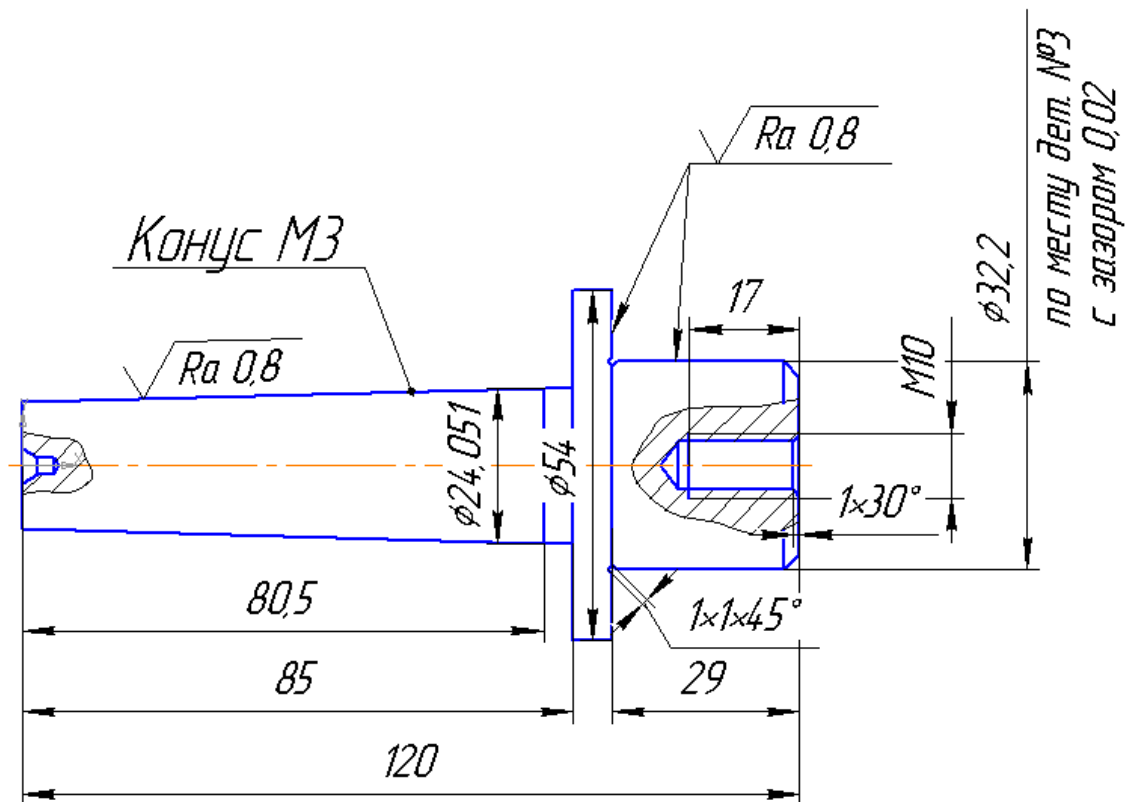


Рисунок 1.6 – Ескіз оснащення II порядку

Як можна побачити, процес розробки ТП та ТД в ручному або навіть автоматизованому діалоговому режимі є доволі довгим та трудомістким. На збільшення складності розробки ТП впливають й ті обставини, що одночасно з розробкою технологічного процесу розробляються технічні завдання на розробку конструкцій оснащення II порядку, ріжучого та вимірювального інструмента, штампів, і т.п. Тобто технологів ще на проміжних стадіях розробки ТП необхідно ухвалювати рішення щодо необхідності застосування спеціального або спеціалізованого оснащення чи у разі необхідності самому займатися його проектуванням та написанням ТП на його виготовлення.

1.2. Використання інформаційних технологій у проектуванні технологічних процесів механічної обробки деталей

1.2.1 Автоматизоване проектування (CAD)

Системи CAD (Computer-Aided Design) є точними інструментами, що дозволяють легко та швидко створювати та редагувати цифрові моделі різноманітних деталей. За їх допомогою та на їх основі інженери – конструктори проектують та розробляють детальні 2 D креслення та ескізи, а також і 3D моделі з використанням поверхонь складної форми. Також вони дозволяють автоматизувати виконання креслень, порівнювати креслення, створювати специфікації, публікувати макети й багато чого іншого, що вельми полегшує подальшу розробку та проектування ТП для обробки с деталей а також їх перевірку на відповідність технічним вимогам за допомогою координатно-вимірювальних машин (КМ).

Як приклади поширених та популярних CAD-систем можна навести AutoCAD[5], SolidWorks[6] і Siemens NX[7]. Ці системи дозволяють створювати точні і детальні цифрові моделі деталей, які можуть бути використані для розробки та проектування ТП механічної обробки а також керуючих програм для верстатів з числовим програмним керуванням і для симуляції і аналізу технологічних процесів .

Системи CAD використовуються на початкових етапах проектування деталей, складальних одиниць та в цілому пристосувань оснащення для створення їх віртуальних моделей. Це дозволяє інженерам-конструкторам оцінити геометрію, розміри окремих деталей та вузлів, те, як деталь буде складатися з іншими деталями у складальну одиницю чи пристосування оснащення в цілому, а також інші характеристики деталі до початку її реального виробництва.

Крім того, CAD-системи забезпечують можливість створення асоціативних креслень, які автоматично оновлюються при внесенні змін до моделі.

Основні функції CAD-систем:

а) параметричне моделювання: дозволяє легко змінювати параметри моделі деталі та автоматично оновлюючи всю пов'язану з деталлю документацію;

б) створення 2D креслень, ескізів та 3D моделей деталей, складальних одиниць, пристосувань та ін. - це доволі зручний інструмент для створення детальних креслень деталей разом з можливістю перегляду моделі деталі під різними кутами, у різних проекціях, робити перерізи тощо;

в) інструменти для аналізу геометрії, які включають в себе опції вимірювання, аналіз допустимих відхилень та інші можливості для перевірки якості моделі;

г) бібліотеки стандартних елементів, дають доступ до великої кількості стандартних деталей та компонентів для швидкого проектування.

Таблиця 1.1 – популярні CAD-системи

Система	Опис	Основні функції
AutoCAD	Використовується для розробки 2D креслень, 3D моделей, проектування і документообігу	Створення креслень, моделей параметричне моделювання, робота з шарами
SolidWorks	Забезпечує потужні інструменти для 3D моделювання та проектування механічних деталей і склад. одиниць	Створення 3D моделей, симуляція, генерування креслень, інтеграція з САМ
Siemens NX	Комплексне рішення для CAD, CAE і CAM, що підтримує весь цикл проектування і виробництва	3D моделювання, симуляція, розробка керуючих програм для верстатів з ЧПК

1.2.2 Інженерний аналіз (CAE)

Системи CAE (Computer-Aided Engineering) використовуються як інструмент для проведення інженерних розрахунків та аналізу поведінки деталей під впливом різних типів навантажень. Це дозволяє виявити можливі дефекти ще на етапі проектування і якоюсь мірою запобігти їх появі на готовій деталі. Такі програмні продукти як, наприклад ANSYS[8], SolidWorks Simulation та Abaqus[9], досить широко застосовуються для цих цілей. За допомогою CAE систем інженери-конструктори можуть моделювати різноманітні фізичні процеси що відбуваються з деталями під час їх експлуатації, такі як напруга й деформація, теплопередача, динамічні навантаження та ін., що сприяє підвищенню надійності і довговічності конструкції виробів та деталей.

CAE системи дозволяють проводити комплексний аналіз механічної, теплової та динамічної поведінки деталей. Це включає моделювання напружень і деформацій, аналіз теплових полів, оцінку стійкості до вібрацій та багато інших аспектів. Результати таких аналізів дозволяють інженеру - конструктору в процесі проектування виявити слабкі місця у конструкції деталі чи виробів та вжити заходів для їх усунення до початку виробництва.

Основні функції CAE-систем:

- а) моделювання напружень і деформацій - аналіз впливу механічних навантажень на деталь, виявлення критичних точок;
- б) аналіз теплопередачі - оцінка впливу різних температур й теплопередачі усередині й між компонентами деталей та виробів, теплових полів і температурних змін у деталях;
- в) динамічний аналіз - моделювання поведінки деталей та виробів під дією динамічних навантажень, таких як вібрація або удар, з'ясування того, як вібрації впливають на термін служби виробів та деталей;

г) оптимізація конструкцій - пошук оптимальної конфігурації деталей для підвищення їх надійності, зменшення ваги, переконання, що конструкція відповідає вимогам по міцності, твердості та ін.

Таблиця 1.2 – популярні CAE-системи

Система	Опис	Основні функції
ANSYS	Потужний інструмент для моделювання фізичних процесів і оптимізації конструкцій	Аналіз напруг, теплопередачі, динамічних навантажень
Abaqus	Використовується для комплексного моделювання і симуляції в різних галузях інженерії	Моделювання деформацій, аналіз теплових процесів, вібрацій, оптимізація конструкцій
SolidWorks Simulation	Інтеграція з SolidWorks для проведення інженерного аналізу	Аналіз напруг і деформацій, втоми конструкції, симуляція динамічних процесів

1.2.3. Підготовка виробництва (CAM)

Системи CAM (Computer-Aided Manufacturing) призначені для створення керуючих програм для обробки деталей на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК). За допомогою цих програм інженер - технолог розраховує траєкторії руху інструменту, параметри обробки, шорсткість обробленої поверхні, що забезпечує високу точність і повторюваність процесу обробки деталей. Як найбільш поширені CAM-системи можна визначити Mastercam[10], Autodesk Fusion 360 [11] та Siemens NX.

За допомогою CAM систем інженер - технолог розраховує оптимізовані траєкторії руху інструменту під час обробки деталі, що

мінімізує як час обробки, так і знос інструменту, при цьому забезпечуючи потрібну шорсткість, високу якість поверхні і точність обробки деталей.

CAM системи дозволяють автоматизувати процес розробки керуючих програм обробки деталей для верстатів з ЧПК, що, в свою чергу значно скорочує час підготовки виробництва та знижує ймовірність помилок. Вони також забезпечують можливість симуляції обробки для перевірки правильності розроблених керуючих програм та виявлення помилок до початку реальної обробки деталей.

Основні функції САМ-систем:

а) створення керуючих програм для обробки деталей на верстатах з ЧПК – розробка та розрахунок програм для верстатів з ЧПК, включаючи оптимізацію траєкторій руху інструменту під час обробки деталі;

б) симуляція обробки - перевірка траєкторій руху інструменту під час обробки деталей, а також перевірка параметрів обробки деталей для виявлення можливих похибок та помилок;

в) оптимізація траєкторій руху інструменту під час обробки деталей – це дозволяє виконати мінімізацію часу обробки деталей та запобігти надмірному зносу дорогого інструменту;

г) інтеграція з CAD і CAE системами – за кшталт використання даних, які запозичені з CAD та CAE систем, наприклад, 3D – моделей деталей , для розробки керуючих управляючих програм.

Таблиця 1.3 – популярні САМ-системи

Система	Опис	Основні функції
1	2	3
Mastercam	Потужний інструмент для програмування верстатів з ЧПК, розробляє керуючі програми для фрезерної, токарної , шліфувальної обробки та інших методів обробки деталей	Генерація програм для ЧПК, симуляція обробки, оптимізація траєкторій руху інструменту під час обробки деталі

Продовження таблиці 1.3

1	2	3
Siemens NX	Інтеграція з CAD і CAE системами для створення комплексних програм обробки деталей	Створення керуючих програм, симуляція обробки деталей, оптимізація процесів обробки.
Autodesk Fusion 360	Хмарна платформа для проектування і виготовлення, включає в себе CAD, CAM і CAE системи	Інтеграція 3D моделювання, інженерного аналізу і підготовки виробництва

1.2.4 Інтеграція систем CAD, CAE і CAM

Сучасні САПР інтегрують можливості CAD, CAE і CAM систем в єдине середовище, що, таким чином дозволяє значно скоротити час розробки і проектування технологічних процесів обробки деталей, зменшити число помилок та похибок під час розробки та проектування технологічних процесів обробки деталей, а також і при виготовленні деталей безпосередньо у виробництві.

За кшталт інтеграції забезпечується безперервний потік інформації між різними етапами проектування, розробки та виробництва, покращується координація та зменшуючи кількість похибок та помилок. Прикладами таких інтегрованих систем можна уявити Siemens NX, PTC Creo[12] та Autodesk Fusion 360, що в єдиній платформі об'єднують можливості 3D моделювання, інженерного аналізу та розробки керуючих програм для верстатів з ЧПК .

Інтеграція CAD, CAE і CAM систем забезпечує єдиний інформаційний простір, у якому всі дані про деталь, складальну одиницю чи пристосування оснащення зберігаються в одній базі даних та можуть бути використані на всіх етапах їх життєвого циклу. Це забезпечує високу узгодженість і точність інформації, знижує ймовірність виникнення помилок та похибок під час розробки та проектування технологічного процесу обробки деталей та у

самому процесі обробки, сприяє підвищенню якості виготовленої продукції.

Переваги інтеграції CAD, CAE і CAM систем:

а) єдиний інформаційний простір - усі дані про деталь зберігаються в одній базі даних, що забезпечує високу узгодженість і точність інформації;

б) скорочення часу розробки - автоматизація передачі даних між етапами розробки, проектування та виробництва знижує час, необхідний для впровадження змін у конструкцію деталі чи технологічний процес;

в) підвищення якості - зменшення ймовірності виникнення помилок та похибок завдяки інтеграції систем;

г) покращення якості виробів - завдяки використанню єдиної платформи, інженери - конструктори можуть використовувати симуляції обробки деталей та комплексні аналізи механічної, теплової та динамічної поведінки деталей на ранніх етапах проектування, що дозволяє виявити і усунути помилки та похибки до початку реального виробництва; це підвищує якість виготовлених виробів та знижує кількість браку;

д) швидкість проведення змін - інтеграція дозволяє швидко вносити зміни в 3D моделі, 2D креслення, керуючі програми, автоматично оновлюючи всю конструкторську та технологічну документацію; це особливо важливо для складних розробки конструкції та технологічних процесів обробки для пристосувань оснащення з великою кількістю деталей та складальних одиниць;

е) ефективне управління даними - завдяки централізованому зберіганню усіх даних про виріб, це полегшує управління розробкою та проектуванням, а також знижує ризик втрати даних та забезпечує доступ до актуальної інформації всім учасникам проекту.

Інтеграція CAD, CAE і CAM систем забезпечує ефективне управління всім життєвим циклом виробу, від початкового проектування до кінцевого виробництва. Такий підхід дозволяє досягти високої узгодженості даних, знизити витрати часу і підвищити якість продукції.

Таблиця 1.4 – приклади інтегрованих систем

Система	Опис	Основні функції
Siemens NX	Комплексне рішення, яке об'єднує CAD, CAE і CAM системи в єдину платформу	3D моделювання, інженерний аналіз, створення керуючих програм для верстатів з ЧПК
Autodesk Fusion 360	Хмарна платформа, що об'єднує можливості CAD, CAE і CAM систем	Інтеграція 3D моделювання, інженерного аналізу та підготовки виробництва.
PTC Creo	Модульна система, що включає можливості для CAD, CAE і CAM систем	Параметричне моделювання, симуляція, розробка керуючих програм для верстатів з ЧПК

2 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

2.1 Загальні положення

Згідно з ДСТУ 2226-93 «Автоматизовані системи. Терміни та визначення», система автоматизованого проектування (САПР) – це автоматизована система, яка призначена для автоматизації технологічного процесу проектування виробу, кінцевим результатом якого є комплект проектно-конструкторської документації, достатньої для виготовлення та подальшої експлуатації об'єкта проектування [13].

Цей же стандарт регламентує наступні визначення. Система автоматизована (АС) – організаційно-технічна система, що складається із засобів автоматизації певного виду (чи кількох видів) діяльності людей та персоналу, що здійснює цю діяльність. АС складається з персоналу і комплексу засобів автоматизації його діяльності, що реалізують інформаційну технологію виконання встановлених функцій. При цьому поняття «комплекс засобів автоматизації» мається на увазі всі компоненти АС, за винятком людей (користувачів автоматизованих систем).

Користувач автоматизованої системи – особа, що бере участь у функціонуванні АС або має право використовувати і використовує результати її функціонування.

Автоматизоване проектування – процес, що здійснюється за спільної участі людини і засобів автоматизації.

Автоматичне проектування – процес, здійснюваний без участі людини.

Таким чином, основною функцією САПР є забезпечення автоматизованого проектування об'єктів або процесів та їхніх складових частин на всіх або окремих стадіях проектування.

Засоби комп'ютеризації інженерної діяльності виникли

в період активного розвитку промисловості, як тільки це дозволив розвиток технологій у якості засобу економії часу та зусиль праці інженерів, у чому завжди є необхідність

У 1955-1959 рр. в Массачусетському технологічному інституті команда, очолювана Дугласом Т. Россом (Douglas T. Ross) розробила систему програмування АРТ, в рамках якої і з'явилося само поняття CAD – computer aided design, чи САПР. На відміну від сьогоденного уявлення під САПР тоді розумілося використання ЕОМ з метою проектування.

Основоположником сучасних САПР вважають Патріка Ханретті (Patrick Hanratty). В 1957 р. Патрік Дж. Ханратті створив свій перший САМ-пакет PRONTO (Programme for Numerical Tooling Operations). Це була мова системи САМ 2½ осі, яка дозволяла інженерам розраховувати траєкторію руху інструменту для обробки деталей.

В 1963 р. Ханратті було розроблено графіку для проекту GM DAC (Design Augmented by Computers), що вирішувала завдання, пов'язані з трьох-, чотирьох- і п'яти осевою обробкою поверхонь деталей.

Багато фахівців стверджує, що 70% тривимірних механічних CAD-систем сходяться своїми витокami до розробок Ханратті [14].

На перших порах, за допомогою САПР виконувалися оформлення графічної та текстової інформації в контексті створення проекту, що можна трактувати як рутинні операції процесу проектування. До такого типу робіт також можна відносити, наприклад, математичні розрахунки за відомими методиками а також пошук необхідної для проектування інформації. Вважається, що такі рутинні роботи в процесі проектування займають приблизно десь три чверті від загальної трудомісткості проектних робіт, і таким чином автоматизація цих операцій повинна суттєво знизити працеватрати на розробку проектів. Роботи по оформленню й пошуку можуть бути досить легко алгоритмізованими і тому легше ніж інші роботи піддаються автоматизації.

Але під час проектних робіт інженер обов'язково зустрічається із вирішенням такого класу завдань, які пов'язані із творчою діяльністю та не підлягають (поки що) в повному обсязі автоматизації.

Розглянемо як приклад деякі категорії завдань, які щоденно вирішуються інженером - технологом під час виконання робіт по розробці та проектуванню технологічного процесу:

а) оформлення технологічної документації (наприклад, маршрутні, операційні карти, карти ескізів й інші документи) - вся ця робота не є творчою та може бути повністю автоматизована;

б) роботи, які пов'язані з пошуком інформації (наприклад, пошук інструмента, пристосувань, оснащення ПП порядку, обладнання, заготовок, заводських стандартів та інструкцій, ГОСТів, ДСТУ, ОСТів, інших нормативних документів та ін. - ця робота може бути автоматизована за використанням інформаційно - пошукових систем, при їх використанні умови та параметри пошуку технолог вводить до САПР ТП у діалоговому режимі; умови та параметри пошуку, які є стабільними, можна зберігати в базі даних;

в) стандартні розрахункові роботи (наприклад, розрахунки припусків, перерахування кутів з десятичної до градусної чи радіанної міри, розрахунки розмірів конічних поверхонь, різьблення та ін. по роликах, перерахування координат отворів, розрахунки конічних отворів та калібрів й т.п.) - такого типу розрахункові роботи можна повністю автоматизувати;

г) прийняття складних рішень (наприклад, вибір структури побудови технологічного процесу, чи операцій, вибір базових поверхонь і т.д.) - прийняття таких рішень повністю автоматизувати не можна.

Для автоматизованого проектування та розробки технологічних процесів механічної обробки було визнано доцільним створення людино-машинних систем, у яких спілкування інженера - технолога з комп'ютером відбувалося у діалоговому режимі.

Такі системи були названі «Системи автоматизованого проектування технологічних процесів» або скорочено САПР ТП.

Англійською мовою ці системи одержали назву «Computer Automated Process Planning» або скорочено CAPP.

Використання САПР ТП вимагає підвищення кваліфікації технолога по декільком напрямках: по-перше, користувач САПР ТП повинен бути інженером - технологом досить високої кваліфікації, тому що система сама виконує рутинні роботи з пошуку потрібної інформації, стандартним розрахункам і оформленню технологічної документації; інженер - технолог у діалоговому режимі вирішує творчі завдання, які пов'язані із прийняттям складних логічних рішень, котрі не в змозі прийняти система САПР ТП; по-друге, інженер - технолог повинен вміти взаємодіяти з САПР ТП, включаючи аналіз помилок, що виникають при розробці ТП у системі, і способи їх усунення; по-третє, у інженер - технолога з'являється функція супроводу САПР ТП, яка полягає у коректуванні баз даних і в поповненні їх нової інформацією.

2.2 Огляд деяких САПР ТП машинобудівного виробництва

Як приклад, можна взяти наступні системи CAD/CAE/CAM і CAPP :

KM Soft CAPP. [15] Розроблена в Уханьській компанії інформаційних технологій – система для моделювання та керування складальним процесом, яка, до того ж є інтегрована з SOLIDWORKS 2012.

Призначається для використання у виробництві, її функція - цифрове моделювання складальних процесів а також контролю на ранніх етапах життєвого циклу виробу, що може виявити недоліки конструкції та перевірити можливість складального процесу до етапу реального виробництва деталей.

Основними функціональними блоками KM Soft CAPP є:

Моделювання складального процесу - керування структурою виробу (PSM), що створює та візуалізує структуру складання через керування ієрархією складальних компонентів та їх взаємозв'язками, за кшталт створення віртуальної моделі у 3D середовищі, виявляючи можливі помилки та конфліктуючі складальні компоненти. Це особливо корисно для складних конструкцій, де досить важко виявляти помилки, а також дозволяє перевіряти різні варіанти складання, оптимізувати складання до реального виробництва деталей, симуляція руху деталей та перевірка можливих похибок та помилок.

Визначення та управління процесом складання - інструменти які визначають послідовність складальних операцій та керують цими операціями, що забезпечуючи контроль складання.

KM Soft CAPP дозволяє виявляти та вирішувати помилки та похибки в проектуванні та складанні до реального виробництва деталей, що дозволяє економити час та ресурси; дозволяє оцінити, наскільки ефективним та раціональним є запропонований складальний процес та внести в нього необхідні зміни, моделювання та візуалізація складального процесу роблять його більш керованим, що спрощує роботу зі складними виробами.

На основі результатів моделювання створюються ТД на складальний процес, який може включати схеми складання, переліки компонентів і покрокові технологічні карти.

KM Soft CAPP використовується в різних галузях китайської промисловості, таких як автомобільна, авіаційна, машинобудівна, де складальні процеси є складними і потребують ретельного опрацювання.

Tecnomatix. [16] Це комплексні рішення для цифрового виробництва від Siemens AG. Призначені для оптимізації проектування, планування, симуляції і управління виробництвом.

Основні можливості Tecnomatix:

Plant Simulation (Симуляція виробничого підприємства) - створює цифрові двійники виробничих процесів, що допомагає їх аналізувати та виконувати оптимізацію.

Process Simulate (Симуляція процесів) - 3D моделювання процесів, створює симуляції 3D моделей виробничих процесів, що допомагає виявленню помилок та похибок.

Process Designer (Проектування процесів) - проектування технологічних процесів, що дозволяє оптимізувати ТП процеси до початку їх фактичного впровадження.

Інтеграція з CAD - зв'язок із CAD-системами для використання цифрових моделей виробів та їх взаємодії з виробництвом. синхронізація з PLM - інтеграція з системами управління життєвим циклом продукту (PLM), що забезпечує узгодження даних про вироби від проектування до виробництва.

Генерація документації - автоматичне створення технологічної документації на основі змодельованих технологічних процесів, що зменшує ризик виникнення помилок та похибок у виробничому процесі.

Robcad (Роботизоване програмування) - програмування та симуляція роботизованих систем. Дозволяє розробляти програми для роботів, виконувати моделювання і аналіз кінематики роботів.

Teamcenter Manufacturing - інтеграція даних ,зв'язок між проектуванням та виробництвом через Teamcenter, що забезпечує узгодженість даних на всіх етапах життєвого циклу виробу.

Як бачимо, сучасні САПР ТП вирішують велику кількість завдань, спрощуючи , полегшуючи та прискорюючи роботу інженера - технолога, але розглянуті САПР не призначені для праці в умовах одиничного виробництва.

3 РІШЕННЯ ПО РЕАЛІЗАЦІЇ СТРУКТУРИ ТА КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ

3.1 Склад, структура і компоненти САПР, загальні відомості

Система автоматизованого проектування технологічних процесів – являє собою сукупність взаємоузгоджених компонентів і комплексів, які розробляються виготовляються та поставляється як продукт техніко - виробничого призначення.

Взагалі така система являє собою сукупність програмно-методичних (ПМК), програмно-технічних (ПТК) комплексів а також таких компонентів забезпечення як:

- а) математичного;
- б) програмного;
- в) інформаційного;
- г) методичного;
- д) лінгвістичного;
- е) організаційного;
- з) технічного.

МЗ (mathematical support) - математичне забезпечення є усією сукупністю математичних моделей, методів та алгоритмів обробки інформації, які використовувані під час роботи системи.

Форма МЗ може бути будь якою, хоч у вигляді паперових документів: статей, керівництв.

Головною вимогою до МЗ є повнота, що достатня для забезпечення формалізації процесу проектування та його зручність для аналізу й обробки користувачем, тому що його практичне використання відбувається після реалізації в програмному забезпеченні.

Для успішної роботи користувача у САПР велике значення має можливість розуміння МЗ.

ПЗ (software) - програмне забезпечення є сукупністю комп'ютерних програм та програмної документації. ПЗ повинно мати ієрархічну структуру та складатися із окремих модулів і підсистем. Програмний модуль виконує функціонально закінчене перетворення інформації, та написане на одній із стандартних мов програмування і представляє дані у вигляді, прийнятним для САПР.

Існує загальносистемне – *heavy-duty software* або загальне програмне забезпечення САПР як частина програмного забезпечення, що є сукупністю програмних засобів, які розроблені поза зв'язком зі створенням даної САПР. Його складають програми, які призначені для організації обчислювального процесу а також програмні рішення завдань по обробці інформації - операційні системи, системи керування БД, текстові та табличні редактори.

Можна виділити прикладне – *application software* або спеціальне ПЗ САПР яка є сукупністю програм, що розроблено спеціально при створенні САПР та призначається для реалізації проектних процедур та операцій.

Іноді вживають термін базове програмне забезпечення, щоб виділити найбільш важливу найчастіше вживану в інших програмних моделях і підсистемах частину ПЗ, це може бути геометричне ядро чи блок керування САПР.

ІЗ (information support) - інформаційне забезпечення САПР є сукупністю різноманітної інформації, що використовується при автоматизованому проектуванні. ІЗ включає в себе архів технічних документів, довідники, нормативну документацію, набір вхідних і вихідних даних комп'ютерних програм. ІЗ переважно міститься в базах даних (БД). Усі БД САПР мають забезпечувати інформаційну сумісність та незалежність даних на логічному і фізичному рівнях, інваріантність до ПЗ. Створення, використання та підтримка БД здійснюється системою керування базами даних (СКБД), яка може бути як загальносистемною, так і спеціальною частиною ПЗ.

MeЗ (methodical support) - методичне забезпечення є сукупністю документів, описуючих технологію функціонування САПР, методи вибору та використання користувачами технологічних прийомів для отримання конкретних результатів під час роботи САПР. Це можуть бути посібники, які постачаються виробниками ПЗ - керівництво користувача САПР, керівництво адміністратора САПР, керівництво системного і прикладного програміста, оператора. У стандартну поставку ліцензій часто включають збірники типових рішень (Examples) та підручники, в яких детально описуються приклади.

Часто також створюють вбудовані чи автономні електронні підручники, інтерактивні електронні посібники, що прискорює процес освоєння САПР.

ЛЗ (linguistic support) - лінгвістичне забезпечення САПР: це сукупність засобів і правил призначених для формалізації природної мови, що використовується при спілкуванні користувачів та САПР. До ЛЗ входять мови , що застосовуються для створення ПЗ, розробці інших засобів забезпечення, а також прийомів і способів інтерактивної взаємодії «людина – машина», що здійснюються під час користування САПР. У більшість програмно-методичних комплексів входять спеціалізовані об'єктно-орієнтовані мови та засоби прикладного інтерфейсу користувача (API), що дозволяє допрацьовувати і доповнювати ПЗ САПР.

ОЗ (organizational support) - організаційне забезпечення це є сукупність документів, встановлюючи організаційну структуру САПР, права і обов'язки користувачів і обслуговуючого персоналу; принципи діяльності під час роботи САПР, і форми представлення результатів цієї роботи. ОЗ може складатися з положень, інструкцій, наказів, штатних розкладів, посадових інструкцій та інших організаційно-розпорядчих документів, регламентуючих організаційну структуру підрозділів підприємства та їх роботу з САПР.

ТЗ (hardware, або технічні засоби) - технічне забезпечення включає в себе сукупність всіх технічних (апаратних) засобів, що задіяні при роботі САПР. Компоненти ТЗ розділяються за призначенням на декілька функціональних груп.

Термінальне обладнання:

- а) ПК та робочі станції, використовуються для організації автоматизованих робочих місць (АРМ);
 - б) стандартне периферійне обладнання введення-виведення інформації;
 - в) спеціалізовані засоби введення і відображення графічної інформації, контрольно-вимірювальна апаратура;
- Це всі цифрові пристрої, якими керує користувач і, які використовуються для організації інтерактивної роботи.

Засоби обробки, передачі і зберігання інформації складають групу засобів ТЗ, що включають:

- а) сервери;
 - б) комп'ютери колективного доступу (mainframe) і комп'ютерні кластери;
 - в) апаратуру організації та підтримки масивів внутрішньої і зовнішньої пам'яті, сховищ даних різної фізичної природи;
 - г) обладнання локальних і глобальних комп'ютерних мереж.
- Це та частина комп'ютерних апаратних засобів, яка не підтримує безпосередню взаємодію з персоналом.

Допоміжне обладнання, що використовується для забезпечення функціонування основних пристроїв, входячи в дві перші групи.

Сюди можна віднести:

- а) пристрої безперебійного живлення (UPS);
- б) прилади діагностики та тестування;
- в) інструменти і засоби ремонту і профілактичного обслуговування;
- г) кондиціонери, а також інше обладнання, необхідне для підтримки

здоров'я і продуктивної роботи персоналу в складі АС.

ПМК (software-methodical complex) - програмно-методичний комплекс САПР це є взаємопов'язана сукупність компонентів математичного, програмного, інформаційного і методичного забезпечення, іноді включаючи і компоненти лінгвістичного забезпечення, які необхідні для отримання закінченого результату роботи САПР.

ПТК - програмно-технічний комплекс САПР: це взаємопов'язані ПМК і технічне забезпечення, що достатні для роботи САПР. Наприклад, АРМ користувача САПР ТП є ПТК, призначеним для автоматизації діяльності інженера – технолога.

3.2 Автоматизація проектування технологічних процесів механічної обробки в умовах одиничного виробництва

Вихідними даними для автоматизованого проектування ТП механічної обробки є бази даних про деталі, які необхідно виготовити, про строки замовлення і його обсяги, допустимі витрати часу на виготовлення, типових ТП обробки деталей подібного технологічного класу, наявного обладнання, оснащення, вимірювального та різального інструменту.

Основні дані про деталь у базі даних розробленого техпроцесу деталі (БДРТП) це:

- а) найменування, кількість, матеріал деталі, фізико-механічні характеристики матеріалу деталей (НВ, НРС [17]);
- б) технологічний клас деталі (тіло обертання – О, або корпусна – К);
- в) тип заготовки (пруток – Пк, кування – Пку, прокат – Пр, лиття – Л);
- г) маса (m_d , m_z) і розміри деталі й заготовки (D_d , L_d , D_z , L_z – для тіл обертання або L_d , B_d , H_d , L_z , B_z , H_z – для корпусних заготовок і деталей);
- д) точність і якість обробки (IT , Ra) оброблюваних поверхонь, форма й взаємне розташування поверхонь;

е) вид обробки кожної поверхні (токарська – Т, фрезерна – Ф, шліфування – Ш, свердління – С і т. п.), а також можливі варіанти обробки (наприклад, точити або фрезерувати);

є) термообробка й покриття (наприклад, твердість HRC_z , температура загартування, $^{\circ}Z - t_z$, температура відпустки, $^{\circ}Z - t_v$,);

ж) вид і орієнтація заготовки для обробки (плоска поверхня – П, внутрішня циліндрична поверхня – ЦВр, зовнішня циліндрична поверхня – ЦЗн);

з) бази й спосіб кріплення деталі на верстаті (наприклад, три встановлення – 3В, дві напрямні – 2Н и одна опорна – 1О; бази із кріпленням двома прихватами – 2Пр і т. п.).

У базу даних типових техпроцесів (БДТТП) входять типові або вже розроблені на даному підприємстві ТП обробки деталей подібного технологічного класу з кодуванням виду основних і допоміжних операцій (УЗ – установка заготовки, ЗД – знімання деталі) і переходів (ПТ – підрізування торця, обточування циліндричній поверхні – ОЦ і т.д.).

Також у даній базі для кожної деталі, ТП якої був прийнятий за аналог вказується:

а) її тип і маса; вид, маса й марка матеріалу заготовки;

б) розміри ($l_1, l_2, \dots, l_n; d_1, d_2, \dots, d_m; b_1, b_2, \dots, b_k$);

в) параметри точності й припуску оброблюваних у кожній операції поверхонь (поле допуску, квалітет, шорсткість – наприклад, пов. 1 – Н7, $R_a = 0,8$ мкм), бази й схеми закріплення деталей на кожній операції;

г) моделі використовуваного устаткування, оснащення II порядку, вимірювального та різального інструменту.

У базу входять маршрутні й при необхідності операційні карти.

У базі даних наявного обладнання (БДО) вказуються його основні характеристики:

а) назва, тип (ТГ – токарно-гвинторізний, ФГ – горизонтально-фрезерний, ШК – круглошліфувальний);

б) максимально припустимі маса $mz.max$ і габарити оброблюваних деталей – діаметр $dz.max$ і довжина $Lz.max$ – для верстатів, що обробляють деталі типу тіл обертання, і довжина $Lz.max$, ширина $Vz.max$, висота $Hz.max$ – для верстатів, що обробляють корпусні деталі;

У базі даних про наявне оснащення та інструмент (БДОІ) вказується:

а) їх призначення (ПТО – пристосування для закріплення або виміру заготовок типу тіл обертання, ПКД – пристосування для корпусних деталей);

б) тип інструмента, групи [18] (І – різці; ІІ – фрези; ІІІ – свердла, зенкери, розгорнення і т.д.);

в) матеріалі ріжучої частини; геометричних параметрах ріжучої й кріпильної частини інструмента.

На першому етапі автоматизованого проектування перевіряється можливість і доцільність використання наявних на підприємстві ТП для виготовлення нових деталей. Для цього спочатку, виходячи з технологічного класу деталей (БДД), з бази БДТТП відбираються ТП подібних деталей. Для подібних деталей, що раніше виготовляються й нових перевіряється відповідність їх матеріалу, типу заготовки, форми, розмірів, параметрів точності й шорсткості, виду термообробки й покриттів. За результатами цього зіставлення при необхідності можуть додаватися або скорочуватися певні операції, мінятися кількість переходів для того або іншого виду обробки.

При цьому додані операції краще виконувати на обладнанні типового ТП, з використанням тих же схем базування й закріплення, пристосувань і інструмента.

Таким чином, процес перевірки придатності наявних обладнання, оснащення й інструмента можна представити у вигляді :

$$СБЗ_i^T = СБЗ_{i+5}^D? \text{ або } СБЗ_{i+10}^T = СБЗ_{i+5}^D?; Об_i^T = Об_{i+5}^D? \text{ або } Об_{i+10}^T = Об_{i+5}^D?; (1)$$

$$Ос_i^T = Ос_{i+5}^D? \text{ або } Ос_{i+10}^T = Ос_{i+5}^D?; Ін_i^T = Ін_{i+5}^D? \text{ або } Ін_{i+10}^T = Ін_{i+5}^D?; (2)$$

Де $СБЗ_i^T$ - коди схеми базування й закріплення заготовки;

$Об_i^T$ - коди використовуваного обладнання;

$Ос_i^T$ - коди використовуваного оснащення;

$Ін_i^T$ - коди використовуваного інструмента при виконанні i -ї операції типового ТП, після якої передбачається ввести додаткову операцію;

$СБЗ_{i+10}^T$, $Об_{i+10}^T$, $Ос_{i+10}^T$, $Ін_{i+10}^T$ – коди схеми базування й закріплення заготовки, використовуваного обладнання, оснащення й інструмента при виконанні $(i + 10)$ -ї операції типового ТП, що йде слідом за i -ї операцією;

$СБЗ_{i+5}^D$, $Об_{i+5}^D$, $Ос_{i+5}^D$, $Ін_{i+5}^D$ – коди схеми базування й закріплення заготовки, використовуваного обладнання, оснащення й інструмента при виконанні додаткової $(i + 5)$ -ї операції проектного ТП, яку передбачається виконувати між i -ї і $(i + 10)$ -ї операціями.

Показники придатності схем базування й закріплення типового ТП : відповідне розташування оброблюваних на i -ї і $(i + 5)$ -ї або на i -ї і $(i + 10)$ -ї операціях (поверхня, оброблювана на додатковій операції перебувати поруч або розташована співвісно поверхнями, оброблюваних на i -ї або $(i + 10)$ -ї операціях), забезпечується доступ до доданої поверхні інструмента й необхідна точність її базування й обробки.

Показники придатності встаткування типового ТП це: відповідність його призначення виду доданої операції, а також відповідність класу точності встаткування заданим параметрам точності обробки доданої поверхні. У випадку виконання зазначених умов за допомогою спеціальних прикладних комп'ютерних програм здійснюється розподіл загального припуску на обробку доданої поверхні на необхідне число операцій механічної обробки[19].

Придатність пристосувань типового ТП перевіряють по відповідності забезпечуваної їм точності базування й закріплення заданої точності обробки (сумарна погрішність $\Sigma\delta б$ базування не повинна перевищувати припустимої погрішності $\delta о$ на оброблюваний розмір) і забезпечуваній силі закріплення заготовки в пристосуванні – $Fз$, яка не може бути менше відповідної сили різання – $Рр$:

$$\Sigma \delta b \leq \delta o; Pp \leq Fz. (3)$$

При невідповідності схеми базування й закріплення обладнання, оснащення або інструмента типового ТП проводиться проектування нового пристосування для обробки нової деталі.

У випадку якщо новий виріб містить деталі, відсутні в раніше вироблених виробах аналогічного призначення й діапазону, а в БДТТП підприємстві немає технологічної документації на подібні деталі, для них розробляються кілька варіантів маршруту механічної обробки. Для цього визначається раціональна послідовність операцій і переходів механічної обробки кожної деталі

Так виконується розробка декількох варіантів ТП виготовлення нових деталей. Потім рівняються варіанти ТП за собівартістю й забезпечуваної продуктивності, обумовлених по формулах [20].

Для обраного найкращого ТП механічної обробки нових деталей за допомогою спеціальних прикладних комп'ютерних програм, на підставі отриманого на попередній стадії маршруту, розробляється вся інша необхідна технологічна документація: технологічні схеми, маршрутні й операційні карти, карти налагодження інструментів, схеми механічної обробки й складання, карти контролю параметрів точності обробки і т.д.

3.3 Розробка функціональних вимог САПР ТП

Система автоматичного проектування технологічних процесів (САПР ТП) деталей пристосувань оснащення повинна спрощувати та допомагати інженеру-технологу розробку технологічних процесів ТП механічної обробки деталей.

Функціональні вимоги є основою для розробки цієї системи, вони визначають, які задачі система повинна виконувати, як вона повинна реагувати на вхідні дані та які результати повинна забезпечувати.

Розглянемо декілька основних категорій, кожна з яких відповідає за певний аспект функціональності системи: управління базами даних; розробка технологічних процесів; інтеграція з CAD, CAM, CAE системами, включаючи розробка керуючих програм для верстатів з ЧПК[21]; розробка та оформлення, друкування технологічної документації; можливість виправляти розроблену ТП при виявленні помилок під час виготовлені та контролю деталі.

Подивимося більш детально, які саме основні функціональні вимоги повинні бути враховані для ефективної роботи САПР ТП.

а) управління базами даних - включає в себе вимоги, що стосуються збору, зберігання та управління даними, які необхідні для розробки ТП, наприклад, база даних типових ТП, база даних керуючих програм для верстатів з ЧПК, база даних розроблених ТП та ін.;

Вимоги:

1) імпорт і експорт даних - система повинна підтримувати імпорт даних з різних форматів файлів CAD систем , наприклад, IGES, STEP, STL; забезпечення експорту даних для використання в інших системах або для архівування;

2) зберігання даних - система повинна забезпечувати зберігання 2 D та 3 D моделей, керуючих програм для верстатів з ЧПК, типових ТП та розроблених ТП, довідкових матеріалів та оформленої ТД;

3) коригування даних - підтримка керування версіями ТП та ТД, включаючи історію змін та можливість відновлення попередніх версій ТП та ТД, ведення журналу змін з зазначенням авторів і часу внесення змін;

4) безпека даних - забезпечення захисту даних від несанкціонованого доступу та можливість налаштування прав доступу для різних користувачів, резервне копіювання даних у основному та локальних архівах, можливість відновлення в разі втрати або пошкодження[22];

б) розробка технологічних процесів - включає вимоги, що визначають, як система повинна розробляти ТП;

Вимоги:

1) проектування ТП - система на основі позначених інженером - технологом технологічного класу деталі, типу , матеріалу та розміру заготовки, кількості деталей, обирає з бази даних типових ТП чи генерує новий ТП з вказівкою найменування обладнання та оснастки II порядку, ріжучого та вимірювального інструменту, переліком можливих операцій;

2) коригування ТП інженером – технологом - на основі розробленого системою ТП інженер - технолог на з використанням власного досвіду та наявності на даний момент технологічного обладнання і кваліфікованих робітників, строків виготовлення пристосувань оснащення а також наявності у цей час необхідних матеріалів для заготовок, та інших об'єктивних та суб'єктивних факторів виконує коригування та оптимізацію розробленого системою ТП;

в) інтеграція з CAD, CAM, CAE системами - включає вимоги до інтеграції САПР ТП з CAD, CAM, CAE системами для забезпечення обміну даними та їх синхронізації;

Вимоги:

1) імпорт та обробка даних CAD, CAM систем, підтримка імпорту геометричних даних і параметрів 2 D та 3 D моделей, керуючих програм для верстатів з ЧПК;

2) автоматичне повідомлення інженера - технолога у разі змін CAD-моделей, можливість внесення змін у розроблену ТП на основі оновлених CAD-моделей;

г) забезпечення стандартного інтерфейсу для обміну даними між CAD, CAM, CAE системами, підтримка інтеграції з різними CAD-платформами та форматами файлів включає вимоги до підготовки та оформлення до передачі у виробництво та роздрукування усієї необхідної ТД [23].

Вимоги:

- 1) можливість створення у разі необхідності креслень та ескізів обладнання та оснастки II порядку для виготовлення деталей пристосувань оснащення на основі CAD-даних та розроблених ТП;
- 2) розробка, оформлення та друкування маршрутних карт, у яких вказані послідовність та зміст операцій, за необхідністю вимірювальний, різальний інструменти та оснастка II порядку;
- 3) перелік, у залежності від операції інструкцій охорони праці для кожної операції;
- 4) проставлення норми часу виконання операції, розраховане нормувальником.

Як можна побачити, перелічені лише основні функціональні вимоги до САПР ТП одиничного виробництва охоплюють досить широкий спектр завдань, від управління базами даних до підготовки та оформлення технічної документації. Впровадження таких вимог є необхідним для можливості успішної розробки ТП та їх впровадження у виробництво.

3.4 Розробка структури САПР ТП одиничного виробництва

САПР ТП має взаємодіяти з іншими системами підприємства, наприклад, у CAD-системі конструктор проектує деталь, 2D-креслення, 3D-модель та конструкторську документацію (КД) яка зберігатиметься в базі даних КД.

На основі отриманої 3D-моделі в САМ-системі також за потреби розробляється керуюча програма (КП) для обробки деталей на верстаті з ЧПК, яка зберігатиметься у відповідній базі даних.

За наявності інтеграції між CAD-системою та САПР ТП технолог під час створення ТП вказує 3D-модель деталі як об'єкт для зчитування даних про розміри елементів деталі.

Сформована технологічна документація (ТД) зберігається в електронному вигляді у базі даних розроблених ТП.

Структура САПР ТП складається з таких основних модулів:

Управління базами даних.

Таблиця 3.1 – Управління базами даних

Функція	Опис
Імпорт та експорт даних	Підтримка імпорту даних з форматів CAD (IGES, STEP, STL і т. п.) та експорту для використання в ін.системах.
Зберігання даних	Зберігання 2D-креслень /3D-моделей, керуючих програм для верстатів з ЧПК, типових ТП, розроблених ТП, довідкових матеріалів, оформленої ТД.
Коригування даних	Управління версіями ТП та ТД, включаючи історію змін, можливість відновлення попередніх версій.
Безпека даних	Захист від несанкціонованого доступу, налаштування прав доступу, резервне копіювання, відновлення даних.

Приклади деяких БД, що використовуються при розробці ТП: БД типових ТП - БДТТП (по технологічним типам деталей), що включає всю номенклатуру деталей, які коли-небудь виготовлялися на підприємстві та ТП виробництва яких вже достатньо відпрацьовані та є загальнодоступною базою, матеріал якої може коригуватися у міру оновлення номенклатури виготовлених деталей та в процесі удосконалення вже розроблених ТП.

БД технологічних можливостей обладнання БДО, що містить у собі всі відомості та параметри про верстати, що використовуються на підприємстві.

Вона має містити: максимальні геометричні параметри обробки деталей та інші технічні та технологічні параметри;

БД інструментів та оснащення БДОІ, що містить у собі всі відомості та параметри про інструменти та технологічне оснащення, що використовуються на підприємстві. Вона має містити: геометричні параметри та наявність інструменті, матеріал з якого виготовлені інструменти та інші технічні та технологічні параметри.

Таблиці баз даних :

Таблиця 3.2 – База даних типових ТП (БДТТП)

Поле	Тип	Опис
1	2	3
ID	INTEGER	Унікальний ідентифікатор типового ТП
Назва	TEXT	Назва деталі типового ТП
Клас деталі	TEXT	Технологічний клас деталі типового ТП
Тип заготовки	TEXT	Тип заготовки деталі типового ТП
Матеріал, маса	TEXT	Маса та матеріал деталі типового ТП

Продовження таблиці 3.2

1	2	3
Обладнання	TEXT	Список обладнання для обробки деталі типового ТП
Оснащення	TEXT	Список оснащення для обробки деталі типового ТП
Операції	TEXT	Перелік операцій обробки деталі типового ТП
Геометрія	TEXT	Геометричні параметри

Таблиця 3.3 – База даних розроблених ТП (БДРТП)

Поле	Тип	Опис
ID	INTEGER	Унікальний ідентифікатор розробленого ТП
Назва	TEXT	Назва та номер деталі розробленого ТП
Клас деталі	TEXT	Технологічний клас деталі розробленого ТП
Шифр	TEXT	Назва та № шифру, до якого входить деталь розробленого ТП
Дата_розробки	DATE	Дата розробки ТП
Автор	TEXT	Автор розробленого ТП
Версія	TEXT	Версія розробленого ТП
Історія_змін	TEXT	Історія змін розробленого ТП
ТП_файл	BLOB	Файл розробленого ТП

Таблиця 3.4 – База даних технологічних можливостей обладнання

Поле	Тип	Опис
1	2	3
ID	INTEGER	Інвентарний № обладнання
Назва	TEXT	Назва обладнання
Тип	TEXT	Тип обладнання
Параметри	TEXT	Технологічні параметри обладнання - максимальні геометричні параметри обробки деталей та ін.
Опис	TEXT	Завантаженість, обладнання, ремонт

Таблиця 3.5 – База даних інструментів та оснащення (БДОІ)

Поле	Тип	Опис
ID	INTEGER	Унікальний ідентифікатор (шифр) інструменту чи оснащення
Назва ,тип	TEXT	Назва та тип інструменту чи оснащення
Геометрія	TEXT	Геометричні параметри інструменту
Матеріал	TEXT	Матеріал ріжучої частини інструменту
Наявність	BOOLEAN	Наявність на складі інструменту чи оснащення
Опис	TEXT	Додаткова інформація

Таблиця 3.6 – База даних керуючих програм для верстатів з ЧПК
(БДКП)

Поле	Тип	Опис
ID	INTEGER	Унікальний ідентифікатор (шифр) керуючої програми
Назва	TEXT	Назва та № деталі, для якої розроблено керуючу програму
Верстат	TEXT	Тип , інвентарний № та назва верстату
Файл	BLOB	Файл керуючої програми
Створення_дата	DATE	Дата створення
Остання_зміна	DATE	Дата останньої зміни

Розробка та коригування технологічних процесів.

Таблиця 3.7 – Розробка та корегування технологічних процесів

Функція	Опис
Проектування ТП	Генерація ТП на основі технологічного класу деталі, типу, матеріалу, розміру заготовки, кількості деталей, вибір обладнання та оснащення.
Корегування ТП	Коригування розробленої САПР ТП інженером-технологом з урахуванням наявності обладнання, матеріалів, досвіду, кваліфікації робітників, строків виготовлення.

При цьому, маючи розроблену ТП на один із технологічних типів деталей, технолог може надалі у короткі терміни розробити ТД для деталей цього технологічного типу, які мають схожі конструкції різних типорозмірів та внаслідок цього схожі ТП обробки, звісно з урахуванням ресурсів, досвіду, наявного обладнання та інструментів на підприємстві.

Також, ТП для кожного типу деталей містить всі можливі технологічні операції. Створення ТП відбувається у певній послідовності: один із типових ТП для наявного технологічного типу приймається за базовий та потім він коригується, наприклад, технолог змінює текст переходу, вибирає інше обладнання чи інструмент, додає нові переходи. Чинники, що впливають на структуру ТП та його зміст, це є особливість конкретної конструкції деталі а також особистість технолога та його творчість.

Однак ТП повинен розроблятися з урахуванням усієї інформації, яка використовується в ТД, оскільки результатом формування ТП є отримання комплекту документів згідно яких буде виготовлено деталь, яка повинна відповідати вимогам КД [24].

Інтеграція з CAD, CAM, CAE системами.

Таблиця 3.8 – Інтеграція з CAD, CAM, CAE системами

Функція	Опис
Імпорт даних	Імпорт геометричних даних і параметрів 2D/3D моделей, керуючих програм для верстатів з ЧПК.
Обмін даними	Стандартний інтерфейс для обміну даними між CAD, CAM, CAE системами, підтримка інтеграції з різними CAD-платформами.
Автоматичне повідомлення	Повідомлення інженера-технолога про зміни в CAD-моделях, можливість внесення змін у ТП та ТД.

Таблиця 3.9 – База даних CAD-моделей та КД деталей (БДМКД)

Поле	Тип	Опис
ID	INTEGER	Унікальний ідентифікатор (шифр) та № деталі 2 D- креслення / 3D- моделі та КД (ескізи)
Назва	TEXT	Назва та № деталі, для якої розроблено 2 D - креслення / 3D- моделі та КД (ескізи)
Тип моделі	TEXT	2 D - креслення / 3D-модель
Файл	BLOB	Файл 2 D- креслення / 3D-моделі
Автор	TEXT	Автор 2 D- креслення / 3D-моделі / ескізу
Створення_дата	DATE	Дата створення
Остання_зміна	DATE	Дата останньої зміни

Інтеграція САПР ТП з CAD, CAM, CAE системами дає можливість інженеру – технологу у процесі розробки ТП користуватися 2D-кресленнями, 3D-моделями деталі взятими з КД, яка розроблена інженером – конструктором у іншому підрозділі підприємства чи у сторонньої установи, а також у разі потреби самому розробляти 2D-креслення ескізів та 3D-моделі на оснащення II порядку, різальній та вимірювальний інструмент, також в САМ системі за замовленням інженера - технолога іншим підрозділом підприємства розробляється керуюча програма для обробки деталей на верстатах з ЧПК, що зберігатиметься у відповідній базі даних.

Розробка та підготовка технологічної документації для виробництва.

Таблиця 3.10 – Інтеграція з CAD, CAM, CAE системами

Функція	Опис
Створення 3D-моделей, 2D-креслень та ескізів	Розробка 2D-креслень та ескізів, 3D-моделей для обладнання та оснащення ПП порядку на основі CAD-даних і ТП
Розробка маршрутних карт	Оформлення маршрутних карт з послідовністю операцій, інструментами та оснащенням
Інструкції з охорони праці	Перелік інструкцій з охорони праці для кожної операції залежно від їх типу
Норми часу	Розрахунок норм часу виконання операцій

Таблиця 3.11 – База даних розроблених ТП (маршрутні карти)

Поле	Тип	Опис
1	2	3
ID	INTEGER	Унікальний ідентифікатор (шифр, № деталі) маршрутної карти
Назва	TEXT	Назва та № деталі, для якої розроблено маршрутну карту
Операції	TEXT	Перелік операцій механічної та ін. обробки деталі
Різальні, вимірювальні інструменти та оснащення	TEXT	Необхідні різальні, вимірювальні інструменти та оснащення для обробки деталі
Час виконання	INTEGER	Норми часу на виконання операцій обробки деталі

Продовження таблиці 3.11

1	2	3
Інструкції з охорони праці	TEXT	Інструкції з охорони праці в залежності від виконаної операції
Автор	TEXT	Автор маршрутної карти
Створення дата	DATE	Дата створення
Остання зміна	DATE	Дата останньої зміни

Сформована технологічна документація (ТД) зберігається в електронному вигляді у базі даних розроблених ТП.

Також технолог повинен мати зворотний зв'язок із виробництвом під час виготовлення деталей для можливості своєчасно коригувати ТД з нагальної потреби (наприклад, при виявленні помилок конструктора у КД).

Таким чином, передбачається позбавити технолога від рутинної та монотонної роботи з виправлення документації, та покласти це на систему, управління якою він буде здійснювати. Застосування САПР дозволяє суттєво спростити технологічну підготовку виробництва деталей пристосувань оснащення.

Отримана структура САПР ТП дозволяє подати внутрішні та зовнішні інформаційні взаємодії під час розробки ТД.

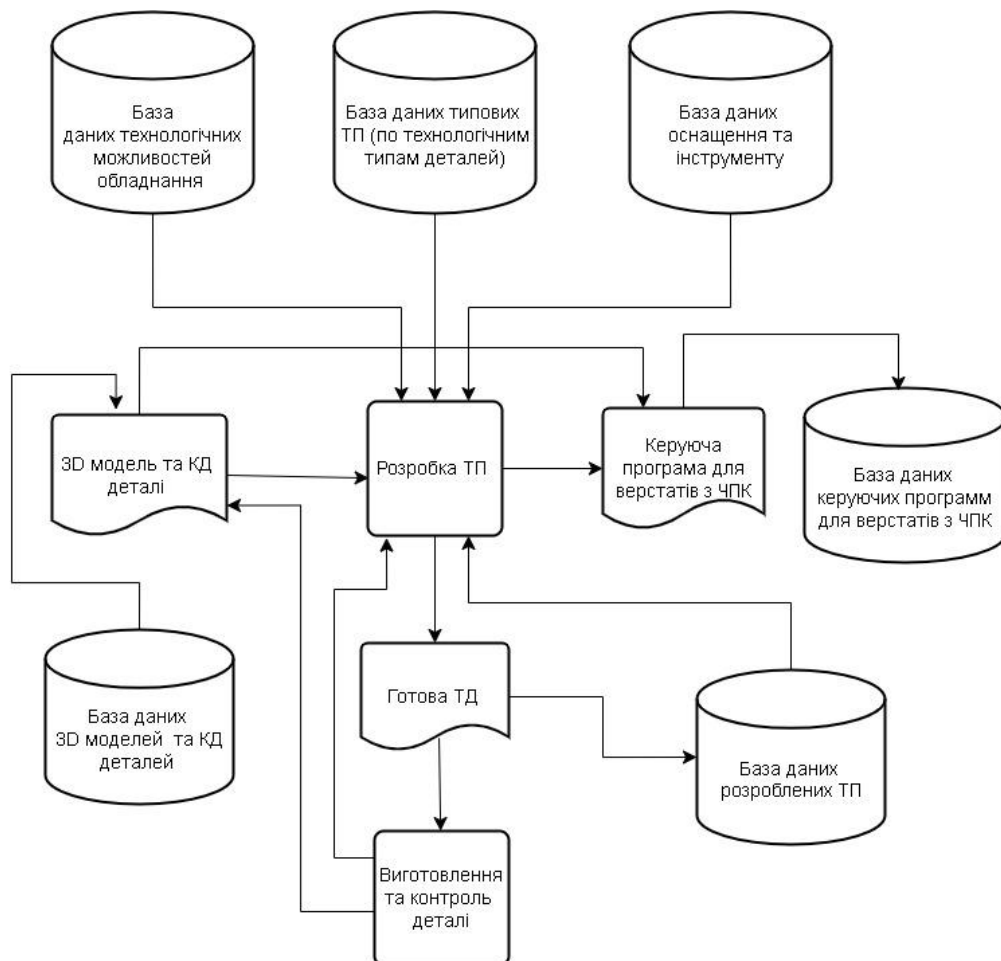


Рисунок 3.1 – Структура САПР ТП одиничного виробництва

3.5 Модулі та архітектура системи

Для того, щоб побачити як будуть працювати декотрі модулі розробленої системи, скористаємося допомогою UML діаграм.

У даному випадку будуть використані діаграми станів, що моделюють динамічні аспекти поведінки системи.

3.5.1 Алгоритм роботи модуля розробки та коригування ТП

а) користувач (інженер – технолог) входить до системи, якщо в нього є аккаунт, якщо немає, то створює його та входить до системи;

б) користувач створює новий шифр пристосувань оснащення, чи заходить в уже існуючий;

в) користувач створює нову деталь шифру пристосування оснащення, чи відкриває для роботи вже існуючу, у разі необхідності система імпортує CAD файли деталі;

г) користувач обирає типову технологію у залежності від технологічного класу деталі, для якої розробляється ТП;

д) користувач обирає матеріал деталі, розмір та тип заготовки деталі, обладнання для обробки ;

е) користувач створює новий ТП обробки деталі на основі типового ТП чи коригує типовий ТП з урахуванням доступного обладнання і матеріалів, інструментів, розроблених керуючих програм для верстатів з ЧПК; при необхідності на основі імпортованих CAD файлів оброблюваної деталі розробляє креслення та ескізи на відсутній різальний та вимірювальний інструмент чи оснащення II порядку;

є) користувач зберігає ТП обробки деталі деталей у шифрі пристосування оснащення;

ж) користувач зберігає розроблені креслення та ескізи у шифрі пристосування оснащення;

з) користувач зберігає шифр у системі у архіві на основному чи локальному сервері;

и) на основі розроблених ТП обробки деталей шифру пристосування оснащення система створює специфікацію заготовок матеріалів для виготовлення деталей з розрахунком маси заготовок, в залежності від їх кількості, марки матеріалу та типу заготовок;

і) користувач зберігає специфікацію разом з шифром у архіві на основному чи локальному сервері;

ї) система відправляє розроблену специфікацію заготовок матеріалів на заготовку матеріалу до відповідного підрозділу підприємства;

й) вихід з шифру.

3.5.2 Алгоритм роботи модуля розробки та підготовки технологічної документації

в) на основі креслення та ескізи на відсутній різальний та вимірювальний інструмент чи оснащення II порядку система формує карти

ескізів чи креслення деталей оснащення II порядку відповідно до нормативних документів;

г) друк маршрутних карт обробки деталей пристосування оснащення, маршрутної карти на матеріал заготовок а також ескізів та креслень, їх збереження.

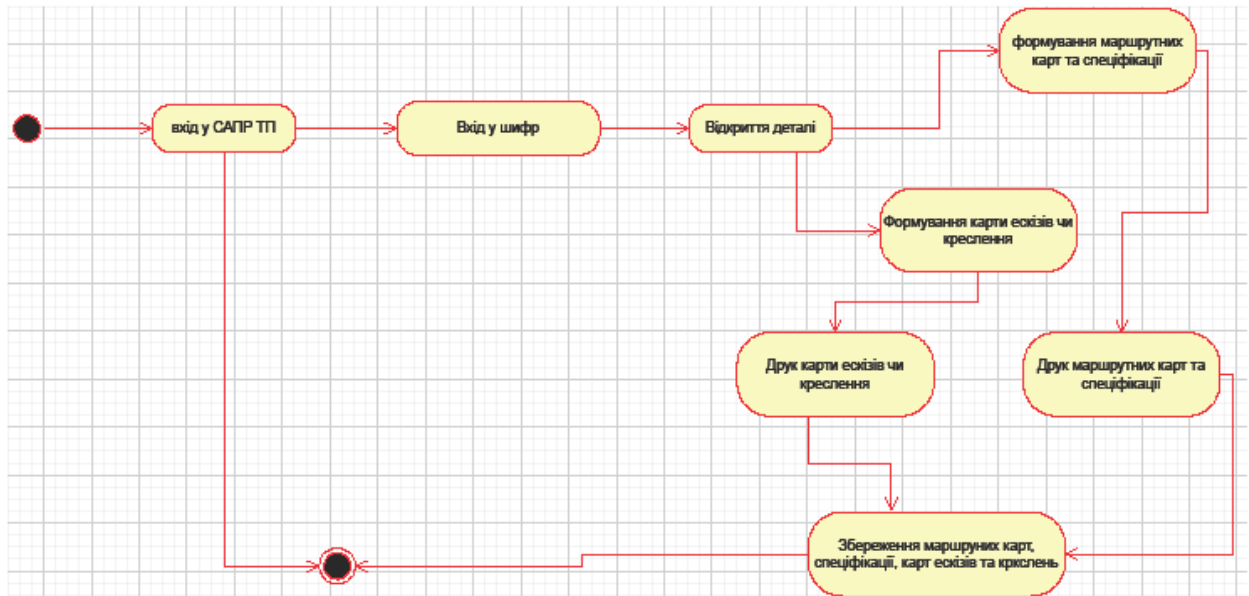


Рисунок 3.3 – Алгоритм роботи модуля розробки та підготовки технологічної документації

3.5.3 Візуалізація розподілу компонентів на вузлах

Щоб побачити як різні частини системи взаємодіють через мережу, можна скористатися допомогою діаграми розміщення, яка демонструє взаємодію вузлів системи (фізичні пристрої), компоненти системи та їх з'єднання.

Опис. Користувач, (один з інженерів-технологів одного з цехів інструментального відділу працює на автоматизованому робочому місці САПР ТП (АРМ) - робочий ПК на якому встановлено САПР ТП за допомогою клавіатури та монітору свого робочого комп'ютера, у системі з базами даних типових ТП (БДТТП); даних розроблених ТП (БДРТТП);

технологічних можливостей обладнання (БДО); даних інструментів та оснащення (БДОІ); керуючих програм для верстатів з ЧПК (БДКП); даних CAD-моделей та КД деталей (БДМКД), результати роботи користувачів - розроблені ТП на деталі пристосувань оснащення, креслення та ескізи на відсутній різальний та вимірювальний інструмент чи оснащення II порядку, а також маршрутні карти на матеріал заготовок на основі специфікації заготовок матеріалів та ін. - зберігаються у локальному архіві відповідного цеху інструментального відділу, а через нього у загальному архіві інструментального відділу з якого розроблені специфікації заготовок матеріалів для заготовки матеріалів шифрів пристосувань оснащення, що виготовляються відправляються до архіву заготівельного цеху. Комп'ютери та сервери зв'язані за допомогою протоколу TCR/IP.

Треба також зауважити, що з метою підвищення безпеки САПР ТП фізично з мережею Інтернет не пов'язана.

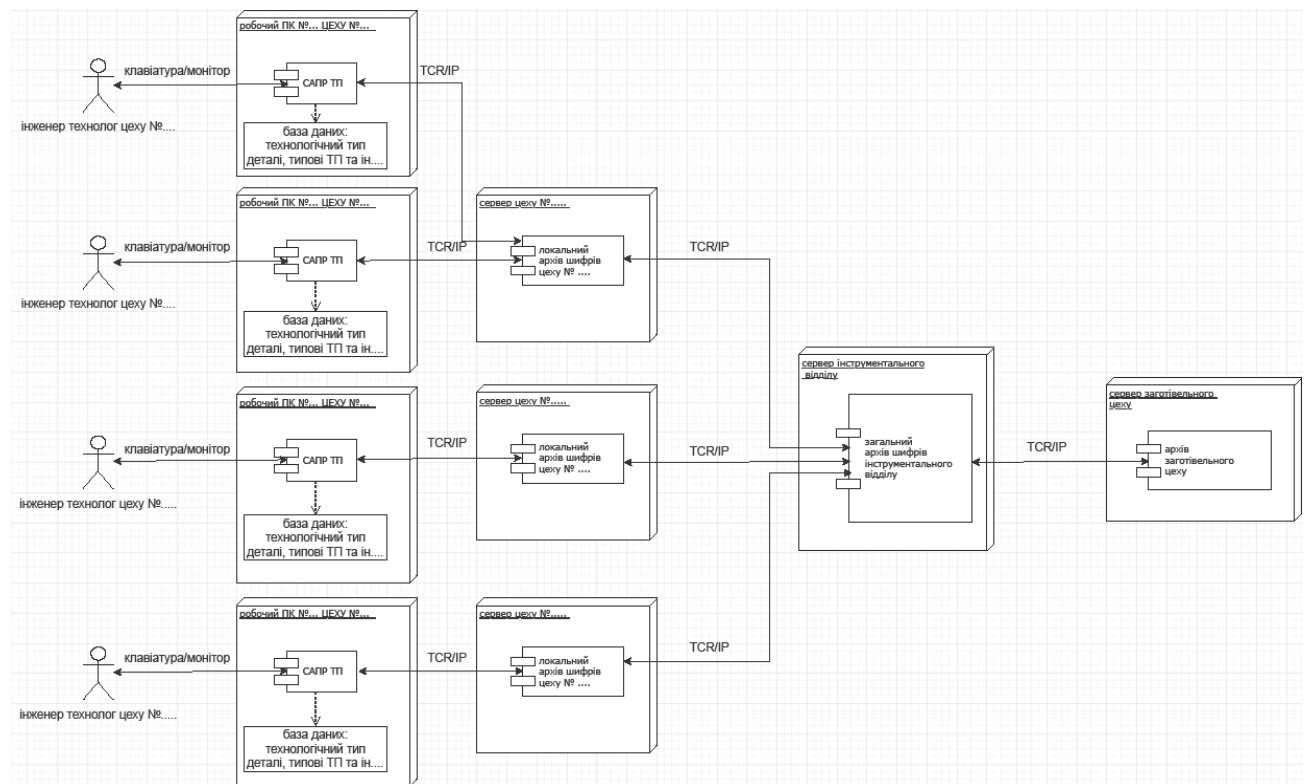


Рисунок 3.4 – Візуалізація розподілу компонентів на вузлах

3.6 Системи безпеки і відновлення

3.6.1 Захист даних

Захист даних, організований шляхом авторизації користувачів, користувачі повинні пройти авторизацію з використанням логіна та пароля.

Налаштування прав доступу - адміністратор системи має можливість налаштовувати права доступу та їх ступень для кожного користувача. (звичайний користувач, досвідчений користувач. адміністратор).

Журнали аудиту – ведуться журнали змін даних із зазначенням користувача, який вніс зміни, і часу зміни. |

Шифрування даних - дані зберігаються у зашифрованому вигляді для захисту від несанкціонованого доступу.

САПР ТП для підвищення безпеки фізично з мережею Інтернет не пов'язана.

3.6.2 Ролі користувачів і їх доступ

Ролі користувачів і їх доступ:

а) адміністратор керує правами доступу та їх ступенями , налаштовує безпеку, здійснює резервне копіювання і відновлення даних, має повний доступ до всіх модулів і налаштувань системи;

б) користувач (інженер-технолог, інженер-нормувальник) – розробляє та коригує ТП, має можливість взаємодіяти з CAD-моделями, розробляє технологічну документацію, виконує нормування операцій у маршрутній карті, має доступ до модулів розробки ТП, інтеграції з CAD/CAM/CAE системами, підготовки документації, при чому інженер-нормувальник не має змоги коригувати розроблений ТП.

3.6.3 Відновлення даних

Відновлення даних відбувається за кшталт регулярного автоматичного резервного копіювання баз даних (раз на 4 години). Архівні копії даних зберігаються на локальних серверах.

Повинна бути передбачена можливість швидкого відновлення даних у разі їх втрати або пошкодження а також регулярні перевірки цілісності резервних копій.

3.7 Вимоги до апаратного та програмного забезпечення

Вимоги до апаратного та програмного забезпечення є такими:

а) серверна частина - мультипроцесорний сервер з частотою не менше 3.0 ГГц., оперативна пам'ять не менше 512 ГБ, накопичувачі SSD об'ємом не менше 2 ТБ з можливістю розширення;

б) робочі станції – ПК з багатоядерним процесором з частотою не менше 3.0 ГГц., оперативна пам'ять не менше 128 ГБ, графічна карта з підтримкою 3D графіки, OpenGL, накопичувач: SSD об'ємом не менше 512 ГБ;

в) операційна система: серверна частина Linux або Windows Server, робочі станції Windows, macOS, або Linux;

г) бази даних: СУБД: PostgreSQL, MySQL або аналогічні;

д) мова програмування: Python, C++, або інші мови з підтримкою CAD/CAM інтеграції.

Слід також зауважити, що це все є досить емпіричними оцінками, а також досвідом експлуатації подібних систем.

3.8 Програмне забезпечення деяких модулів системи

Треба розуміти, що запропоноване ПЗ є основою, до якої при детальному розробленні та запровадженні системи будуть додаватися потрібні зміни та покращання.

Для модуля підготовки технологічної документації створено клас на мові C++, який генерує і обробляє документи на основі технологічних процесів. (Див. Додаток А)

Цей модуль створює креслення, маршрутні карти, інструкції з охорони праці і проставляє норми часу виконання операцій.

Цей код є базовим прикладом і може бути адаптований під конкретні потреби системи, зокрема для роботи з більш складними форматами файлів і більш детальною документацією.

ПЗ модуля управління базами даних для САПР ТП на мові C++

Цей модуль призначений для управління базами даних, необхідних для автоматизованої розробки технологічних процесів (ТП). Він забезпечує функції імпорту, експорту, зберігання, коригування, та безпеки даних. (Див. Додаток Б).

Цей модуль може бути розширений для роботи з різними форматами файлів, обробки більш складних даних і інтеграції з іншими компонентами системи.

4 ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

4.1 Реалізація САПР ТП на прикладі розробки нового ТП механічної обробки деталі пристосування оснащення

а) інженер – технолог (далі користувач) технологічного бюро входить до системи, де у вікні САПР ТЕХПРОЦЕС під своїм прізвищем створює новий шифр пристосування оснащення;

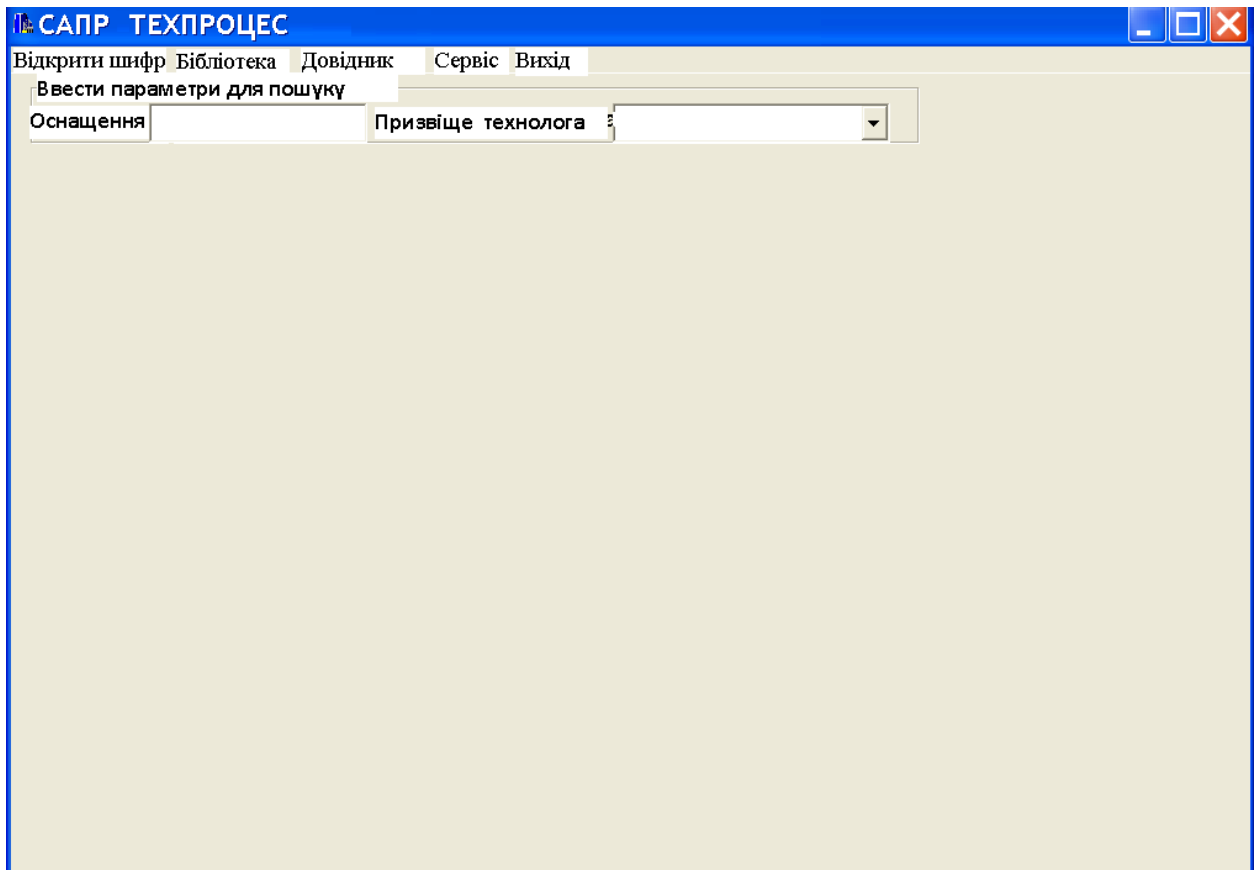


Рисунок 4.1 – Вікно САПР ТЕХПРОЦЕС

б) користувач у вікні КОРИГУВАННЯ ШИФРУ створює нову деталь шифру пристосування оснащення, у залежності від необхідності це буде оригінальна деталь, чи нормалізована (така, яка виготовлена згідно ГОСТ, ДСТУ, ОСТ та ін.) чи у разі необхідності система імпортує CAD файли

деталі, також у цьому вікні можна виділити деталь (для друку) видалити непотрібну деталь, копіювати деталь ;

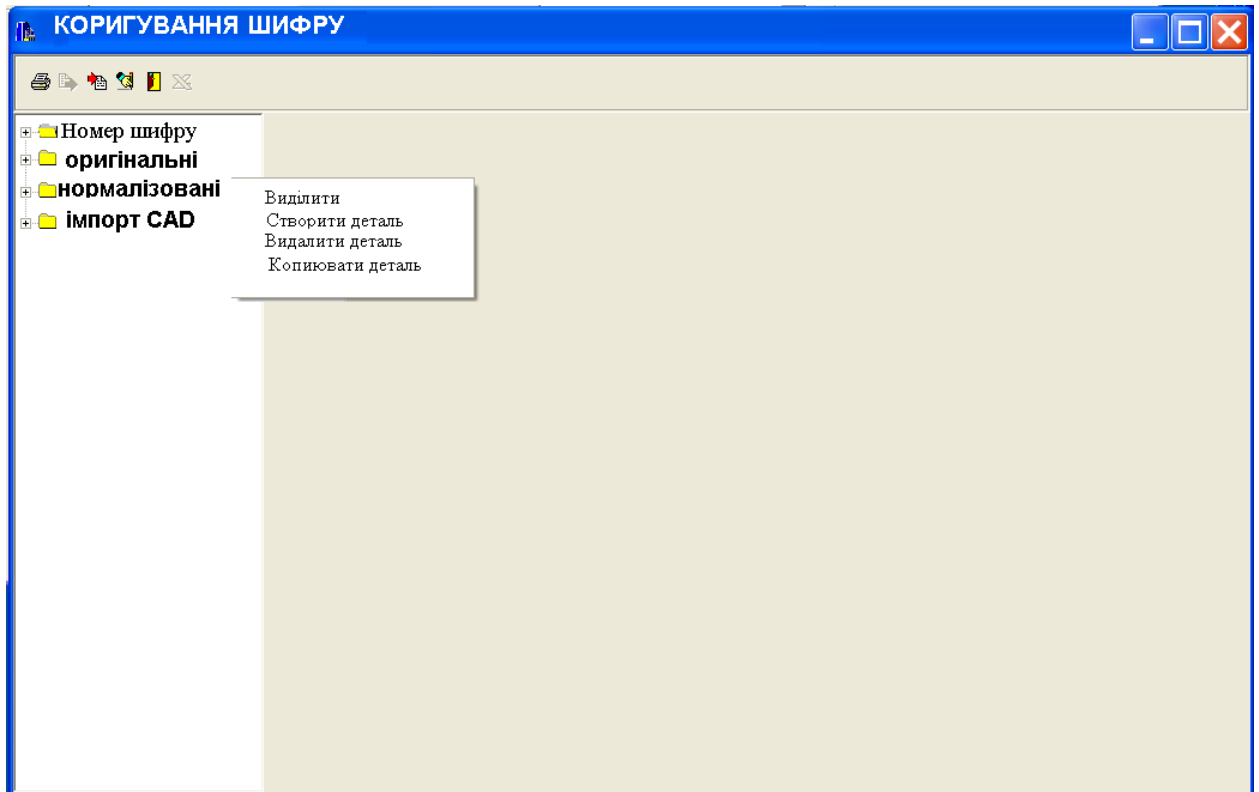


Рисунок 4.2 – Вікно КОРИГУВАННЯ ШИФРУ

в) користувач у вікні КОРИГУВАННЯ ШИФРУ на панелі деталі обирає типову технологію у залежності від технологічного класу деталі , для якої розробляється ТП, задає параметри деталі та заготовки: коди технологічних поверхонь (таким чином вибираються потрібні операції обробки з типового ТП), марка матеріалу, розмір та тип заготовки деталі, кількість деталей, номер та найменування деталі у шифру пристосування оснащення;

Рисунок 4.3 – Вікно КОРИГУВАННЯ ШИФРУ панель деталі

г) користувач у вікні КОРИГУВАННЯ ШИФРУ на панелі деталі створює новий ТП обробки деталі на основі типового ТП з урахуванням доступного обладнання і матеріалів, інструментів, розроблених керуючих програм для верстатів з ЧПК та навіть від наявних робітників та їх кваліфікації, при цьому система розраховує масу заготовки деталі у залежності від її типу, розмірів, кількості та марки матеріалу, також система у залежності від технологічного класу деталей та її розмірів, обраних операцій обробки підбирає обладнання і оснащення для її обробки та відповідні до операцій інструкції з охорони праці (ІОП);

е) користувач у вікні КОРИГУВАННЯ ШИФРУ зберігає ТП обробки деталі, розроблені креслення та ескізи у шифрі пристосування оснащення;

є) користувач вікні КОРИГУВАННЯ ШИФРУ зберігає шифр у системі у архіві на основному чи локальному сервері;

ж) інженер - нормувальник з бюро оплати праці та заробітної плати входить до системи, де у вікні КОРИГУВАННЯ ШИФРУ на панелі деталі під своїм прізвищем нормує розроблений ТП (сам ТП він змінювати чи коригувати не може);

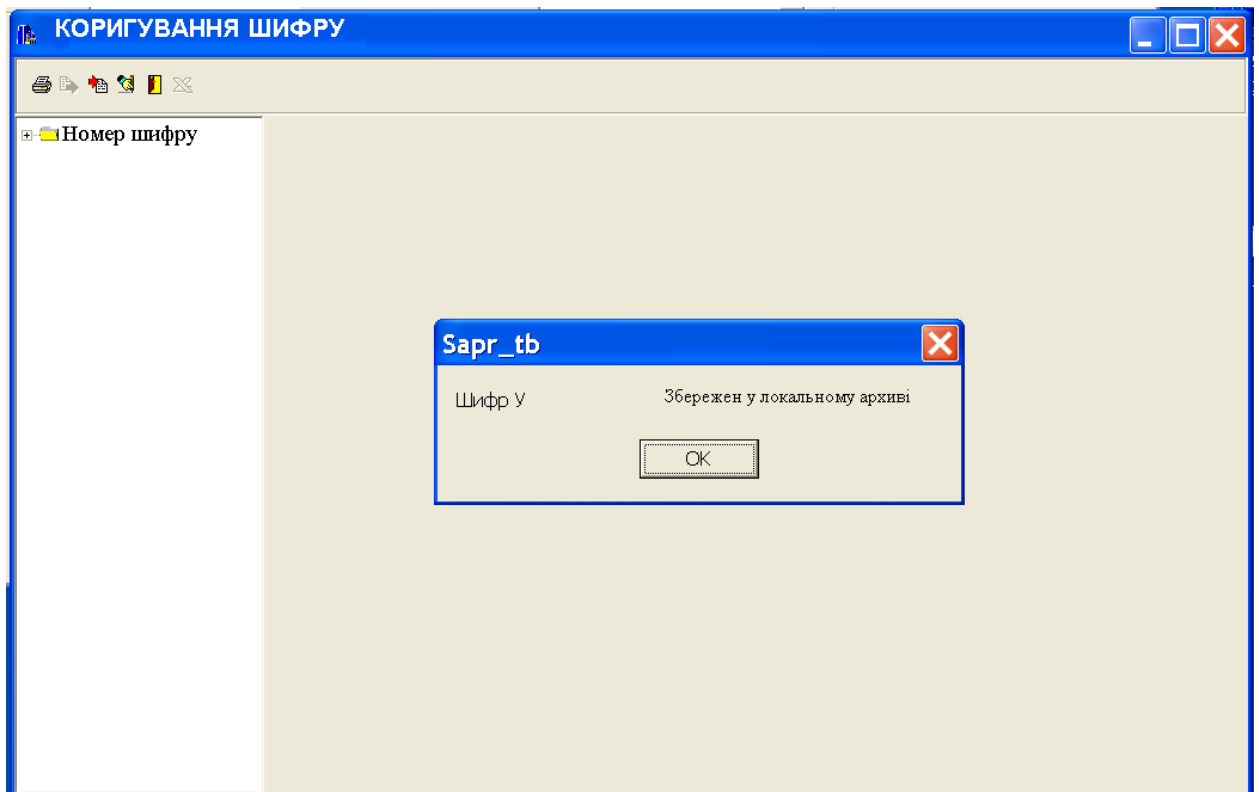


Рисунок 4.6 – Збереження шифру у архіві

з) на основі розроблених ТП обробки деталей шифру пристосування оснащення система створює специфікацію заготовок матеріалів для виготовлення деталей з розрахунком маси заготовок, в залежності від їх кількості, марки матеріалу та типу заготовок та зберігає її разом з шифром у архіві на основному чи локальному сервері а також автоматично відправляє розроблену специфікацію заготовок матеріалів на заготовку матеріалу до відповідного підрозділу підприємства;

и) система на основі розроблених ТП та специфікації заготовок матеріалів формує маршрутні карти обробки на кожну деталь з переліком операцій, інструментів та оснащення II порядку, а також маршрутну карту на матеріал заготовок на основі специфікації заготовок матеріалів відповідно до нормативних документів, на основі креслень та ескізів на відсутній різальний та вимірювальний інструмент чи оснащення II порядку система формує карти ескізів чи креслення деталей оснащення II порядку відповідно до нормативних документів;

і) користувач у вікні ДРУКУВАННЯ виводить на друк маршрутні карт обробки деталей пристосування оснащення, маршрутні карти на матеріал заготовок а також ескізи та креслення.

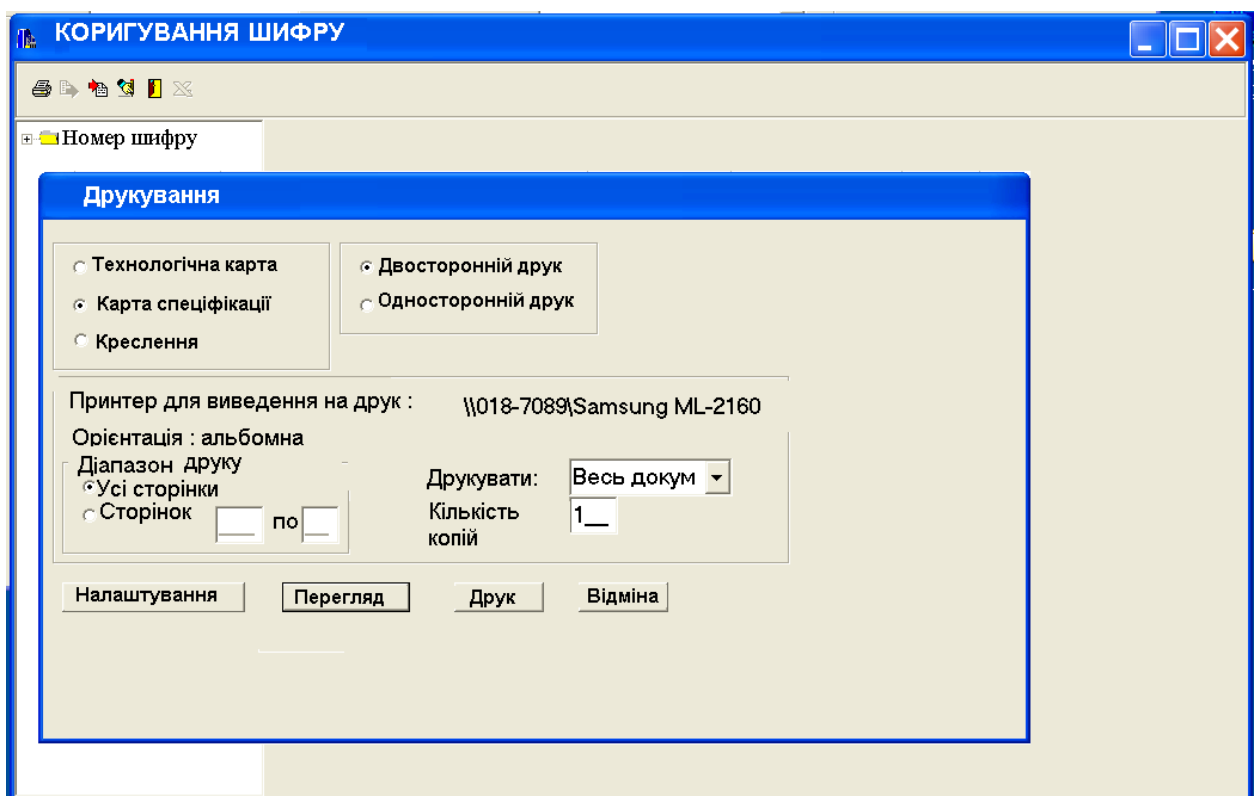


Рисунок 4.7 – Виведення КД на друк

У разі необхідності ці матеріали можна переглянути у попередньому перегляду у вікні ПЕРЕГЛЯД.

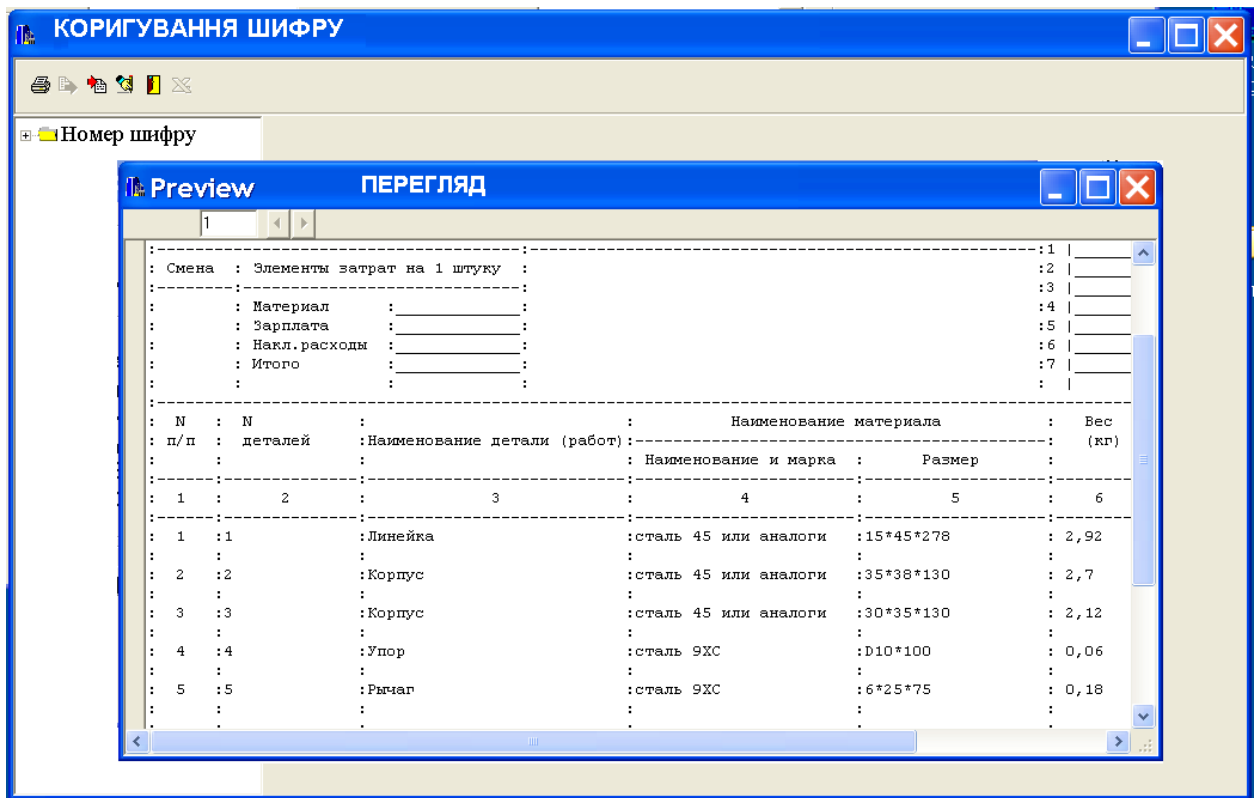


Рисунок 4.8 – Перегляд КД у попередньому перегляду

Після виведення на друк необхідної ТД користувач завершує роботу та виходить з системи.

Виходячи із власного досвіду, розробка ТП та ТД пристосування оснащення середньої складності (23...30 оригінальних деталей) з нуля (без існуючих аналогів розроблених ТП) з допомогою подібної САПР ТП займає близько 3 робочих днів, що зменшує час розробки порівнянню з проектуванням ТП вручну у 1,5...2 рази.

4.2 Реалізація САПР ТП на прикладі розробки ТП механічної обробки деталі пристосування оснащення на основі вже існуючого ТП аналогічних деталей

Проходить аналогічно описаному вище сценарію, але з тією відмінністю, що користувач не обирає типову технологію обробки деталі відповідно до її технологічного класу, а має можливість вибирати ТП

обробки деталей із архіву вже розроблених та запроваджених у виробництво ТП на виготовлення шифрів пристосувань оснащення, в тому випадку якщо ці шифри містять конструктивно подібні деталі, чи деталі пристосувань оснащення, технологія обробки яких також подібна до технології обробки деталей шифру, на який розробляється ТП[25].

Також можуть проектуватися креслення та ескізи на відсутній різальний та вимірювальний інструмент чи оснащення II порядку, якщо вже є розроблені та запроваджені у виробництво конструктивно подібні інструмент чи оснащення II порядку, креслення чи 3 D моделі яких є у вигляді CAD файлів у відповідних базах даних.

Виходячи із власного досвіду, розробка ТП та ТД пристосування оснащення середньої складності (23...30 оригінальних деталей) користуючись існуючим аналогами розроблених ТП займає близько

1...2 робочих днів, що ще більше зменшує час розробки порівняно з проектуванням новостворених ТП.

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи магістра було вирішено такі завдання:

а) проаналізовано основні етапи проектування технологічного процесу механічної обробки деталей в умовах одиничного виробництва ;

б) проведено аналіз поширених систем автоматизованого проектування САПР та САПР ТП, визначено їх основні компоненти та взаємодію між ними;

в) запропоновано структуру та загальну архітектуру інтегрованої САПР ТП, яка дає можливість ефективно та швидко розробляти технологічні процеси для механічної обробки деталей пристосувань оснащення в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва;

г) запропоновано структуру баз даних, які містять інформацію про технологічні можливості обладнання, інструментів, оснащення, типові та знов розроблені технологічні процеси для різних технологічних класів деталей, CAD та CAM файли креслень і 3D моделей деталей пристосувань оснащення, інструментів та оснащення II порядку, CAM файли керуючих програм для верстатів з ЧПК та контрольно-вимірювальних машин для обробки та контролю деталей та ін;

д) запропоновано програмне забезпечення для деяких модулів САПР ТП

Наукова новизна роботи полягає в розробці структури та архітектури САПР ТП, яка суттєво скорочує час розробки нових ТП для умов одиничного і дрібносерійного виробництва. Запропонована система має здатність розробки ТП для широкого спектру виробів, включаючи деталі, які раніше не виготовлялися. Взаємодія між CAD, CAM та САПР ТП забезпечує комплексний підхід до розробки ТП виготовлення деталей.

Практична значущість роботи полягає у можливості застосування САПР ТП для швидкої та якісної розробки ТП та ТД для дрібносерійного та одиничного виробництва де потрібно швидке реагування на зміну

номенклатури продукції. Впровадження розробленої системи на підприємствах дозволить суттєво знизити витрати часу на технологічну підготовку виробництва, знизити кількість помилок та похибок у розроблюваних ТП.

Методи дослідження включали аналіз існуючих підходів до автоматизованого проектування ТП, моделювання виробничих процесів, розробку баз даних та програмних модулів для САПР ТП.

Запропонована система САПР ТП дозволяє ефективно та швидко вирішувати задачі розробки ТП та ТД в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3321 -2003 Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять. – [Чинний від 2003-12-08]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 2005. 51 с.
2. Л.С. Глоба, М.О.Алексеев. Застосовність нових принципів проєктування у машинобудуванні // Вестник ХГТУ. – 2001. - №3(12). - С. 78-81
3. Горбатюк Є.О., Мазур М.П.,Зенкін А.С.,Каразей В.Д. Технологія машинобудування. – Львів: Новий Світ-2000, 2009. – 358 с.
4. Глоба Л.С., Алексеев А. Н., Алексеев Н. А. Техничко-економический расчет размерных цепей и его приложение для выбора состава операций механообработки // Вісник СумДУ. – 2000. - №19. - С. 93-98
5. <https://www.autodesk.com/products/autocad/>
6. <https://www.solidworks.com/>
7. <https://plm.sw.siemens.com/en-US/nx/products/>
8. <https://www.ansys.com/company-information/ansys-simulation-software>
9. <https://www.3ds.com/products/simulia/abaqus>
10. <https://signup.mastercam.com/free-download-mastercam>
11. <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>
12. <https://www.ptc.com/en/products/creo/trial-ppc>
13. ДСТУ 2226-93. Автоматизовані системи. Терміни та визначення. – [Чинний від 1994-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 1994. 93 с.
14. Системи автоматизованого проєктування: конспект лекцій та технології в приладобудуванні» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; автори: К.С. Барандич, О.О. Подолян, М.М. Гладський. – Електронні текстові дані (1 файл 3,05 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 97 с.
15. <https://www.solidworks.com/partner-product/km-soft-capp>
16. <https://plm.sw.siemens.com/en-US/tecnomatix/>

17. Балабанов О.М. Короткий довідник технолога - машинобудівника. – Київ: Видавництво стандартів, 1992. – 464 с.
18. Севостьянов І. В. Вступ до фаху : навчальний посібник / І. В. Севостьянов. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 107 с.
19. Під ред. А.Р. Косилової, Р. К. Мещерякова. Довідник технолога-машинобудівника.- в 2-х томах. Том 1 – М: Машинобудування, 1972. – 694с.
20. Севостьянов І. В. Раціональна послідовність проєктування технологічних процесів складання / І. В. Севостьянов // Наукові праці Вінницького національного технічного університету, 2015. – № 1. – С. 1–5.
21. Shah JJ, Mantyla M. Parametric and feature-based CAD/CAM: concepts, techniques, and applications. Wiley, New York - 1995
22. Коваленко, Б. Д. Інженерна та комп'ютерна графіка : навч. посіб. для студ. вузів / Б. Д. Коваленко, Р. А. Ткачук, В.Г.Серпученко ; [за ред. Б. Д. Коваленка]. - Київ : Каравелла, 2008.
23. Павленко П.М. Автоматизовані системи технологічної підготовки розширених виробництв. Методи побудови та управління: Монографія.– К.: Книжкове видавництво НАУ, 2005. – 280с.
24. Васильківський І.С., Николин Г.А.,Фединець В.О. Автоматизація виробничих процесів: навч. посібник. - Львів: СПОЛОМ, 2023.-192 с.
25. Л.Г. Козлов, Ю.А. Буренніков, А.М. Смеречинський, А.С. Хапокниш. Робота в графічних редакторах КОМПАС-ГРАФІК та T-FLEXCAD: Навчальний посібник. Вінниця– 2003.

ДОДАТОК А

Текст програми

для модуля підготовки технологічної документації:

```
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <string>
#include <unordered_map>
#include <vector>
#include <ctime>

class Document {
public:
    Document(const std::string& name) : name(name) {}
    virtual ~Document() = default;
    virtual void generate() = 0;
    virtual void save() = 0;

protected:
    std::string name;
    std::string content;
};

class Drawing : public Document {
public:
    Drawing(const std::string& name, const std::string& cadData) : Document(name), cadData(cadData) {}

    void generate() override {
        content = "Drawing for " + name + "\n" + cadData;
        std::cout << "Generated drawing for " << name << std::endl;
    }

    void save() override {
        std::ofstream file(name + ".txt");
        file << content;
        file.close();
        std::cout << "Saved drawing to " << name << ".txt" << std::endl;
    }

private:
    std::string cadData;
};

class RouteCard : public Document {
public:
    RouteCard(const std::string& name, const std::vector<std::string>& operations)
        : Document(name), operations(operations) {}

    void generate() override {
        content = "Route Card for " + name + "\nOperations:\n";
        for (const auto& op : operations) {
            content += "- " + op + "\n";
        }
        std::cout << "Generated route card for " << name << std::endl;
    }

    void save() override {
        std::ofstream file(name + ".txt");
        file << content;
        file.close();
        std::cout << "Saved route card to " << name << ".txt" << std::endl;
    }
};
```

```

}

private:
    std::vector<std::string> operations;
};

class SafetyInstruction : public Document {
public:
    SafetyInstruction(const std::string& name, const std::vector<std::string>& instructions)
        : Document(name), instructions(instructions) {}

    void generate() override {
        content = "Safety Instructions for " + name + "\nInstructions:\n";
        for (const auto& instr : instructions) {
            content += "- " + instr + "\n";
        }
        std::cout << "Generated safety instructions for " << name << std::endl;
    }

    void save() override {
        std::ofstream file(name + ".txt");
        file << content;
        file.close();
        std::cout << "Saved safety instructions to " << name << ".txt" << std::endl;
    }

private:
    std::vector<std::string> instructions;
};

class TimeNorm : public Document {
public:
    TimeNorm(const std::string& name, const std::unordered_map<std::string, int>& operationTimes)
        : Document(name), operationTimes(operationTimes) {}

    void generate() override {
        content = "Time Norms for " + name + "\n";
        for (const auto& [operation, time] : operationTimes) {
            content += "- " + operation + ": " + std::to_string(time) + " minutes\n";
        }
        std::cout << "Generated time norms for " << name << std::endl;
    }

    void save() override {
        std::ofstream file(name + ".txt");
        file << content;
        file.close();
        std::cout << "Saved time norms to " << name << ".txt" << std::endl;
    }

private:
    std::unordered_map<std::string, int> operationTimes;
};

class DocumentationModule {
public:
    void createDrawing(const std::string& name, const std::string& cadData) {
        Drawing drawing(name, cadData);
        drawing.generate();
        drawing.save();
    }

    void createRouteCard(const std::string& name, const std::vector<std::string>& operations) {

```

```

RouteCard routeCard(name, operations);
routeCard.generate();
routeCard.save();
}

void createSafetyInstruction(const std::string& name, const std::vector<std::string>& instructions) {
    SafetyInstruction safetyInstruction(name, instructions);
    safetyInstruction.generate();
    safetyInstruction.save();
}

void createTimeNorm(const std::string& name, const std::unordered_map<std::string, int>& operationTimes) {
    TimeNorm timeNorm(name, operationTimes);
    timeNorm.generate();
    timeNorm.save();
}
};

int main() {
    DocumentationModule docModule;

    // Приклад створення документації
    docModule.createDrawing("Part_A", "CAD data for Part A");
    docModule.createRouteCard("Part_A", {"Operation 1", "Operation 2", "Operation 3"});
    docModule.createSafetyInstruction("Part_A", {"Wear safety glasses", "Use gloves"});
    docModule.createTimeNorm("Part_A", {"Operation 1", 10}, {"Operation 2", 15}, {"Operation 3", 20});

    return 0;
}

```

ДОДАТОК Б

Текст програми

для модуля управління базами даних :

```

#include <iostream>
#include <fstream>
#include <string>
#include <unordered_map>
#include <vector>
#include <ctime>
#include <filesystem>
#include <stdexcept>

// Простий клас для представлення даних
class DataRecord {
public:
    DataRecord() = default;
    DataRecord(const std::string& name, const std::string& type, const std::string& content)
        : name(name), type(type), content(content), lastModified(std::time(nullptr)) {}

    std::string getName() const { return name; }
    std::string getType() const { return type; }
    std::string getContent() const { return content; }
    std::time_t getLastModified() const { return lastModified; }

    void updateContent(const std::string& newContent) {
        content = newContent;
        lastModified = std::time(nullptr);
    }
}

```

```

}

private:
std::string name;
std::string type;
std::string content;
std::time_t lastModified;
};

// Клас для управління базами даних
class DatabaseManager {
public:
void importData(const std::string& filePath) {
std::string fileName = std::filesystem::path(filePath).filename().string();
std::string fileType = std::filesystem::path(filePath).extension().string();
std::ifstream file(filePath);
if (!file.is_open()) {
throw std::runtime_error("Unable to open file for import: " + filePath);
}
std::string content((std::istreambuf_iterator<char>(file)), std::istreambuf_iterator<char>());
DataRecord record(fileName, fileType, content);
data[fileName] = record;
std::cout << "Imported data from " << filePath << std::endl;
}

void exportData(const std::string& fileName, const std::string& outputPath) {
if (data.find(fileName) == data.end()) {
throw std::runtime_error("Data not found: " + fileName);
}
std::ofstream file(outputPath);
if (!file.is_open()) {
throw std::runtime_error("Unable to open file for export: " + outputPath);
}
file << data[fileName].getContent();
std::cout << "Exported data to " << outputPath << std::endl;
}

void storeData(const std::string& name, const std::string& type, const std::string& content) {
DataRecord record(name, type, content);
data[name] = record;
std::cout << "Stored data with name: " << name << std::endl;
}

void updateData(const std::string& name, const std::string& newContent) {
if (data.find(name) == data.end()) {
throw std::runtime_error("Data not found: " + name);
}
data[name].updateContent(newContent);
std::cout << "Updated data with name: " << name << std::endl;
}

void backupData(const std::string& backupPath) {
std::ofstream file(backupPath);
if (!file.is_open()) {
throw std::runtime_error("Unable to open file for backup: " + backupPath);
}
for (const auto& [key, record] : data) {
file << record.getName() << "\n" << record.getType() << "\n" << record.getContent() << "\n";
}
std::cout << "Backed up data to " << backupPath << std::endl;
}

void restoreData(const std::string& backupPath) {

```

```

std::ifstream file(backupPath);
if (!file.is_open()) {
    throw std::runtime_error("Unable to open file for restore: " + backupPath);
}
std::string name, type, content;
while (std::getline(file, name) && std::getline(file, type) && std::getline(file, content)) {
    DataRecord record(name, type, content);
    data[name] = record;
}
std::cout << "Restored data from " << backupPath << std::endl;
}

void setAccessControl(const std::string& name, const std::string& user, const std::string& permissions) {
    accessControl[name][user] = permissions;
    std::cout << "Set access control for " << name << " for user " << user << " with permissions " << permissions <<
std::endl;
}

std::string getAccessControl(const std::string& name, const std::string& user) const {
    if (accessControl.find(name) != accessControl.end() && accessControl.at(name).find(user) !=
accessControl.at(name).end()) {
        return accessControl.at(name).at(user);
    }
    return "No access";
}

private:
    std::unordered_map<std::string, DataRecord> data;
    std::unordered_map<std::string, std::unordered_map<std::string, std::string>> accessControl;
};

int main() {
    DatabaseManager dbManager;

    // Імпорт даних
    try {
        dbManager.importData("example.iges");
    } catch (const std::runtime_error& e) {
        std::cerr << e.what() << std::endl;
    }

    // Зберігання даних
    dbManager.storeData("NewRecord", ".step", "STEP file content");

    // Оновлення даних
    try {
        dbManager.updateData("NewRecord", "Updated STEP file content");
    } catch (const std::runtime_error& e) {
        std::cerr << e.what() << std::endl;
    }

    // Експорт даних
    try {
        dbManager.exportData("example.iges", "output.iges");
    } catch (const std::runtime_error& e) {
        std::cerr << e.what() << std::endl;
    }

    // Резервне копіювання
    try {
        dbManager.backupData("backup.txt");
    } catch (const std::runtime_error& e) {
        std::cerr << e.what() << std::endl;
    }
}

```

```
}

// Відновлення даних
try {
dbManager.restoreData("backup.txt");
} catch (const std::runtime_error& e) {
std::cerr << e.what() << std::endl;
}

// Управління доступом
dbManager.setAccessControl("example.iges", "user1", "read-write");
std::cout << "Access for user1: " << dbManager.getAccessControl("example.iges", "user1") << std::endl;

return 0;
}
```