

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Комп'ютерних наук і технологій
(повне найменування факультету)

Комп'ютерні системи та мережі
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

бакалаврський
(ступінь вищої освіти)

на тему: РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ
ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу,
групи КНТ-512

Спеціальності

123 Комп'ютерна інженерія
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Комп'ютерна інженерія
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ТРУБИЧИН Д.С.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ТЯГУНОВА М.Ю.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент ХАРИТОНОВ О.Б.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет _____ комп'ютерних наук і технологій
Кафедра _____ комп'ютерних систем та мереж
Ступінь вищої освіти _____ бакалаврський
Спеціальність _____ 123 комп'ютерна інженерія
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) _____ комп'ютерна інженерія
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КУДЕРМЕТОВ Р.К.

« » _____ 2026 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

ТРУБИЧИНА Дмитрія Сергійовича

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розробка комп'ютеризованої системи виготовлення деталі

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доцент, ТЯГУНОВА М.Ю.

(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 14 » квітня 2026 року № 160

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 01.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) опис предметної області, технології виготовлення деталей, робот FANUC, ЧПК-верстат

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналіз предметної області;

2) Проєктування системи;

3) Реалізація програмного забезпечення системи;

4) Тестування розробленої системи

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

Слайди презентації

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-3	ТЯГУНОВА М.Ю.		
Нормоконтроль	ДЬЯЧУК Т.С.		

7. Дата видачі завдання «14» квітня 2026 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Аналіз предметної області	до 18.04.2026	
2	Аналіз сучасних засобів автоматизації процесів виготовлення деталей на обладнанні з числовим програмним керуванням	до 22.04.2026	
3	Розробка структури комп'ютеризованої системи виготовлення деталі та алгоритм її функціонування	до 01.05.2026	
4	Обґрунтування вибору апаратного забезпечення системи та визначення її основних компонентів	до 05.05.2026	
5	Реалізація програмного забезпечення системи	до 15.05.2026	
6	Тестування розробленої системи в реальних умовах	до 22.05.2026	
7	Оформлення пояснювальної записки	до 26.05.2026	
8	Проходження нормоконтролю	до 30.05.2026	
9	Перевірка на наявність академічного плагіату	до 01.06.2026	
10	Проходження рецензування	до 02.06.2026	

Студент(ка) _____
(підпис)

Дмитрій ТРУБИЧИН
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи) _____
(підпис)

Марія ТЯГУНОВА
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної кваліфікаційної роботи бакалавра:
68 с., 29 рис., 12 табл., 2 дод., 21 джерел.

FANUC, TRAUB, ІНДУСТРІЯ 4.0, ВЕРСТАТ, ГНУЧКЕ
АВТОМАТИЗОВАНЕ ВИРОБНИЦТВО, РОБОТ-МАНІПУЛЯТОР, ЧИСЛОВЕ
ПРОГРАМНЕ КЕРУВАННЯ

Об'єктом дослідження є процес автоматизованого виготовлення деталей із використанням комп'ютеризованих систем керування.

Предметом дослідження є програмно-апаратні засоби та методи побудови комп'ютеризованої системи виготовлення деталі на базі обладнання з числовим програмним керуванням.

Метою дипломної роботи є автоматизація процесу виготовлення механічної деталі за рахунок ефективного застосування комп'ютеризованих програмно-технічних засобів.

В межах дипломної роботи виконано аналіз предметної області та сучасних засобів автоматизації процесів виготовлення деталей на обладнанні з числовим програмним керуванням. Розроблено структуру комп'ютеризованої системи виготовлення деталі та алгоритм її функціонування. Обґрунтовано вибір апаратного забезпечення системи та визначено склад її основних компонентів. Реалізовано програмне забезпечення системи, зокрема алгоритм виготовлення деталі та керуючі програми для виробничого обладнання. Проведено тестування розробленої системи в реальних умовах та проаналізовано результати її роботи.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Аналіз предметної області.....	8
1.1 Основні методи виготовлення	9
1.2 Використання комп'ютеризованих систем.....	10
1.3 Аналіз підходів	15
2 Проєктування системи	19
2.1 Вибір апаратного забезпечення системи	19
2.2 Структура системи	28
2.3 Функціонування системи.....	28
3 Реалізація програмного забезпечення системи	34
4 Тестування розробленої системи.....	44
Висновки	51
Перелік джерел посилання	52
Додаток А Лістинги програм	54
Додаток Б Слайди презентації	59

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку цифрових технологій та концепції Industry 4.0 особливого значення набуває автоматизація виробничих процесів на основі комп'ютеризованих систем керування. Впровадження програмно-апаратних комплексів у машинобудуванні дозволяє підвищити продуктивність виробництва, забезпечити високу точність виготовлення деталей, зменшити вплив людського фактора та скоротити витрати на виконання технологічних операцій.

Одним із найважливіших напрямів автоматизації сучасного виробництва є використання верстатів із числовим програмним керуванням, комп'ютерних систем проектування та програмних засобів підготовки керуючих програм. Ефективність роботи таких систем значною мірою залежить від якості програмного забезпечення, правильності вибору архітектури системи керування та можливості інтеграції різних апаратних і програмних компонентів у єдине інформаційне середовище.

Необхідність розробки комп'ютеризованих систем виготовлення деталей, які забезпечують автоматизоване керування процесами механічної обробки, контроль технологічних параметрів та підвищення ефективності використання виробничого обладнання наразі є вкрай актуальними для виробництва. Застосування сучасних інформаційних технологій дає змогу оптимізувати виробничі процеси та забезпечити стабільно високу якість готової продукції.

Об'єктом дослідження є процес автоматизованого виготовлення деталей із використанням комп'ютеризованих систем керування.

Предметом дослідження є програмно-апаратні засоби та методи побудови комп'ютеризованої системи виготовлення деталі на базі обладнання з числовим програмним керуванням.

Метою дипломної роботи є автоматизація процесу виготовлення механічної деталі за рахунок ефективного застосування комп'ютеризованих програмно-технічних засобів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз предметної області та сучасних засобів автоматизації процесів виготовлення деталей на обладнанні з числовим програмним керуванням;
- розробити структуру комп'ютеризованої системи виготовлення деталі та алгоритм її функціонування;
- обґрунтувати вибір апаратного забезпечення системи та визначити склад її основних компонентів;
- реалізувати програмне забезпечення системи, зокрема алгоритм виготовлення деталі та керуючі програми для виробничого обладнання;
- провести тестування розробленої системи в реальних умовах та проаналізувати результати її роботи.

У дипломній роботі планується провести автоматизацію процесу виготовлення на прикладі деталі, як захисна трубка кермового механізму, яка є важливим складником кермового керування.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

Захисна трубка кермового механізму вантажівки є складовою кермового керування (рульового механізму), зокрема входить до вузла кермової колонки або рульового приводу. Функціонально вона належить до системи кермового керування транспортного засобу і конструктивно - до захисно-корпусних елементів рульової колонки, що забезпечують захист внутрішнього вала, напрямлення руху та безпеку водія.

Захисну трубку кермового механізму вантажівки зазвичай виготовляють як металеву циліндричну деталь, і для цього застосовують кілька основних технологічних методів - вибір залежить від матеріалу, серійності та вимог до міцності/точності.

Автоматизація процесу виготовлення деталей та мінімізація ручної праці знижують вплив людського фактора і роблять собівартість деталі прогнозованою.

Розробка комп'ютеризованої системи виготовлення деталей є актуальним інженерним завданням на стику кількох причин (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Актуальність розробки системи

Напрямок дослідження [1]	Що вирішується і
Прогресивні методи формоутворення	Заміна традиційного зняття стружки на маловідхідні технології (редукування, ротаційне кування).
Синергія Industry 4.0	Практичне об'єднання ЧПК-верстатів, промислової робототехніки та засобів лазерного сканування в єдиний такт.
Цифрові двійники (Digital Twins)	Створення алгоритмів адаптивного керування, які прогнозують знос інструменту до моменту появи браку.

1.1 Основні методи виготовлення

Основні методи виготовлення заготовок:

- виготовлення з безшовних труб;
- виготовлення з електрозварних труб;
- гнуття з листового прокату плюс зварювання;
- холодне/гаряче штампування (для окремих конструктивних варіантів);
- механічна обробка з заготовки (рідкісний варіант).

Виготовлення з безшовних труб - найпоширеніше для вантажівок. Беруть готову безшовну трубу, після чого виконують різання в розмір, механічну обробку торців, інколи протягування або калібрування. Перевага - висока міцність і надійність, відсутність зварного шва.

При виготовленні з електрозварних труб сталеву стрічку згортається в трубу, виконується поздовжнє зварювання. Далі виконується калібрування, термообробка (за потреби) та механічна обробка. Перевага - дешевше, підходить для масового виробництва.

При методі гнуття з листового прокату плюс зварювання лист сталі згинають у циліндричну форму на вальцах, поздовжній шов зварюється. Після цього: правка, обробка поверхні. Використовується рідше для високонавантажених вузлів.

Метод холодне/гаряче штампування застосовується, якщо трубка має складну форму або інтегровані елементи кріплення. Може поєднуватися з подальшою механічною обробкою.

Механічна обробка з заготовки - виготовлення на токарному верстаті з суцільного прутка. Застосовується лише для малих партій або дослідних зразків через високу вартість. Додаткові операції (майже завжди):

- антикорозійне покриття (цинкування, фарбування, порошкове фарбування);
- термообробка (для підвищення міцності);

- контроль геометрії та співвісності.

1.2 Використання комп'ютеризованих систем

У виробництві складових кермового механізму вантажівки верстати з ЧПК застосовуються не для "створення труби з нуля", а для точної механічної обробки, формування посадкових елементів і забезпечення співвісності.

Нижче наведено як саме ЧПК інтегрується в технологію:

- токарні верстати з ЧПК (CNC Turning);
- фрезерні верстати з ЧПК (CNC Milling);
- багатоосьові ЧПК-центри (3–5 осей);
- ЧПК-операції після зварювання (якщо труба зварна);
- типовий технологічний маршрут з ЧПК.

Токарні верстати з ЧПК (CNC Turning Centers) є головним елементом виробничої системи [2-4]. Оскільки захисна трубка кермового механізму вантажівки - це масивна, довга та товстостінна деталь типу «вал-втулка», до вибору конфігурації верстата висуваються жорсткі вимоги щодо жорсткості та потужності.

Токарні верстати з ЧПК (CNC Turning Centers) це основний тип обладнання. При використанні проводиться:

- обробка торців трубки (підрізання в розмір);
- виточування внутрішніх/зовнішніх фасок;
- формування посадкових місць під підшипники або втулки;
- калібрування діаметрів.

Важливість використання токарного верстата з ЧПК (CNC Turning):

- забезпечується висока співвісність (критично для кермового механізму);
- точність до сотих міліметра;

- повторюваність у серійному виробництві;

Для досягнення високої швидкості та точності (ІТ6–ІТ7) традиційні двоосьові верстати не підходять [2-5]. Необхідно проєктувати ділянку на базі багатоцільового токарно-фрезерного оброблювального центру з такою архітектурою:

- двошпиндельна конструкція (головний шпиндель плюс контршпиндель);
- дві незалежні револьверні головки з приводним інструментом;
- Y-вісь та C-вісь;
- прохідний шпиндель з люнетом.

Двошпиндельна конструкція (головний шпиндель + контршпиндель) дозволяє обробити трубку з обох кінців за один установ. Перехоплення деталі з головного шпинделя в контршпиндель відбувається автоматично на льоту, що усуває похибку базування.

Дві незалежні револьверні головки з приводним інструментом забезпечують одночасне точіння зовнішнього діаметра та розточування/фрезерування внутрішніх шліців чи отворів.

Вісь C (контроль кута повороту шпинделя) та вісь Y (вертикальне переміщення інструменту) необхідні для фрезерування кріпильних пазів, лисок та свердління радіальних мастильних отворів без зняття деталі з верстата.

Оскільки трубка вантажівки довга, для запобігання прогину та вібрацій під час швидкісного різання обов'язково передбачається гідравлічний самоцентрувальний люнет.

На рисунку 1.1 подано промисловий вигляд токарно-фрезерного оброблювального центру з ЧПК (на прикладі лінійок Mazak Quick Turn та DN Solutions Puma), а також внутрішня схема його робочої зони представлена на рисунку 1.2.



Рисунок 1.1 – Вигляд токарно-фрезерного оброблювального центру з ЧПК (Mazak Quick Turn)

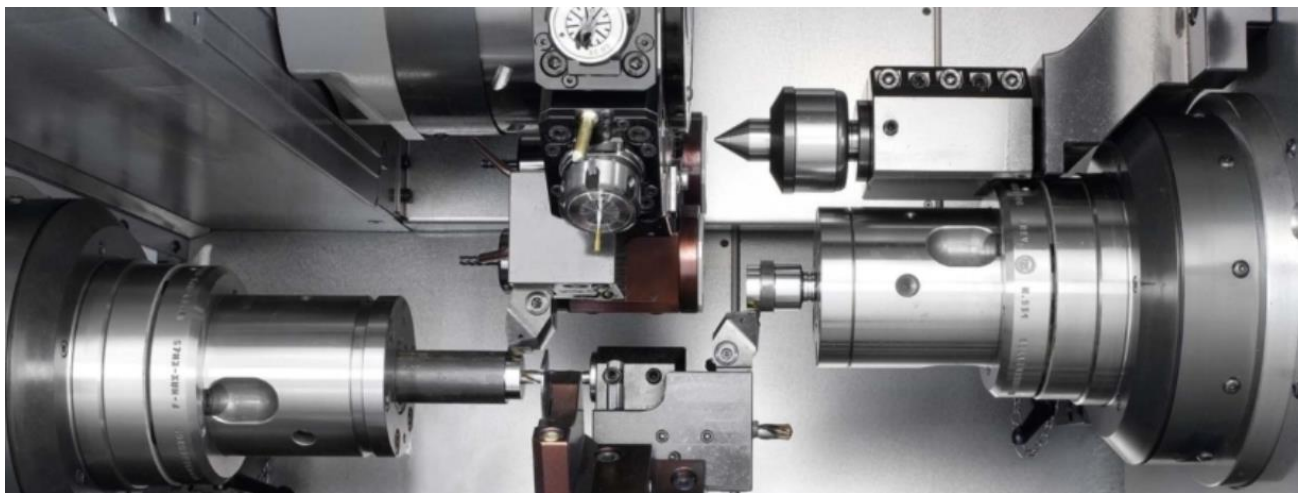


Рисунок 1.2 – Внутрішня схема робочої зони токарно-фрезерного оброблювального центру з ЧПК

На токарному ЧПК-центрі виконуються такі фінішні переходи:

- підрізання торців та центрування (створення точної бази для подальшої обробки);

- швидкісне розточування внутрішнього отвору (формування ідеально циліндричного ложа під рухомий вал або поршень гідропідсилювача);
- обточування зовнішніх ступенів (створення посадкових поверхонь під підшипники та сальники);
- нарізання різьби (виконується різцевими пластинами за кілька проходів у автоматичному циклі (наприклад, цикл G76 або G92);
- проточування канавок (під стопорні та ущільнювальні кільця).

Компонувальна схема токарно-фрезерного центру (вид спереду) подана на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Компонувальна схема токарно-фрезерного центру

Опис кінематичної схеми:

- напрямок руху вздовж осі Z (повздовжня) обертання трубки використовується для обточування зовнішнього діаметра та глибокого розточування;
- напрямок руху ось X (поперечна) інструменту перпендикулярно до деталі регулює глибину різання та кінцевий діаметр трубки;
- зміщення інструменту вище або нижче центру обертання ось Y

(вертикальна) необхідна для фрезерування точних шліців, пазів та лисок на корпусі трубки кермового механізму;

- кероване ЧПК-поворотом обертання головного шпинделя та контршпинделя осі C1/C2 (колові) дозволяють позиціонувати деталь під потрібним кутом для радіального свердління чи фрезерування.

Токарні верстати з ЧПК (CNC Turning) є основним типом обладнання для обробки торців трубки, виточування внутрішніх/зовнішніх фасок та калібрування діаметрів. Це забезпечує високу співвісність, точність до сотих міліметра та повторюваність у серійному виробництві.

Для великогабаритних та масивних деталей вантажних автомобілів, якими є захисні трубки кермового механізму, автоматизація завантаження є критично важливою, оскільки ручна праця оператора суттєво уповільнює такт лінії через втому.

Фрезерні верстати з ЧПК (CNC Milling) застосовуються, якщо трубка має додаткові конструктивні елементи. При використанні проводиться:

- прорізання отворів під кріплення;
- фрезерування пазів, вікон;
- формування кронштейнів або посадкових площадок;
- обробка кінцевих вузлів (фланців).

Багатоосьові ЧПК-центри (3–5 осей) використовуються у складніших конструкціях. Його переваги:

- обробка деталі за один установ;
- менше похибок базування;
- можливість складної просторової геометрії.

Якщо трубка виготовлена зі зварної заготовки використовується ЧПК-операції після зварювання. При використанні проводиться:

- токарна обробка для вирівнювання геометрії після зварювання;
- зняття внутрішнього напливу шва (розточування);
- контроль геометрії після термообробки.

Типовий технологічний маршрут з ЧПК:

- різання труби в розмір;
- токарна обробка ЧПК (торці, посадки);
- фрезерування отворів/пазів (якщо потрібно);
- контроль на КВМ (координатно-вимірювальна машина);
- захисне покриття.

Ключова роль використання ЧПК у виготовленні деталей, які є складними кермового керування вантажівки є:

- точність геометрії (співвісність кермового вузла);
- зниження люфтів у кермовому механізмі;
- стабільність якості у серії;
- відповідність вимогам безпеки транспортного засобу.

1.3 Аналіз підходів виготовлення деталей

Для забезпечення безперервності процесу використовують промислових роботів (наприклад, FANUC).

Місце роботів FANUC у технологічному процесі:

- завантаження та розвантаження ЧПК-верстатів (CNC tending);
- міжопераційне транспортування;
- обслуговування допоміжних операцій;
- контроль якості (у сучасних «розумних» лініях);
- маркування та пакування.

Роботів FANUC використовують для завантаження та розвантаження ЧПК-верстатів. Робот бере трубу-заготовку зі стелажа, встановлює її в патрон токарного верстата, а після обробки знімає деталь. Це дає змогу зменшити час простою верстата та забезпечити роботу без втручання оператора. Це надає наступні переваги:

- зменшення часу простою верстата;
- робота 24/7 без оператора;
- стабільна якість базування.

При міжопераційному транспортуванні роботи використовуються для переміщення заготовок між токарними і фрезерними центрами, подачі деталей на проміжні позиції (мийка, контроль, знежирення).

При обслуговуванні допоміжних операцій, залежно від виробництва FANUC-роботи можуть:

- подавати деталі на зварювання (якщо труба зварна);
- переносити деталі в установку термообробки;
- завантажувати/розвантажувати мийні або дробеструйні камери.

При контролі якості (у сучасних «розумних» лініях) у поєднанні з камерами або КЧМ (координатно-часові матриці):

- позиціонування деталі для 3D-сканування;
- передача деталі на вимірювальну станцію;
- сортування «придатна / брак».

При маркуванні та пакуванні, після виготовлення робот подає деталь на лазерне маркування, виконує укладання в тару або палети, формує транспортні партії.

Для роботизованої технологічної комірки (РТК) обробки труб керованого механізму вантажівок підходить 6-осьовий промисловий робот-маніпулятор середньої або високої вантажопідйомності серії FANUC M-20iD або FANUC M-710iC [6].

Робот інтегрується безпосередньо у систему керування верстата з ЧПК (через інтерфейс FANUC PMC або протокол Profinet/EtherCAT) і виконує такі операції:

- забирання заготовки (робот бере сиру трубну заготовку з автоматичного палетного накопичувача або конвеєра подачі);
- завантаження у верстат (після відкриття автоматичних дверей верстата робот заводить заготовку в гідравлічний патрон головного шпинделя);

- елімінація допоміжного часу, подвійний захват (робот оснащується двопозиційним схватом, одним захватом він тримає нову заготовку, підходить до верстата, другим захватом забирає готову оброблену трубку, розвертає руку на 180° і миттєво вставляє нову заготовку, це скорочує час простою верстата на завантаження до 4–6 секунд);

- перенесення на контроль (робот транспортує готову деталь до лазерного вимірювального сканера;

- сортування (на основі сигналу від лазерного сканера («Годна» / «Брак»)) робот укладає деталь або в тару готової продукції, або в ізолятор браку).

Для забезпечення підвищеної точності та гнучкості системи у проєкт доцільно закласти фірмові інтелектуальні опції FANUC:

- FANUC iRVision (вбудований технічний зір);
- FANUC Force Sensor (датчик зусилля).

FANUC iRVision - 2D або 3D камера, встановлена на руці робота. Вона дозволяє роботу самостійно розпізнавати хаотично накидані заготовки у бункері, визначати їх точну орієнтацію та коригувати траєкторію захоплення без використання дорогих систем жорсткого позиціонування.

FANUC Force Sensor дозволяє роботу «відчувати» супротив під час встановлення трубки в патрон верстата чи вимірювальний стенд. Це запобігає пошкодженню точних шліфованих поверхонь та різьблення при випадковому перекосі.

У лінії виробництва така роботизована ділянка є автономним технологічним модулем (роботизованим комплексом - РТК) [7, 8]. Оскільки захисна трубка для вантажівок є довгою та важкою, лінія будується за лінійним або коловим принципом, де робот є центром, навколо якого згруповане обладнання.

Текстова схема планування ділянки лінії виробництва подано на рисунку 1.4

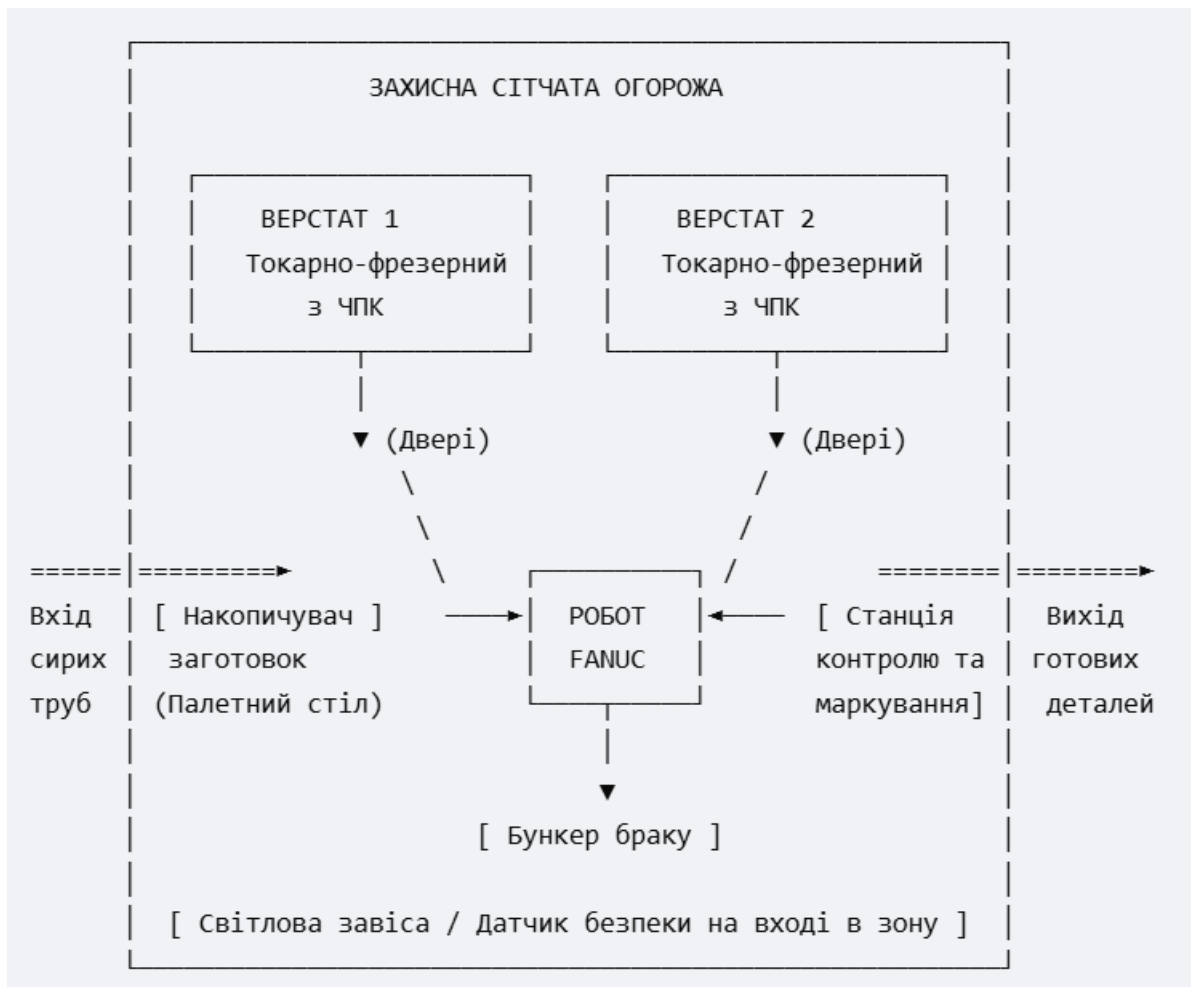


Рисунок 1.4 – Схема планування ділянки лінії виробництва

Робот FANUC встановлюється на потужній сталевій тумбі (опорі) безпосередньо по центру між двома верстатами з ЧПК. Це дозволяє одному роботу обслуговувати обидва верстати [9]. Поки перший верстат точить трубку, робот завантажує другий верстат або несе готову деталь на лазерний замір.

На фланці робота встановлено Т-подібний блок із двома потужними пневматичними захватами. Коли верстат завершує обробку і відкриває автоматичні двері, робот підлітає до шпинделя:

- захват №1 (порожній) міцно затискає готову гарячу трубку в шпинделі;
- патрон верстата розтискається, робот відходить на 150 мм назад;
- робот миттєво розвертає кисть на 180°;
- захват №2 (де вже затиснута сира труба) вставляє її в шпиндель верстата, патрон затискається, робот виходить, двері зачиняються, верстат

починає різання.

Вся зона роботи робота обнесена металевою сітчастою огорожею заввишки 2 метри. На вході для палет із заготовками встановлені лазерні світлові завіси (Safety Light Curtains). Якщо людина перетне цей промінь під час роботи лінії, робот миттєво зупиниться (функція FANUC Dual Check Safety), що виключає травматизм.

Оскільки під час точіння деталей вантажівок виділяється багато мастильно-охолоджувальної рідини (МОР), на робота одягають спеціальний захисний тканинний чохол (кожух). Біля верстатів підлогою проходять шнекові конвеєри, які автоматично виводять велику сталеву стружку за межі роботизованої зони в загальний бак.

Для ефективності швидкісного виробництва такт лінії розраховується наступним чином:

- чистий час обробки трубки у верстаті: 45 секунд;
- час роботи робота (заміна деталі, перенос, контроль): 8 секунд;
- загальний такт випуску однієї деталі: ~53 секунди.

Завдяки тому, що робот працює паралельно з процесом різання на іншому верстаті, лінія працює безперервно без жодних зупинок, як наприклад, на відпочинок оператора.

2 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ

2.1 Вибір апаратного забезпечення системи

Ринок токарних верстатів із ЧПК пропонує рішення для будь-яких задач - від важкої чорнової обробки до виготовлення мікродеталей для медицини. Якщо оцінювати ринок з точки зору швидкості, точності та універсальності, розклад сил між провідними брендами виглядає наступним чином. Є п'ять ключових виробників токарного обладнання:

- Traub (INDEX Group) – Німеччина [10];
- Okuma – Японія [11];
- Hwacheon - Південна Корея [12];
- DMG Mori - Німеччина / Японія [13];
- Haas Automation – США [14].

У світі ЧПК верстати Traub є абсолютним еталоном, коли йдеться про багатозадачність. Це не просто токарні верстати, а комплексні токарно-фрезерні центри, створені за принципом «універсального солдата». Вони спроектовані так, щоб виготовляти деталь будь-якої складності - від аерокосмічних компонентів до медичних імплантів - за одну установку.

Основною перевагою є безпрецедентна універсальність. Завдяки багатошпиндельним системам та унікальній кінематиці, Traub дозволяє одночасно виконувати токарні, фрезерні та свердлильні операції з обох боків деталі. Це скорочує час виробництва в рази. Верстати мають мікронну точність та ідеально підходять для швидкого переналагодження: сьогодні ви можете точити прості вали великими партіями, а завтра – швидко переналаштувати машину на надскладні ексцентричні деталі з індивідуальним профілем. Власна система керування (на базі TX8i) працює в ідеальній синергії з механікою верстата.

З недоліків - висока початкова вартість. Крім того, для розкриття всього колосального потенціалу цієї машини потрібен оператор-програміст дуже високої кваліфікації.

Один із найстаріших і найповажніших виробників у світі, відомий своїм замкнутим циклом виробництва (концепція Mechatronics). Okuma розробляє все сама: станини, двигуни, енкодери та власну стійку керування OSP.

Основною перевагою є феноменальна надійність та унікальна технологія Thermo-Friendly Concept, яка компенсує температурні розширення металу під час роботи. Верстат тримає точність незалежно від того, нагрівся він у процесі інтенсивного різання чи ні.

З недоліків – масивна конструкція робить їх менш "гнучкими" у порівнянні з високодинамічними верстатами Traub, коли мова йде про блискавичну зміну

складних дрібносерійних виробництв. Стійка OSP є специфічною і вимагає часу на перенавчання персоналу.

Бренд, який зробив собі ім'я на неймовірно жорстких верстатах, призначених для силового різання. Якщо вам потрібно знімати великі об'єми металу з твердих сплавів, це один із найкращих варіантів.

Основною перевагою є виняткова жорсткість завдяки ручному шабруванню напрямних (Box Way). Машини відмінно гасять вібрації під час важкої чорнової обробки. Відрізняються довговічністю та чудовим співвідношенням ціни і продуктивності для важкої промисловості.

З недоліків - звужена спеціалізація. Верстати Hwacheon – це скоріше потужні "робочі конячки" для силового точіння, ніж платформи для ультрашвидкісної, прецизійної обробки мікродеталей чи складної п'ятиосьової роботи, де беззаперечно лідирує Traub.

Глобальний технологічний гігант, утворений злиттям німецької та японської компаній. Виробляє преміальне обладнання з величезним акцентом на автоматизацію та цифровізацію.

Основною перевагою є широченний модельний ряд, інноваційний інтерфейс керування CELOS, відмінна інтеграція з роботизованими системами завантаження/розвантаження заготовок.

З недоліків – через колосальні розміри корпорації, архітектура деяких верстатів буває перевантажена складними вузлами, що ускладнює та здорожує сервісне обслуговування. Менш "камерний" підхід до клієнта у порівнянні з вузькоспеціалізованими європейськими брендами.

Найпопулярніший виробник ЧПК-верстатів у світі, який зробив ставку на масовість, доступність та простоту використання.

Основною перевагою є низький поріг входу – інтуїтивно зрозуміла стійка керування, яку можна освоїти за лічені дні. Дуже доступні запчастини, величезна база знань у мережі та низька стартова ціна. Ідеальний варіант для стартапів та навчальних закладів.

З недоліків – поступаються європейським і японським гігантам у жорсткості

станини та ресурсі шпинделя. Не призначені для цілодобового виробництва надточних деталей з важкооброблюваних матеріалів — на високих швидкостях та навантаженнях страждає точність.

Кожен бренд має свою нішу: Hwacheon ідеальний для силового обдирання, Haas — для швидкого старту та бюджетних задач, а Okuma — для стабільного великосерійного виробництва.

Проте, якщо стоїть задача мати на виробництві верстат, який зможе швидко та з абсолютною точністю зробити що завгодно, вибір однозначно падає на Traub. Його кінематика, продумана до дрібниць модульність та можливість одночасної багатоосьової обробки інструментами перетворюють його на ідеальну платформу. На верстаті Traub можна вранці виточити титановий гвинт складної форми для медицини, а ввечері переналаштувати його на серію корпусних деталей зі складним фрезеруванням - і все це з мікронною точністю та мінімальним часом циклу.

Вибір промислового маніпулятора — це завжди баланс між точністю траєкторії, вартістю інтеграції та загальними експлуатаційними витратами. Якщо для автоматизації виробничих процесів потрібен інструмент, який мінімізує простій і швидко окупиться, розклад сил на ринку виглядає наступним чином.

Є три ключові виробники промислових роботів та їхні позиції на ринку:

- Fanuc (Японія) [9, 15];
- KUKA (Німеччина) [16];
- ABB (Швейцарія/Швеція) [17].

Абсолютний світовий лідер у виробництві промислових роботів (впізнавані жовті маніпулятори). Їхня філософія побудована на максимальному показнику імовірності безвідмовної роботи (MTBF). Це ключовий фактор, який робить ці машини економічно найвигіднішими для реального виробництва.

Переваги:

- закрыта, але ідеальна екосистема;
- феноменальна надійність (ROI);
- доступність запчастин.

Fanuc самостійно виробляє всі ключові компоненти – від серводвигунів до стійок ЧПК. Це гарантує безшовну інтеграцію робота з металообробними верстатами.

Маніпулятори здатні працювати в тризмінному режимі роками без серйозних поломок. Низький відсоток простоїв і довговічність гарантують найшвидше повернення інвестицій.

Fanuc зобов'язується постачати запчастини протягом усього життєвого циклу робота (навіть для моделей 20-річної давнини). Це різко знижує ризики повної зупинки лінії через відсутність рідкісного енкадера чи плати.

Недоліки: пульт навчання (teach pendant) та інтерфейси програмування можуть здаватися дещо архаїчними та консервативними візуально порівняно з європейськими конкурентами, хоча вони є вкрай стабільними.

KUKA - легендарні помаранчеві роботи, які є стандартом для автомобільної промисловості європейського ринку та наукових лабораторій.

Переваги: висока кінематична точність, відкрита архітектура контролера (на базі ПК) та інтуїтивно зрозуміле програмування. Вони дуже легко інтегруються в складні IT-системи підприємства або використовуються для нестандартних задач, як-от роботизоване фрезерування чи 3D-друк.

Недоліки: висока вартість володіння. KUKA потребує дорогого та регулярного сервісного обслуговування. Запчастини значно дорожчі, що збільшує довгострокові витрати виробництва і знижує фінансову вигоду на простих циклічних операціях.

ABB - гігант у сфері електротехніки, відомий своїми білими роботами та ідеальною системою управління траєкторією руху.

Переваги: технології TrueMove та QuickMove забезпечують найкращу на ринку точність дотримання складної траєкторії без зниження швидкості. Це ідеальний вибір для лазерного різання, нанесення клею або складного дугового зварювання, де будь-яке відхилення псує деталь.

Недоліки: висока стартова ціна та складність освоєння. Якщо робот потрібен для базової автоматизації (наприклад, забрати заготовку – поставити

готову деталь), надлишкова складність АВВ не окупиться так швидко, як прагматичність японських конкурентів.

Порівняння вигідності для виробництва подано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняння вигідності для виробництва

Виробник	Головна сила	Сфера найшвидшої окупності	Вартість володіння
Fanuc	Безвідмовність та інтеграція	Обслуговування верстатів із ЧПК, пакування	Найнижча
KUKA	Відкритість та гнучкість ПЗ	Автомобілебудування, нестандартні ІТ-рішення	Висока
ABB	Точність траєкторії руху	Складне зварювання, фарбування, лазерна обробка	Висока

Якщо мета - складні ІТ-дослідження та гнучкість, варто дивитися в бік KUKA. Якщо необхідна ювелірна траєкторія для нанесення герметика - підійде АВВ. Але якщо завдання стоїть у площині прагматичної економіки та максимального прибутку, Fanuc є безальтернативним лідером. Для виробництва, де маніпулятор циклічно обслуговує токарний центр, найважливішим критерієм є імовірність безвідмовної роботи та мінімальні витрати на сервіс протягом наступних 10-15 років. Саме завдяки здатності працювати на знос із мінімальним втручанням, роботи Fanuc забезпечують найкоротший термін окупності.

2.2 Структура системи

Розробка системи виробництва захисної трубки кермового механізму з підвищеними вимогами до точності та швидкості базується на впровадженні концепції смартовиробництва (Industry 4.0). Це поєднання високошвидкісної механічної обробки, автоматизації та безперервного контролю якості.

Для забезпечення максимальної швидкості без втрати точності виробнича лінія будується за модульним принципом із мінімальним втручанням людини:

- модуль подачі (автоматичний прутковий магазин (Bar feeder) для безперервної подачі трубної заготовки);
- модуль формоутворення (замінює глибоке різання, дозволяє швидко отримати точні перепади діаметрів із покращенням структури металу);
- модуль фінішної обробки (високошвидкісний токарно-фрезерний оброблювальний центр із ЧПК (синхронні шпинделі, обробка у розгоні);
- модуль контролю (лазерна вимірювальна станція, інтегрована безпосередньо у конвеєр).

Архітектура виробничої системи, технологічний ланцюг подано на рисунку 2.1.

Висока точність геометричних параметрів (співвісність, круглість, шорсткість поверхні) досягається через такі технологічні рішення:

- термостабілізація станини (використання полімербетонних або мінеральних станин верстатів для гасіння мікровібрацій та компенсації теплового розширення);
- адаптивне керування в режимі реального часу (датчики на різцетримачах вимірюють силу різання і автоматично корегують положення інструменту при зносі або коливаннях твердості металу);
- активний контроль "In-Process" (оптичні лазерні сканери вимірюють ключові розміри трубки за частки секунди до її відрізання та передають дані на ЧПК для мікрокорекції наступної деталі).

Швидкість виробництва (час циклу $< 45-60$ секунд на деталь) досягається мінімізацією допоміжного часу:

- високошвидкісне різання (застосування інструменту з покриттям кубічним нітридом бору (CBN) або металокераміки, швидкість різання зростає у 2–3 рази);

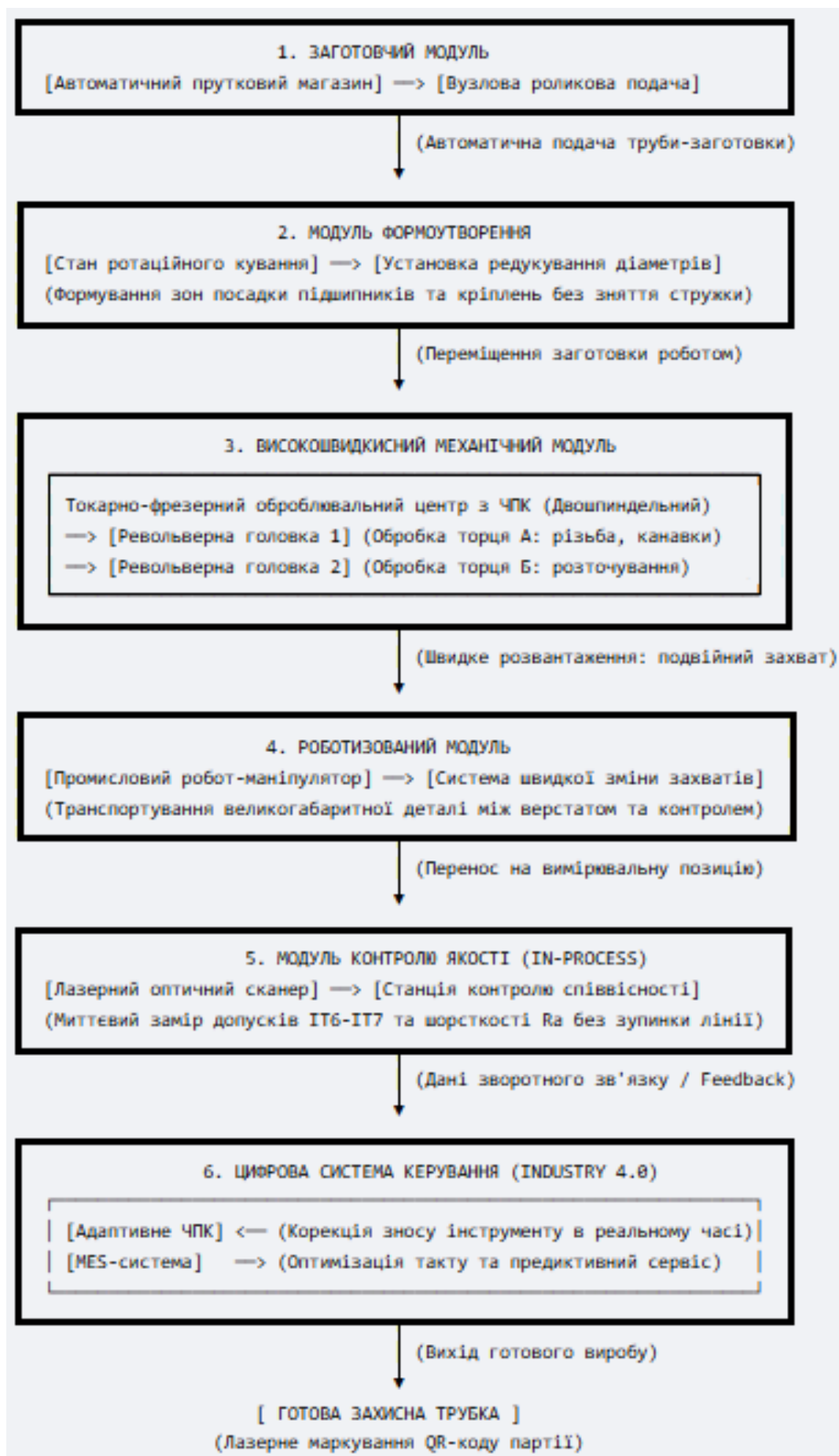


Рисунок 2.1 – Технологічний ланцюг

- паралельна обробка (одночасна обробка деталі з двох кінців за допомогою двошпиндельних верстатів із двома незалежними револьверними головками);

- роботизоване завантаження (промислові роботи-маніпулятори (наприклад, FANUC, KUKA) з подвійними захватами (одночасне зняття готової та встановлення нової заготовки за 3-4 секунди).

Цифрова екосистема системи, цифровий двійник:

- MES-система (керує завантаженням лінії, відстежує такт виробництва та попереджає про зупинки);

- предиктивне обслуговування (датчики вібрації та струму на шпинделі аналізують стан підшипників та інструменту, сигналізуючи про заміну до виходу з ладу (запобігання браку);

- простежуваність (лазерне маркування QR-коду на кожній трубці з прив'язкою до параметрів її виготовлення (зусилля, точний розмір, партія металу).

Технічний аспект переходу до систем Smart-кермування:

- інтеграція з автономним водінням;
- робота під високими навантаженнями;
- тренди на полегшення конструкцій.

Сучасні системи Steer-by-Wire (кермування по дротах) та автопілоти вимагають від механічних вузлів безпрецедентної точності. Будь-який мікролюфт або відхилення форми захисної трубки спотворює сигнал цифрових датчиків [18, 19].

Електропідсилювачі керма (EPS) створюють локальні концентровані зусилля на корпус. Трубка повинна мати ідеальну геометрію (допуски IT6-IT7), щоб уникнути заклинювання або передчасного зносу внутрішнього валу [20, 21].

Виробники переходять на тонкостінні заготовки з міцних сплавів. Їх обробка без деформацій можлива лише на прецизійному обладнанні.

Економічний аспект - глобальна потреба у продуктивності:

- скорочення часу виходу на ринок (Time-to-Market);
- елімінація браку;

- зниження собівартості.

Автомобільні платформи оновлюються кожні 2–3 роки. Виробнича система повинна швидко переналагоджуватися на нові типорозміри деталей.

Висока швидкість різання без інтегрованого контролю призводить до миттєвого випуску великої партії бракованих деталей. Впровадження систем In-Process мінімізує витрати на дефектну сировину.

2.3 Функціонування системи

Загальний процес виготовлення захисної трубки кермового механізму вантажівки поділяється на два етапи:

- обробка першої сторони деталі;
- обробка другої сторони деталі.

Загальний алгоритм можна описати наступним чином.

Спочатку виконується ініціалізація верстата, встановлюється система координат та обладнання переводиться у робочий режим. Потім здійснюється виклик необхідних інструментів і запуск шпинделя з відповідними параметрами обертання та охолодження.

Далі виконується внутрішня обробка деталі: проводиться чорнова та чистова розточка внутрішніх поверхонь із формуванням необхідного профілю та діаметрів. Після завершення внутрішньої обробки інструмент відводиться у безпечне положення.

Потім програма переходить до прорізання канавок і формування фасок за допомогою спеціального канавкового різця. Після цього здійснюється зовнішня токарна обробка деталі, під час якої формуються зовнішні діаметри, конічні переходи та інші елементи профілю.

Якщо необхідно виконати додаткову зовнішню або чорнову обробку, то програма переходить до другої частини циклу, де використовується інший різець для остаточного формування поверхонь деталі.

Після завершення всіх операцій програма збільшує лічильники виготовлених деталей, вимикає охолодження, переводить інструмент у безпечну позицію та завершує роботу верстата.

Далі покроково опишемо алгоритм виготовлення обробка першої сторони деталі.

Крок 1. Виконання першого потоку. Проводиться внутрішня обробка трубки (розточування та прорізання внутрішніх канавок). Встановлюється робоча точка нуля верстата (зміщення). Вмикається синхронізація або спеціальний режим контролю шпинделів. Відводиться інструмент (головний шпиндель) у безпечну позицію для зміни.

Крок 2. Проводиться холостий підхід першого різця. Викликається розточувальний різець Seco (DCMT) та швидко підводить різець близько до деталі.

Крок 3. Чорнове внутрішнє розточування (перший прохід). Запускається обертання шпинделя зі швидкістю 2600 об/хв проти годинникової стрілки та вмикає мастильно-охолоджувальна рідина (MOP) - охолодження. Різець вривається у метал під кутом 225° з подачею 0.25 мм/об, формуючи внутрішню фаску. Різець йде всередину трубки, знімаючи перший грубий шар металу на глибину 32 мм. Швидкий відхід назад у безпечну зону.

Крок 4. Чистове внутрішнє розточування (другий прохід). Різець повертається і робить чистовий прохід з меншою подачею, формує точні внутрішні діаметри (від 42.037 мм до 42.265 мм) на глибину 32 мм. Відхід у точку зміни інструменту та вимкнення охолодження.

Крок 5. Прорізання першої внутрішньої канавки. Викликається канавковий різець Horn шириною 1.6 мм. Оберти зменшуються до 1550 об/хв. Вмикається охолодження. Різець заходить всередину, вривається в стінку труби на діаметр

43.1 мм, роблячи канавку. Далі підчищаються краї канавки та знімаються заусенці.

Крок 6. Прорізання другої внутрішньої канавки. Різець зміщується далі всередину, повторює процедуру врізання на діаметр 43.1 мм для створення другої канавки, виходить з деталі, відходить назад і вимикає охолодження.

Крок 7. Завершення першого потоку. Верстат готує наступний інструмент, додає +1 до лічильників деталей, виконує технологічну зупинку та завершує програму.

Крок 8. Виконання другого потоку. Верстат працює ззовні деталі. Встановлює систему в нуль. Викликається потужний зовнішній прохідний різець. Шпиндель розганяється до 3000 об/хв.

Крок 9. Торцювання (підрізання торця). Вмикається компенсація на радіус інструменту (справа від контуру). Різець підходить до торця деталі і опускається вниз по осі X з діаметра 48.25 мм до 33 мм. Це вирівнює торець трубки, роблячи його ідеально рівним.

Крок 10. Обточування зовнішнього діаметра (повздовжній прохід). Різець відходить і стає на позицію перед деталлю. Головний робочий хід - різець рухається вздовж деталі на велику глибину 72 мм, обточуючи зовнішній діаметр трубки до точного розміру 48.4 мм. Подача досить швидка - 0.23 мм/об.

Крок 11. Формування зовнішніх фасок. На виході з деталі різець виточує дві послідовні фаски під кутами 135° та 165° до фінального діаметра 51 мм. Це потрібно для плавного переходу діаметрів. Вимикає компенсацію радіуса. Відводить другий супорт у безпечну зону та охолодження

Крок 12. Кінець програми Готуються інструменти для наступного циклу, верстат зупиняє шпиндель та завершує роботу.

Блок-схема алгоритму обробка першої сторони деталі подано на рисунку 2.2.

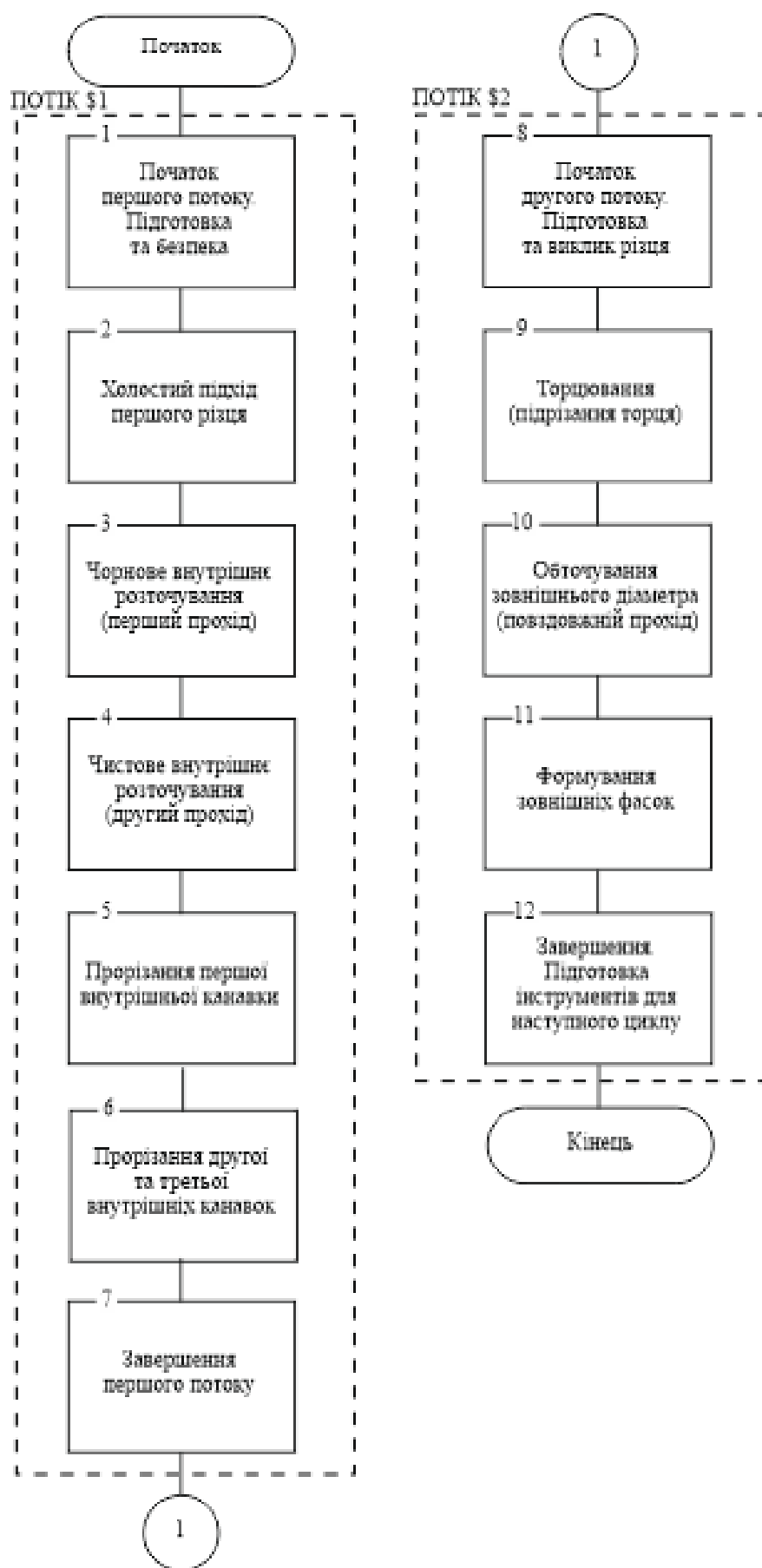


Рисунок 2.2 – Блок-схема алгоритму обробки першої сторони деталі

Далі покроково опишемо алгоритм виготовлення обробка другої сторони деталі, блок-схема, якого подано на рисунку 2.3.

Крок 1. Спочатку програма запускає цикл обробки деталі, активує систему координат та переводить верстат у початковий робочий стан за допомогою службових команд і переходу у референтну позицію.

Крок 2. Потім викликається перший інструмент - розточний різець, задаються постійні оберти шпинделя, напрямок його обертання та вмикається система охолодження.

Крок 3. Далі інструмент швидким переміщенням підводиться до зони обробки, після чого починається внутрішня чорнова розточка деталі із поступовим формуванням внутрішнього профілю по координатах X та Z.

Крок 4. Після виконання чорнкової обробки інструмент відводиться у безпечне положення, а програма переходить до чистової внутрішньої обробки із використанням компенсації радіуса різця для забезпечення високої точності розмірів та якості поверхні. Виконується чистове формування внутрішніх діаметрів, уступів і переходів деталі відповідно до заданого контуру, після чого компенсація вимикається, а інструмент відводиться від деталі.

Крок 5. Далі програма викликає канавковий різець, змінює режими різання та переходить до операцій прорізання канавок і формування фасок у визначених координатах.

Крок 6. Під час виконання канавкових операцій різець кілька разів підводиться до поверхні деталі, формуючи необхідну геометрію канавок і забезпечуючи потрібні розміри та точність обробки.

Крок 7. Після завершення прорізання канавок інструмент відводиться у безпечну позицію, вимикається система охолодження та завершується поточна технологічна операція.

Крок 8. Потім програма викликає зовнішній токарний різець, повторно запускає шпиндель та систему подачі охолоджувальної рідини і активує компенсацію радіуса різця. Оскільки зовнішній діаметр деталі вже повністю

готовий після першої сторони, у цьому потоці виконується мінімум роботи — лише підрізання торця в точний розмір по довжині.

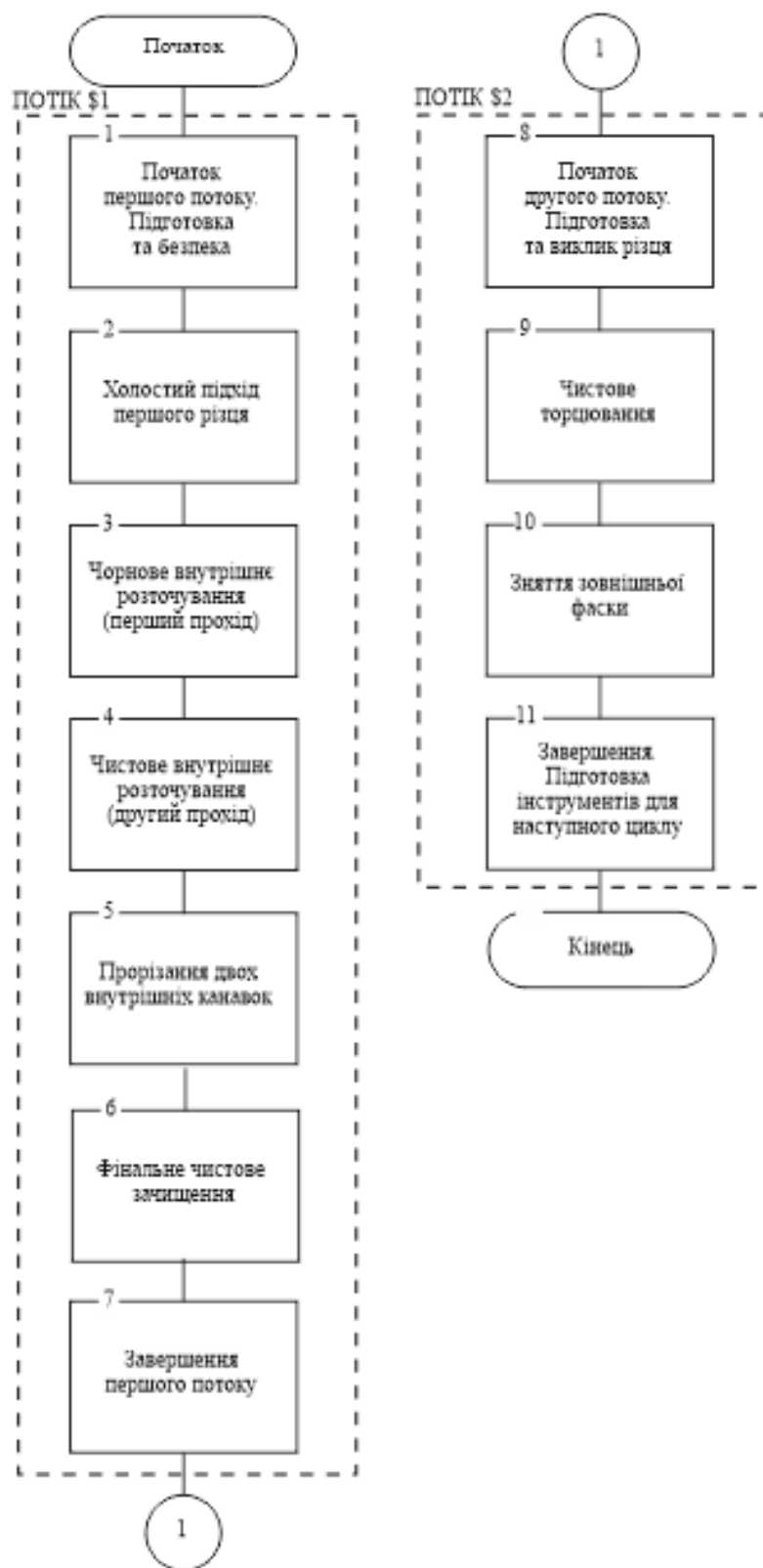


Рисунок 2.3 – Блок-схема алгоритму обробки другої сторони деталі

Крок 9. Вмикається компенсація радіуса різця. Різець опускається по торцю деталі на координаті z_0 з діаметра 53 мм до 34 мм. Це зрізає залишки припуску, роблячи торець гладким та забезпечуючи точну фінальну довжину всієї захисної трубки.

Крок 10. Зняття зовнішньої фаски. Різець робить швидкий відхід, міняє позицію та формує фаску під кутом 135° на діаметр 49.9 мм. Проходить трохи вглиб для плавного сходу контуру і виходить на діаметр 51 мм. Вимикає компенсацію радіуса інструменту. Відведення другого супорта у безпечну зону та охолодження.

Крок 11. Після цього виконується зупинка програми, яка дає оператору можливість перевірити стан деталі або виконати необхідні дії перед наступним етапом обробки.

З РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ

В поточному розділі опишемо програмну реалізація G-код (керуючу програму) для металообробного верстата з ЧПК (система керування Traub TX8 D), який виточує деталь з металевої заготовки захисну трубку кермового механізму «Steering Shaft Protection Tube».

Основні технічні параметри деталі:

- зовнішній робочий діаметр – 49.05 мм (затискається в цангу 48.5 мм з невеликим натягом);
- внутрішній діаметр, варіюється від 39 мм до 42.26 мм;
- довжина обробки щонайменше 70 мм з одного боку;
- матеріал – сталь або чавун середньої твердості з подачею емульсії/охолодження.

Токарний верстат є двоканальним і програма на деталь «Steering Shaft Protection Tube» розділена на два потоки:

- \$1 – перший супорт;
- \$2 – другий супорт.

Опишемо програмний код обробки першої сторони деталі. Програма містить дві частини та використовує кілька різців для внутрішньої, зовнішньої обробки й канавок. Програмний код складається з двох потоків. Перший потік має наступні кроки:

- підготовка та безпека;
- холостий підхід першого різця;
- чорнове внутрішнє розточування (перший прохід);
- чистове внутрішнє розточування (другий прохід);
- прорізання першої внутрішньої канавки;
- прорізання другої внутрішньої канавки;
- прорізання третьої внутрішньої канавки;
- завершення першого потоку.

Перший потік відповідає за внутрішню обробку трубки (розточування та прорізання внутрішніх канавок).

Підготовка та безпека. G-код наступний:

- G59X0Z241 – встановлює робочу точку нуля верстата (зміщення);
- M77 – вмикає синхронізацію або спеціальний режим контролю шпинделів;

- G27 – відводить інструмент у безпечну позицію для зміни.

Холостий підхід першого різця:

- T606 – викликає розточувальний різець Seco (DCMT);
- G0 – Швидко підводить різець близько до деталі (на Z10 та X160).

Чорнове внутрішнє розточування (перший прохід):

- G97S2600M4M7 – запускає обертання шпинделя зі швидкістю 2600 об/хв проти годинникової стрілки та вмикає охолодження;

- G1X41.5A225F0.25 – різець вривається у метал під кутом 225° з подачею 0.25 мм/об, формуючи внутрішню фаску;

- G1Z-11 та G1Z-32 – різець йде всередину трубки, знімаючи перший грубий шар металу на глибину 32 мм;

- G0Z50 G0X250 – швидкий відхід назад у безпечну зону.

Чистове внутрішнє розточування (другий прохід):

- різець повертається і робить чистовий прохід з меншою подачею (F0.1);
- формує точні внутрішні діаметри (від 42.037 мм до 42.265 мм) на глибину 32 мм;

- G26M9 – відхід у точку зміни інструменту та вимкнення охолодження.

Прорізання першої внутрішньої канавки:

- T404 – викликає канавковий різець Horn шириною 1.6 мм, оберти зменшуються до 1550 об/хв, вмикається охолодження (M7);

- різець заходить всередину на координату Z-12;

- G1X43.1F0.06 – врізається в стінку труби на діаметр 43.1 мм, роблячи канавку;

- наступні рядки з невеликими зміщеннями по Z (-12.5 та -11.5) підчищають краї канавки та знімають заусенці.

Прорізання другої та третьої внутрішніх канавки:

- різець зміщується далі всередину на координату Z-24.17;

- повторює процедуру врізання на діаметр 43.1 мм для створення другої канавки;

- третя канавка на координаті Z-33;

- G27M9 – різець виходить з деталі, відходить назад і вимикає охолодження.

Завершення першого потоку. Верстат готує наступний інструмент (T606), додає +1 до лічильників деталей (L1, L2), виконує технологічну зупинку (M0) та завершує програму (M30).

Другий потік працює ззовні деталі.

Підготовка та виклик різця:

- встановлюються ті самі нулі системи;

– викликається потужний зовнішній прохідний різець T707 (пластина CNMG), шпиндель розганяється до 3000 об/хв.

Торцювання (підрізання торця):

– G42 – вмикає компенсацію на радіус інструменту (справа від контуру);
 – різець підходить до торця деталі на Z0 і опускається вниз по осі X з діаметра 48.25 мм до 33 мм, це вирівнює торець трубки, роблячи його ідеально рівним.

Обточування зовнішнього діаметра (повздовжній прохід):

– різець відходить і стає на позицію перед деталлю (X48.385, Z3);
 – G1X48.4Z-72F0.23 – головний робочий хід, різець рухається вздовж деталі на велику глибину 72 мм, обточуючи зовнішній діаметр трубки до точного розміру 48.4 мм, подача досить швидка - 0.23 мм/об.

Формування зовнішніх фасок:

– на виході з деталі різець виточує дві послідовні фаски під кутами 135° та 165° до фінального діаметра 51 мм, це потрібно для плавного переходу діаметрів;
 – G40 – вимикає компенсацію радіуса;
 – G26M9 – відводить другий супорт у безпечну зону та вимикає охолодження.

Кінець програми. Готуються інструменти для наступного циклу, верстат зупиняє шпинделі та завершує роботу.

Повний програмний код виготовлення першої сторони захисної трубки кермового механізму «Steering Shaft Protection Tube» за допомогою двоканального токарного верстата подано у додатку А (лістинг А.1).

Далі опишемо програмний код обробки другої сторони деталі. Програма містить дві частини та використовує кілька різців для внутрішньої, зовнішньої обробки й канавок. Програмний код складається з наступних частин:

- заголовок програми;
- коментарі;
- встановлення системи координат;
- підготовка верстата;

- виклик та опис інструмента;
- увімкнення шпинделя;
- швидке позиціонування;
- робоча подача;
- внутрішня розточка;
- відвід інструмента;
- компенсація радіуса різця;
- чистова обробка;
- канавковий різець;
- прорізання канавок;
- повторні проходи;
- зовнішня токарна обробка;
- компенсація різця;
- формування конуса;
- завершення проходу;
- лічильники деталей;
- зупинка;
- друга частина програми \$2;
- інструмент CNMG;
- основна обробка;
- формування профілю;
- завершення програми.

В заголовку програми прописуємо номер програми:

- % – початок/кінець програми;
- O377 – номер програми.

В коментарях для оператора вказуємо:

- (Steering Shaft Protection Tube) - назву деталі;
- (2.SIDE CLAMPING COLLET 48.5MM) - обробка ведеться з другої сторони деталі, яка затиснута в цангу діаметром 48.5 мм.

Далі встановлення системи координат - G59X0Z239.53, де:

- G59 – вибір робочої системи координат;
- X0 Z239.53 – зміщення нуля деталі.

Підготовка верстата:

- M77 – спеціальна M-команда верстата (наприклад, затиск/підтримка);
- G27 – повернення у референтну позицію або перевірка базової точки.

Виклик інструмента T606 з описом - (TUNRINIG STEEL SECO DCMT 0.4 11T304-MF2 TM4000), де видно, що це розточувальний різець Seco (DCMT), який робить внутрішнє розточування трубки, проходить чорновими та чистовими проходами внутрішній діаметр від ~ 39 мм до ~ 42.2 мм на глибину до 33.2 мм.

Далі увімкнення шпинделя - G97S2600T606M4M7M77. Розшифрування подано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Розшифрування шпинделя

Код	Значення
G97	постійні оберти
S2600	2600 об/хв
T606	інструмент
M4	обертання шпинделя проти годинникової стрілки
M7	охолодження
M77	перевірка затискання цанги

Далі робимо швидке позиціонування (швидкий рух, інструмент підводиться до деталі):

- G0Z20;
- G0X53.5;
- G0Z5.

Розшифрування робочої подачі G1X41.5A225F0.25 подано в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Розшифрування робочої подачі

Код	Значення
G1	лінійна інтерполяція
X41.5	рух по X
A225	різання під кутом
F0.25	подача 0.25 мм/об

Далі внутрішня розточка:

- G1Z-11.2;
- G1X41.3;
- G1Z-33.2;
- G1X40.

Тут формується внутрішній профіль:

- рух уздовж осі Z;
- зміна діаметра по X.

Відвід інструмента, а саме швидке відведення у безпечну позицію:

- G0Z50;
- G0X250.

Компенсація радіуса різця:

- G46 – корекція інструмента;
- G40 – скасування компенсації.

Наступний етап чистова обробка:

- G1Z0F0.1 – менша подача;
- G1X44.25 – точні розміри.

Наступний інструмент (T404) - канавковий різець Horn 1.6 мм (PUNCTURE STEEL HORN 1.6mm). Прорізає внутрішні або зовнішні канавки шириною 1.6 мм на певній відстані (Z-12 та Z-34). Вони потрібні для ущільнювальних кілець (гумових манжет) або стопорних кілець.

Прорізання канавок – G1X43.1F0.06 (дуже мала подача, точна канавка).

Повторні проходи – формування фаски або профілю канавки:

- G0X41.28;
- G0Z-12.5;
- G1X42.28Z-12.

Далі зовнішня токарна обробка. Новий інструмент T202 – чистовий токарний різець Seco (DCMT). Програмний код - N2G97S2600T202M4M8M77 виконує наступне:

- обточує деталь ззовні на чистову;
- формує зовнішній діаметр 49.05 мм на довжину майже 70 мм (Z-69.9), робить фаски під кутами та виходить на фінальний діаметр 51 мм.

Компенсація різця G42 – компенсація радіуса справа.

Потім формування конуса - G1X49.05Z-20A-15. Одночасний рух:

- по X;
- по Z;
- із нахилом.

Завершення проходу (табл. 3.3):

- G40;
- G26M9.

Таблиця 3.3 – Розшифрування коду завершення проходу

Код	Значення
G40	скасування компенсації
M9	вимкнення мастильно-охолоджувальна рідина (MOP)

Лічильники деталей. Збільшення:

- $L1=L1+1$ – загального лічильника;
- $L2=L2+1$ – лічильника партії.

Далі M0 - повна зупинка для оператора.

Переходимо до опису другої частина програми \$2:

- інший інструмент;
- додаткова токарна операція.

Інструмент T707 – різець для зовнішньої обробки (CNMG 0.4):

- працює синхронно або послідовно;
- підрізає торець деталі (G1X34F0.12) для забезпечення точної довжини (подача 0.12 мм/об.);
- знімає зовнішню фаску під кутом 135 градусів на діаметр 49.9 мм.

Пластина CNMG - чорнова/напівчистова обробка.

Формування профілю – G1X49.9A135F0.23. Формується конічний або фасонний перехід.

Завершення програми:

- M30 – кінець програми;
- % – скидання та готовність до нового циклу.

Загалом програма виконує наступні операції:

- внутрішнє розточування;
- чистову обробку;
- прорізання канавок;
- зовнішнє точіння;
- формування конусів;
- контроль лічильників деталей.

Основні G-коди подані в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Основні G-коди

Код	Призначення
G0	швидкий рух
G1	лінійна інтерполяція
G27	референтна позиція
G40	скасування компенсації
G42	компенсація різця
G97	постійні оберти

Основні M-коди подані в таблиці 3.5.

Таблиці 3.5 - Основні М-коди

Код	Призначення
M4	обертання шпинделя
M7/M8	охолодження
M9	вимкнення MOP
M30	кінець програми
M0	пауза

Повний програмний код виготовлення другої сторони захисної трубки кермового механізму «Steering Shaft Protection Tube» за допомогою двоканального токарного верстата подано у додатку А (лістинг А.2).

В результаті маємо процес обробки деталі по інструментах (техпроцес):

а) потік \$1 (перша сторона / основна обробка):

– T606 – розточувальний різець Seco DCMT (робить внутрішнє розточування трубки, проходить чорновими та чистовими проходами внутрішній діаметр від ~39 мм до ~42.2 мм на глибину до 33.2 мм);

– T404 – канавковий різець Horn 1.6 мм (прорізає внутрішні або зовнішні канавки шириною 1.6 мм на певній відстані (Z-12 та Z-34), вони потрібні для ущільнювальних кілець гумових манжет);

– T202 – чистовий токарний різець Seco DCMT (обточує деталь ззовні на чистову, формує зовнішній діаметр 49.05 мм на довжину майже 70 мм (Z-69.9), робить фаски під кутами та виходить на фінальний діаметр 51 мм);

б) потік \$2 (торцювання): T707 – різець для зовнішньої обробки CNMG 0.4 (працює синхронно або послідовно, підрізає торець деталі (G1X34F0.12) для забезпечення точної довжини, знімає зовнішню фаску під кутом 135 градусів на діаметр 49.9 мм).

4 ТЕСТУВАННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ СИСТЕМИ

Тестування та перевірка (контроль якості) ЧПК-програм O376 та O377 – це найважливіший етап перед запуском верстата в автоматичному режимі. Оскільки захисна трубка кермового механізму «Steering Shaft Protection Tube» обробляється у двох потоках одночасно (\$1 та \$2) і має високі вимоги до точності внутрішніх канавок, процес тестування поділяється на три логічні фази:

- віртуальне тестування (перевірка синтаксису та траєкторії);
- тестування на верстаті;
- інструментальний контроль (вимірювання результатів).

Віртуальне тестування (перевірка синтаксису та траєкторії). Перед тим як натиснути кнопку «Старт» на верстаті, програму перевіряємо на комп'ютері або стійці ЧПК.

Перевірка на зарізи (Collision Check). Код завантажують в симулятор (наприклад, Vericut, Mastercam або вбудований симулятор стійки FANUC/Siemens). Тут перевіряють, чи не вріжеться різець T707 з другого потоку в розточувальний різець T606 з першого потоку, оскільки вони працюють синхронно (M77).

Аналіз коментарів щодо охолодження мастильно-охолоджувальною рідиною. Оскільки в коді O376 для другого потоку прописано коментар (OHNE WASSER WEGEN SPAENE / без води через стружку), але при цьому стоїть код ввімкнення помпи M7, на симуляторі візуально перевіряють, чи не заліє зону обробки водою у цей момент. Якщо потрібно - код M7 видаляють вручну.

Контроль виходу в референтні точки. Перевіряємо, чи правильно спрацьовують команди безпечного відведення супортів G26 та G27 перед зміною інструментів.

Тестування на верстаті. Коли код завантажено у верстат, починається фізичне тестування.

- а) прогін програми без заготовки («По повітрю»):

– зміщення нуля (G59) тимчасово зсувають по осі Z в безпечну зону (далі від патрона);

– вмикають режим Dry Run (холостий хід) та Single Block (покадрове виконання);

– оператор крок за кроком натискає кнопку запуску і дивиться, як рухаються супорти обох потоків, чи немає небезпечних зближень і чи вчасно вимикається MOP (M9);

б) обробка першої тестової деталі:

– нулі повертають у вихідне положення (Z241 для O376 та Z239.53 для O377);

– затискають першу чорнову заготовку в цангу 50 мм;

– подачу (Feedrate) на стійці верстата скручують на 50% або 25%;

– програма O376 виконується повністю під пильним контролем оператора, після зупинки програми кодом M0 деталь перевертається (або перехоплюється протишпинделем) у цангу 48.5 мм і запускається тест програми O377.

Інструментальний контроль (вимірювання результатів). Після того, як перша тестова деталь повністю виточена обома програмами, її знімають з верстата і передають на контроль ОТК (або міряє сам оператор) за допомогою спеціального інструменту (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Інструментальний контроль

Що тестується (параметр деталі)	Чим вимірюється (інструмент)	На що звертають увагу
1	2	3
Зовнішній діаметр 48.4 мм / 49.05 мм	Мікрометр (0-50 мм) або гладкий калібр-кільце	Перевірка на «конусність». Діаметр має бути ідеальним по всій довжині 72 мм.
Внутрішній отвір 42.037 мм	Нутромір індикаторний або калібр-пробка (НЕ/П до 42)	Точність посадочного місця. Якщо отвір замалий, у програмі O377 коригують зміщення (Offset) різця T606.

Продовження таблиці 4.1

1	2	3
Внутрішні канавки (Z-12, Z-24.17, Z-34)	Спеціальний канавковий штангенциркуль або шаблони	Перевіряється глибина врізання (діаметр 43.1 мм) та ширина пазів. Якщо канавки прорізані неточно, гумові ущільнювачі будуть пропускати мастило ГУР.
Торець та загальна довжина	Штангенциркуль або глибиномір	Перевірка роботи різця T707 у другому потоці, який відповідав за торцювання на Z0
Шорсткість поверхні (якість)	Профілометр або візуальний зразок шероховатості	На поверхні трубки не повинно бути «дроблення» (хвиль) від вібрацій, особливо після канавкового різця T404.

Якщо всі геометричні розміри першої деталі збігаються з кресленням, шорсткість відповідає нормі, а стружка під час обробки другого потоку без води успішно відводилася і не намотувалася на блок - тест вважається успішним. Верстат переводимо у повністю автоматичний режим для серійного виробництва захисних трубок кермового механізму.

На рисунках 4.1 – 4.3 подано готову деталь тестового образця.



Рисунок 4.1 – Тестова деталь (перша сторона)



Рисунок 4.2 – Тестова деталь (друга сторона)



Рисунок 4.3 – Тестова деталь (вид з боку)

Наведемо карту налагодження (Setup Sheet) для оператора токарного двоканального верстата з ЧПК, складену на основі керуючих програм O376 та O377. Карта налагодження містить усю необхідну технічну інформацію для підготовки верстата до роботи.

Карта налагодження верстата з чпк (Setup Sheet):

- назва деталі – захисна трубка кермового механізму / «Steering Shaft Protection Tube»;
- номер програми – O376 (установка 1) / O377 (установка 2);
- тип обладнання – двоканальний токарний верстат з протишпинделем / двома супортами;
- матеріал заготовки – сталь / конструкційний чавун.

Установка 1 (програма: O376) – перша сторона.

Закріплення заготовки:

- тип затискного пристрою - цанговий патрон;
- діаметр цанги – 50 мм (2.SIDE CLAMPING COLLET 50MM);
- зміщення нуля деталі (G59): X = 0.00, Z = 241.00.

Інструментальний блок (потік \$1) перша сторона деталі (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2 – Інструментальний блок потоку \$1 перша сторона деталі

Позиція (T)	Інструмент / пластина	Функція в процесі	Режими (S / F)	Охолодження (M)
T606	Розточувальний різець Seco DCMT 11T304-MF2 (R0.4)	Чорнове та чистове розточування отвору на глибину 32 мм.	S2600 (M4) / F0.25 (чорн), F0.1 (чист)	M7 (ввімкнено) / M9 (вимкнено в кінці)
T404	Канавковий різець Horn, ширина 1.6 мм	Нарізання двох внутрішніх канавок на Z-12 та Z-24.17 (Ø 43.1 мм).	S1550 (M4) / F0.06	M7 (ввімкнено) / M9 (вимкнено в кінці)

Інструментальний блок (потік \$2) перша сторона деталі (таблиця 4.3).

Таблиця 4.3 – Інструментальний блок потоку \$2 перша сторона деталі

Позиція (Т)	Інструмент / пластина	Функція в процесі	Режими (S / F)	Охолодження (М)
T707	Прохідний різець для зовнішньої обробки CNMG (R0.4)	Торцювання на Z0 та повне обточування зовнішнього Ø до 48.4 мм на довжину 72 мм.	S3000 (M4) / F0.11 (торець), F0.23 (зовні)	Обробляти без води для кращого ламання стружки.

Установка 2 (програма: O377) – друга сторона.

Закріплення заготовки:

– тип затискного пристрою – цанговий патрон (протишпindelь або перевертання);

– діаметр цанги – 48.5 мм (2.SIDE CLAMPING COLLET 48.5MM) - затискати за вже проточений Ø 48.4 мм;

– зміщення нуля деталі (G59): X = 0.00, Z = 239.53.

Інструментальний блок (потік \$2) друга сторона деталі (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 – Інструментальний блок потоку \$1 друга сторона деталі

Позиція (Т)	Інструмент / пластина	Функція в процесі	Режими (S / F)	Охолодження (М)
T606	Розточувальний різець Seco DCMT 11T304-MF2 (R0.4)	Внутрішнє розточування отвору з іншого кінця на глибину 33.2 мм.	S2600 (M4) / F0.25 (чорн), F0.1 (чист)	M7 (ввімкнено) / M9 (вимкнено в кінці)
T404	Канавковий різець Horn, ширина 1.6 мм	Нарізання двох внутрішніх канавок на Z-12 (Ø 43.1 мм) та Z-34 (Ø 43.13 мм).	S1550 (M4) / F0.06	M7 (ввімкнено) / M9 (вимкнено в кінці)
T202	Чистовий різець Seco DCMT 11T304-MF (R0.4)	Чистове калібрування зовнішнього контуру до Ø 49.05 мм на довжину 69.9 мм.	S2600 (M4) / F0.16	M8 (ввімкнено масляний туман) / M9 (вимкнено)

Інструментальний блок (потік \$2) друга сторона деталі (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5 – Інструментальний блок потоку \$2 друга сторона деталі

Позиція (T)	Інструмент / пластина	Функція в процесі	Режими (S / F)	Охолодження (M)
T707	Прохідний різець для зовнішньої обробки CNMG (R0.4)	Чистове підрізання другого торця в нуль (Z0) та зняття зовнішньої фаски під кутом 135°.	S2600 (M4) / F0.12 (торець), F0.23 (фаска)	M7 (ввімкнено) / M9 (вимкнено в кінці)

Особливі вказівки для оператора (Notes for Operator) :

- безпека першої деталі (першу деталь запускати виключно в режимі Single Block (покадрово) з обмеженням швидкості швидких переміщень (Rapid Traverse) до 25%);
- контроль заклинювання (під час роботи внутрішніх різців T606 та T404 у глибокому отворі (до 33.2 мм) переконалися, що тиск MOP достатній для повного вимивання стружки, щоб уникнути поломки пластин);
- контроль лічильника (програма автоматично веде підрахунок деталей через змінні L1=L1+1 та L2=L2+1, не скидайте лічильник без узгодження з майстром);
- зупинка циклу (наприкінці кожної програми спрацьовує технологічний стоп M0, перед натисканням кнопки «Cycle Start» для наступної деталі візуально оцініть знос різальних крайок пластин (особливо вузького канавкового інструменту Horn).

В результаті тестування виготовлення тестового образця захисної трубки кермового механізму всі геометричні розміри збігаються з кресленням, шорсткість відповідає нормі, а стружка під час обробки другого потоку без води успішно відводилася і не намотувалася на блок. Тест пройшов успішно. Верстат можна переводити у повністю автоматичний режим для серійного виробництва захисних трубок кермового механізму.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі було досліджено і реалізовано автоматизацію процесу виготовлення механічної деталі за рахунок ефективного застосування комп'ютеризованих програмно-технічних засобів.

Проведено дослідження програмно-апаратних засобів та методів побудови комп'ютеризованої системи виготовлення деталі, на прикладі складових кермового керування, на базі обладнання з числовим програмним керуванням.

В результаті роботи було вирішено наступні завдання:

- проведено аналіз предметної області та сучасних засобів автоматизації процесів виготовлення деталей на обладнанні з числовим програмним керуванням;
- розроблено структуру комп'ютеризованої системи виготовлення деталі та алгоритм її функціонування;
- обґрунтовано вибір апаратного забезпечення системи та визначити склад її основних компонентів;
- реалізовано програмне забезпечення системи, зокрема алгоритм виготовлення деталі та керуючі програми для виробничого обладнання;
- проведено тестування розробленої системи в реальних умовах та проаналізовано результати її роботи.

У дипломній роботі проведено автоматизацію процесу виготовлення на прикладі таких деталей, як захисна трубка кермового механізму вантажівки, які є важливими складниками кермового керування. Це дозволяє гарантувати абсолютну точність розмірів, виключити прихований брак у металі та забезпечити безпеку експлуатації автомобіля під високими навантаженнями.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Abolfazl Khalkhali, Mohammad Hasan Shojaeefard, Masoud Dahmardeh, Hadi Sotoudeh. Optimal design and applicability of electric power steering system for automotive platform. Journal of Central South University. April 2019. 26(4):839-851. DOI:10.1007/s11771-019-4053-3.
2. Overby A. Computer Numerical Control Production Systems: Machines, Programming, and Management. Cham : Springer, 2018. 384 p.
3. Smid P. CNC Programming Handbook: A Comprehensive Guide to Practical CNC Programming. 3rd ed. New York : Industrial Press, 2008. 540 p.
4. Suk-Hwan S., Seong-Kyoon S., Dae-Hyuk C. Theory and Design of CNC Systems. London : Springer, 2008. 400 p.
5. ДСТУ ISO 6983-1:2014. Системи числового програмного керування верстатами. Формат програми та коди обміну даними. Частина 1. Формат даних для позиційного, лінійного та контурного керування (ISO 6983-1:1982, IDT). [Чинний від 2015-07-01]. Київ : Мінекономрозвитку України, 2015. 18 с.
6. Craig J. J. Introduction to Robotics: Mechanics and Control. 4th ed. New York : Pearson, 2018. 400 p.
7. Kurfess T. R. The Robotics and Automation Handbook. Boca Raton : CRC Press, 2005. 592 p.
8. Smith J., Johnson M. Robot-assisted machine tending in smart manufacturing systems. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2021. Vol. 117, No. 5. P. 1435–1448.
9. Промислові роботи FANUC: серія M-20iD та M-710iC. Технічний каталог та специфікації обладнання. FANUC Europe Corporation, 2026. URL: fanuc.eu (дата звернення: 10.03.2026).
10. NDEX Group : official website. URL: index-group.com (дата звернення: 10.03.2026).

11. Okuma Europe : official website. URL: okuma.eu (дата звернення: 10.03.2026).
12. Hwacheon Machine Tool : official website. URL: hwacheon.com (дата звернення: 10.03.2026).
13. DMG MORI Global : official website. URL: dmgmori.com (дата звернення: 10.03.2026).
14. Haas Automation : офіційний сайт в Україні. URL: haascnc.com (дата звернення: 10.03.2026).
15. FANUC Corporation : official website. URL: <https://www.fanuc.co.jp/eindex.html> (дата звернення: 10.03.2026).
16. KUKA Global : official website. URL: <https://www.kuka.com/> (дата звернення: 10.03.2026).
17. ABB Group : official website. URL: <https://global.abb/> (дата звернення: 10.03.2026).
18. Handbook Assisted and Automated Driving / ed. by H. Winner, K. C. J. Dietmayer, L. Eckstein, M. Jipp, M. Maurer, C. Stiller. Wiesbaden : Springer, 2026. IX, 1020 p. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-45276-6> (дата звернення: 02.03.2026).
19. Jiayi Liu. Review on the development and optimization of steering systems for autonomous vehicles. Applied and Computational Engineering. June 2023. 4(1):336-342. DOI:10.54254/2755-2721/4/20230484.
20. Analysis and application of steering systems on a steering test bench / J. Zehmpfund, T. Lienig, O. Zirn, S. Rinderknecht. Forschung im Ingenieurwesen. 2016. Vol. 80, No. 1-2. P. 11–19. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41104-016-0006-0> (дата звернення: 02.03.2026).
21. Sokwon Kim, Y. N. Kwon, Yun-Sil Lee, Joongyoon Lee. Design of mandrel in tube drawing process for automotive steering input shaft. Journal of Materials Processing Technology. June 2007. 187(2):182-186. DOI:10.1016/j.jmatprotec.2006.11.134.

ДОДАТОК А

ЛІСТИНГИ ПРОГРАМ

Лістинг А.1 – Обробка першої сторони деталі LENKSCHUTZROHR

```
%  
O376  
$1  
G59X0Z241  
M77  
G27  
N1001!  
T606  
G0Z10  
G0X160  
N1002!  
(SECO DCMT 0.4 11T304-MF2 TM4000)  
(SSV DCMT 11T304 F PMK 9030)  
N6G97S2600T606M4M77M7  
G0Z10  
G0X53.5M7  
G0Z5  
G1X41.5A225F0.25  
G1Z-11  
G1X41.3  
G1Z-32  
G1X40  
G0Z50  
G0X250  
G46  
G0Z3  
G0X51  
G1Z0F0.1  
G1X44.25  
G1X42.265A225  
G1Z-11  
G1X42.18  
G1Z-23.9  
G1X42.037  
G1Z-32  
G1X39  
G40  
G0Z50  
G26M9  
(HORN 1.6MM)  
N4G97S1550T404M4M77M7  
G0Z20  
G0X40M7  
G0Z-12
```

G1X43.1F0.06
G0X41.28
G0Z-12.5
G1X42.28Z-12
G0X41.28
G0Z-11.5
G1X42.28Z-12
G0X40
G0Z-24.17
G1X43.1
G0X41.14
G0Z-24.67
G1X42.14Z-24.17
G0X41.14
G0Z-23.67
G1X42.14Z-24.17
G0X36
G0Z-33
G1X43.13
G0X38
G0Z10
G27M9
T606
L1=L1+1
L2=L2+1
N1003!
M0
M30
\$2
G59X0Z241
M77
G27
N2001!
(CNMG 0.4)
N7G97S3000T707M4M77M7
G42
G0Z-2.5
G0X53.25
G1X48.25Z0F0.11
G1X33
G0Z60
G0X48.385Z3
G1X48.4Z-72F0.23
G1X49.95A135
G1X51A165
N2002!
G40
G26M9
T303
T707
N2003!
M0
M30

%

Лістинг А.2 – Обробка другої сторони деталі LENKSCHUTZROHR

%

O377

\$1

(116-1257)

(2. 48.5MM)

G59X0Z239.53

M77

G27

N1001!

T606

N1002!

(SECO DCMT 0.4 11T304-MF2 TM4000)

(SSV DCMT 11T304 F PMK 9030)

N6G97S2600T606M4M7M77

G0Z20

G0X53.5

G0Z5

G1X41.5A225F0.25

G1Z-11.2

G1X41.3

G1Z-33.2

G1X40

G0Z50

G0X250

G46

G0Z3

G0X51

G1Z0F0.1

G1X44.25

G1X42.26A225

G1Z-11.2

G1X42.18

G1Z-23.5

G1X42.037

G1Z-33.2

G1X39

G40

G0Z40

G27M9

(HORN 1.6MM)

N4G97S1550T404M4M7M77

G0Z40

G0X40

G0Z-12

G1X43.1F0.06

G0X41.28

G0Z-12.5

G1X42.28Z-12

G0X41.28

G0Z-11.5
G1X42.28Z-12
G0X36
G0Z-34
G1X43.13
G0X38
G0Z10
G27M9
N1003!
(SECO DCMT 0.4 11T304-MF TM4000)
(SSV DCMT 11T304 F PMK 9030)
N2G97S2600T202M4M8M77
G42
G0Z2
G0X48.425
G1A180F0.16
G1X49.05Z-20A-15
G1X49.05Z-69.9
G1X49.95
G1X51A170
G40
G26M9
T606
L1=L1+1
L2=L2+1
N1004!
N1005!
M0
M30
\$2
G59X0Z239.53
M77
G27
N2001!
(CNMG 0.4)
N7G97S2600T707M4M77M7
G42
G0Z0
G0X53
G1X34F0.12
G0Z60
G0X44Z1
G1X49.9A135F0.23
G1A180
G1X50Z-20A-15
G1X51
N2002!
G40
G26M9
N2003!
N2004!
N2005!
M0

M30
%

ДОДАТОК Б

СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ

Національний університет «Запорізька політехніка»
Кафедра комп'ютерних систем та мереж



Дипломна робота на тему:
«Розробка комп'ютеризованої системи
виготовлення деталі»

Виконавець: ст. гр. КНТ-512 Трубичин Д.С.

Керівник дипломної роботи: Тягунова М.Ю.

Рисунок Б.1 – Слайд 1

Об'єктом дослідження є процес автоматизованого виготовлення деталей із використанням комп'ютеризованих систем керування.

Предметом дослідження є програмно-апаратні засоби та методи побудови комп'ютеризованої системи виготовлення деталі на базі обладнання з числовим програмним керуванням.

Метою дипломної роботи є автоматизація процесу виготовлення механічної деталі за рахунок ефективного застосування комп'ютеризованих програмно-технічних засобів.

Рисунок Б.2 – Слайд 2



Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз предметної області та сучасних засобів автоматизації процесів виготовлення деталей на обладнанні з числовим програмним керуванням;
- розробити структуру комп'ютеризованої системи виготовлення деталі та алгоритм її функціонування;
- обґрунтувати вибір апаратного забезпечення системи та визначити склад її основних компонентів;
- реалізувати програмне забезпечення системи, зокрема алгоритм виготовлення деталі та керуючі програми для виробничого обладнання;
- провести тестування розробленої системи в реальних умовах та проаналізувати результати її роботи.

3

Рисунок Б.3 – Слайд 3



Основні методи виготовлення:

- виготовлення з безшовних труб;
- виготовлення з електрозварних труб;
- гнуття з листового прокату плюс зварювання;
- холодне/гаряче штампування (для окремих конструктивних варіантів);
- механічна обробка з заготовки (рідкісний варіант).

4

Рисунок Б.4 – Слайд 4

Компонувальна схема токарно-фрезерного центру



5

Рисунок Б.5 – Слайд 5

Місце робіт у технологічному процесі:

- завантаження та розвантаження ЧПК-верстатів (CNC tending);
- міжопераційне транспортування;
- обслуговування допоміжних операцій;
- контроль якості (у сучасних «розумних» лініях);
- маркування та пакування.

6

Рисунок Б.6 – Слайд 6

Вибір апаратного забезпечення системи

Є п'ять ключових виробників токарного обладнання:

- Traub (INDEX Group) – Німеччина;
- Okuma – Японія;
- Hwacheon - Південна Корея;
- DMG Mori - Німеччина / Японія;
- Haas Automation – США.

7

Рисунок Б.7 – Слайд 7

Є три ключові виробники промислових роботів та їхні позиції на ринку:

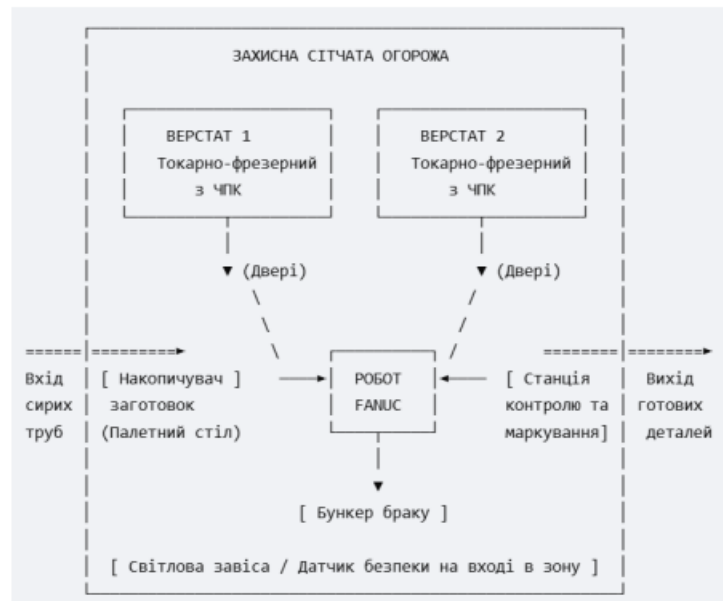
- Fanuc (Японія);
- KUKA (Німеччина);
- ABB (Швейцарія/Швеція).

Виробник	Головна сила	Сфера найшвидшої окупності	Вартість володіння
Fanuc	Безвідмовність та інтеграція	Обслуговування верстатів із ЧПК, пакування	Найнижча
KUKA	Відкритість та гнучкість ПЗ	Автомобілебудування, нестандартні ІТ-рішення	Висока
ABB	Точність траєкторії руху	Складне зварювання, фарбування, лазерна обробка	Висока

8

Рисунок Б.8 – Слайд 8

Схема планування ділянки лінії виробництва



9

Рисунок Б.9 – Слайд 9

Структура системи

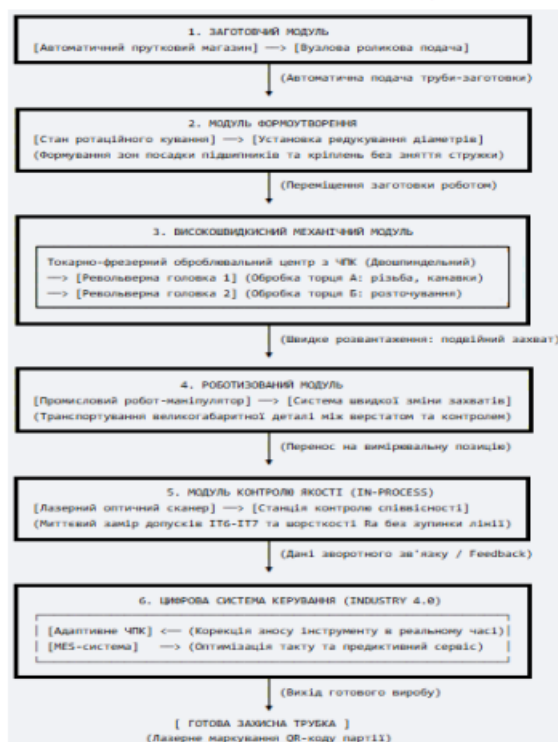
Для забезпечення максимальної швидкості без втрати точності виробнича лінія будується за модульним принципом із мінімальним втручанням людини:

- модуль подачі (автоматичний прутковий магазин (Bar feeder) для безперервної подачі трубної заготовки);
- модуль формоутворення (замінює глибоке різання, дозволяє швидко отримати точні перепади діаметрів із покращенням структури металу);
- модуль фінішної обробки (високошвидкісний токарно-фрезерний оброблювальний центр із ЧПК (синхронні шпинделі, обробка у розгоні);
- модуль контролю (лазерна вимірювальна станція, інтегрована безпосередньо у конвеєр).

10

Рисунок Б.10 – Слайд 10

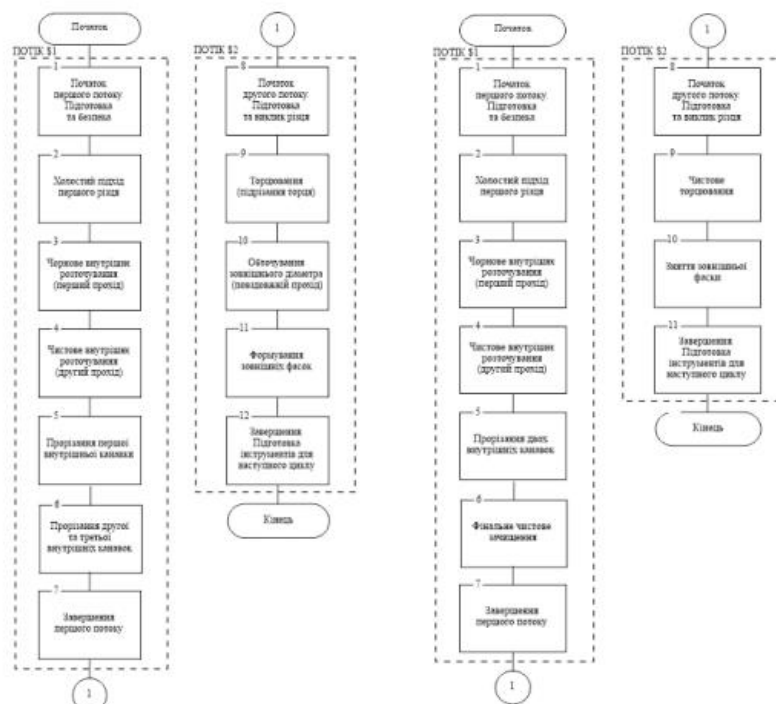
Технологічний ланцюг



11

Рисунок Б.11 – Слайд 11

Блок-схема алгоритму обробки першої та другої сторони деталі



12

Рисунок Б.12 – Слайд 12

Реалізація програмного забезпечення системи

Загалом програма виконує наступні операції:

- внутрішнє розточування;
- чистову обробку;
- прорізання канавок;
- зовнішнє точіння;
- формування конусів;
- контроль лічильників деталей.

13

Рисунок Б.13 – Слайд 13

Основні G-коди

Код	Призначення
G0	швидкий рух
G1	лінійна інтерполяція
G27	референтна позиція
G40	скасування компенсації
G42	компенсація різця
G97	постійні оберти

14

Рисунок Б.14 – Слайд 14

Основні M-коди

Код	Призначення
M4	обертання шпинделя
M7/M8	охолодження
M9	вимкнення MOP
M30	кінець програми
M0	пауза

15

Рисунок Б.15 – Слайд 15

Процес обробки деталі по інструментах (техпроцес):

- а) потік \$1 (перша сторона / основна обробка):
 - T606 - розточувальний різець Seco DCMT (робить внутрішнє розточування трубки, проходить чорновими та чистовими проходами внутрішній діаметр від ~39 мм до ~42.2 мм на глибину до 33.2 мм);
 - T404 - канавковий різець Horn 1.6 мм (прорізає внутрішні або зовнішні канавки шириною 1.6 мм на певній відстані (Z-12 та Z-34), вони потрібні для ущільнювальних кілець гумових манжет);
 - T202 - чистовий токарний різець Seco DCMT (обточує деталь ззовні на чистову, формує зовнішній діаметр 49.05 мм на довжину майже 70 мм (Z-69.9), робить фаски під кутами та виходить на фінальний діаметр 51 мм);
- б) потік \$2 (протишпиндель / порцювання): T707 - різець для зовнішньої обробки CNMG 0.4 (працює синхронно або послідовно, підрізає торець деталі (G1X34F0.12) для забезпечення точної довжини, знімає зовнішню фаску під кутом 135 градусів на діаметр 49.9 мм).

16

Рисунок Б.16 – Слайд 16

Тестування розробленої системи:

- віртуальне тестування (перевірка синтаксису та траєкторії);
- тестування на верстаті;
- інструментальний контроль (вимірювання результатів).

17

Рисунок Б.17 – Слайд 17

Тестова деталь



18

Рисунок Б.18 – Слайд 18

Висновки

У дипломній роботі проведено автоматизацію процесу виготовлення на прикладі таких деталей, як захисна трубка кермового механізму вантажівки, які є важливими складниками кермового керування.

Це дозволяє гарантувати абсолютну точність розмірів, виключити прихований брак у металі та забезпечити безпеку експлуатації автомобіля під високими навантаженнями.

Дякую за увагу!