

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітній ступінь)

на тему: Конструювання приводу головного руху вертикально-фрезерного верстата та розробка технологічного процесу виготовлення деталі «Вал ведучий РА 2.414»

Виконав: студент 4 курсу, групи МВс-41

спеціальності

133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

Іванський В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Кобельник В.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Кобельник В.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завід. кафедри

Крупа В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

АНОТАЦІЯ

Іванський В.П. Конструювання приводу головного руху вертикально-фрезерного верстата та розробка технологічного процесу виготовлення деталі «Вал ведучий РА 2.414» : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра : спец. 133 — галузеве машинобудування / кер. В.Р. Кобельник. Тернопіль : факультет інженерії машин, споруд та технологій, група МВс-41.: ТНТУ, 2026, 87 с.

У даній кваліфікаційній роботі бакалавра розроблено маршрутний технологічний процес механічної обробки деталі, зроблено огрунтування методу отримання заготовки, обрано відповідне технологічне обладнання та оснащення, розроблена операційна технологія, визначено різальний, допоміжний і вимірювальний інструменти. Проведено розрахунок режимів різання та технічних норм часу для операцій технологічного процесу механічної обробки деталі «Вал ведучий РА 2.414».

Проведено розрахунок кінематики приводу головного руху вертикально-фрезерного верстата, зпроектовано конструкцію автоматичної коробки швидкостей верстату, подано розгортку та згортку коробки. Розроблено конструкцію верстатного пристосування.

Ключові слова: вал, вертикально-фрезерний верстат, привід головного руху, коробка швидкостей, фреза.

Ivanskyi V.P. Design of the main drive of a vertical milling machine and development of the manufacturing process for the part «Driving shaft RA 2.414». 133 – Industrial engineering; Ternopil Ivan Puluj National Technical University; Ternopil, 2026, 87 p.

In this bachelor's qualification paper, a routing technological process for machining the part has been developed, the method for obtaining the blank has been justified, appropriate technological equipment and tooling have been selected, the

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Іванський В.</i>			<i>Анотація</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Кобельник В.</i>					4	2
<i>Реценз.</i>						<i>ТНТУ, МВс-41 м.Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крупа В.</i>						

operational technology has been developed, and the cutting, auxiliary, and measuring tools have been determined. The calculation of cutting conditions and technical time standards for the operations in the technological process of machining the «Driving shaft RA 2.414» part has been carried out.

The calculation of the kinematics of the main motion drive of a vertical milling machine has been conducted. The design of the automatic gearbox for the machine tool has been developed, and the developed and folded views of the gearbox have been presented. The design of the machine tool fixture has been developed.

Keywords: shaft, vertical milling machine, main motion drive, gearbox, milling cutter.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		5

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	11
1.1 Характеристика об'єкту виробництва, його службового призначення та аналіз технічних вимог до виготовлення.....	11
1.2 Розробка технологічної схеми складання вузла	12
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	15
2.1 Опис конструкції, службового призначення та аналіз технічних вимог до деталі	15
2.2 Характеристика матеріалу деталі	19
2.3 Визначення типу виробництва і розміру партії деталей.....	20
2.4 Вибір і обґрунтування методу одержання заготовки	21
2.5 Розробка маршрутного технологічного процесу	26
2.5.1 Вибір технологічного обладнання і оснащення	28
2.5.2 Визначення міжопераційних припусків і проміжних розмірів	30
2.5.3 Розробка операційної технології.....	32
2.5.4 Вибір різального, допоміжного та контрольно- вимірного інструменту	34
2.5.5 Вибір режимів різання	39
2.5.6 Розрахунок технічних норм часу	45
2.6 Обґрунтування вибраного оснащення на операцію.....	49
2.6.1 Призначення, будова і принцип роботи пристосування ..	48
2.6.2 Вибір схеми базування і розрахунок похибки базування	50
2.6.3 Розрахунок сили затиску	51
3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	54
3.1. Аналіз верстата-аналога	54
3.2 Кінематичний розрахунок приводу	58

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Іванський В.			<i>Зміст</i>	Лім.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кобельник В.					6	2
Реценз.						<i>ТНТУ, МВС-41 м.Тернопіль</i>		
Н. Контр.		Кобельник В.						
Затверд.		Крупа В.						

3.3 Розрахунок елементів привода головного руху	62
3.3.1 Проектний розрахунок зубчастих коліс	62
3.3.2 Перевірочний розрахунок зубчастих коліс	63
3.3.3 Проектний розрахунок валів	64
3.4 Перевірочний розрахунок двоопорних валів	65
3.5 Вибір підшипників кочення	67
3.3.6 Перевірочний розрахунок шпонкового з'єднання	68
3.3.7 Перевірочний розрахунок шліцевих з'єднань	70
3.3.8 Перевірочний розрахунок підшипників кочення	71
3.4. Організація системи змащування	72
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	75
ВИСНОВКИ	81
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	82
ДОДАТКИ	88

ВСТУП

Сучасний вектор промислового розвитку вимагає від індустріального сектора повного переформатування матеріально-технічної бази. Головним індикатором економічної стабільності та технологічного суверенітету будь-якої держави є рівень розвитку її машинобудівного комплексу. Ця галузь виконує функцію інтелектуального та матеріального локомотива: вона трансформує наукові відкриття у реальні засоби виробництва, забезпечуючи автоматизованою технікою, енергетичними машинами та оборонними системами всі суміжні галузі промисловості.

В умовах жорсткої ринкової конкуренції виникає гостра потреба у переході від екстенсивних методів господарювання до інтенсивних. Це означає, що вітчизняні підприємства мають відмовитися від застарілих, енергомістких технологій на користь наукомісткого виробництва з високою доданою вартістю. Без фундаментального оновлення засобів праці неможливо інтегрувати промисловість у світовий розподіл праці та забезпечити випуск конкурентоспроможних виробів.

Ефективне функціонування машинобудування нерозривно пов'язане зі станом верстатобудівної індустрії. Прогресивність верстатного парку визначає межі можливостей усього виробництва. Будь-який складний механізм чи деталь починається з металообробного обладнання, яке є базовим інструментом для матеріалізації конструкторської думки. Технічний рівень верстатів, їхній експлуатаційний ресурс, геометрична точність та динамічна жорсткість безпосередньо впливають на кінематичні та міцнісні характеристики майбутніх машин.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Вступ</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Іванський В.</i>					8	3
<i>Перевір.</i>		<i>Кобельник В.</i>				<i>ТНТУ, МВс-41 м.Тернопіль</i>		
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крупа В.</i>						

Сучасна металообробка стикається із суттєвими викликами: різким скороченням життєвого циклу виробів, потребою частішої зміни номенклатури деталей та впровадженням висококоміційних конструкційних матеріалів. У таких умовах металообробне обладнання розглядається не просто як ізольована одиниця техніки, а як центральна ланка інтегрованої гнучкої виробничої системи. Рівень автоматизації цього обладнання визначає швидкість адаптації підприємства до нових замовлень та формує загальну траєкторію розвитку інженерної думки в країні.

Серед різноманітних методів механічного формоутворення особливе місце посідає фрезерування, а відповідно — фрезерні верстати, які за своєю універсальністю та кінематичним потенціалом є незамінними при обробці складних просторових контурів. Сучасне фрезерне обладнання вийшло далеко за межі традиційного створення плоских поверхонь чи прорізання пазів. Сьогодні воно є високотехнологічним комплексом, здатним замінити собою кілька суміжних операцій (зокрема, точіння, свердління, а в деяких випадках — навіть шліфування), забезпечуючи комплексне виготовлення корпусних та фасонних деталей за мінімальну кількість переходів.

У контексті аналізу економічної ефективності виробництва, фрезерні верстати відіграють вирішальну роль у мінімізації трудомісткості виготовлення продукції. Трудомісткість є дзеркалом досконалості технологічного процесу; вона акумулює в собі всі часові витрати — від безпосереднього зняття стружки до маніпуляцій із заготовкою. Використання сучасних багатокоординатних фрезерних оброблювальних центрів дозволяє радикально скоротити цей показник завдяки наступним чинникам:

Максимальне поєднання переходів: виконання чорнових та фінішних етапів обробки багатьох поверхонь з одного технологічного установа, що нівелює час на міжопераційну логістику всередині цеху.

Впровадження концепції високодинамічного фрезерування: суттєве збільшення швидкостей різання та подач при зменшенні глибини різання, що

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		9

кардинально знижує основний технологічний час і зменшує теплове навантаження на деталь.

Автоматизація допоміжних циклів: застосування систем автоматичної зміни інструментальних блоків, автоматизоване вимірювання геометричних параметрів деталі безпосередньо на робочому столі верстата за допомогою вимірювальних щупів.

Підвищення коефіцієнта використання обладнання: мінімізація підготовчо-заключного часу завдяки швидкому програмному переналагодженню, що є критично важливим для умов дрібносерійного та серійного виробництва.

Таким чином, оптимізація структури технологічних операцій та раціональний вибір режимів роботи фрезерного обладнання є ключовими важелями для зниження собівартості та трудомісткості виробів. Дана робота присвячена проєктуванню прогресивного технологічного процесу та оснащення, що дозволить повною мірою реалізувати потенціал сучасного верстатного парку та підвищити загальну ефективність машинобудівного виробництва.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		10

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика об'єкта виробництва, його службове призначення та аналіз технічних вимог до виготовлення

Конструктивно привід різального апарату функціонує як механічний редуктор, тому до процесів його механічної обробки та складання висуваються стандартні вимоги, що діють для циліндричних і конічних редукторних вузлів. Виготовлення виробу має здійснюватися у суворій відповідності до затвердженої конструкторської документації, робочих креслень та галузевих технічних умов для даного класу обладнання.

Спроектований вузол повинен гарантувати збереження 90%-го експлуатаційного ресурсу, визначеного паспортними даними, в умовах короткочасних пікових навантажень. Такі перевантаження зазвичай виникають під час запуску привода і можуть перевищувати номінальний крутний момент щонайменше у два рази. Допустима кількість пускових циклів для вхідного вала, гранична частота циклічних перевантажень в одиницю часу, а також загальна тривалість їхньої дії регламентуються індивідуальними технічними специфікаціями та експлуатаційною документацією на цей тип привода.

Критерії шорсткості поверхонь зачеплення:

Для евольвентних зубчастих коліс зовнішнього зачеплення з модулем обробки до 5 мм включно параметр шорсткості робочих профілів зубів повинен становити не більше 1,25 мкм;

При використанні зубчастих коліс із модулем понад 5 мм, а також для валів-шестерень (з модулем менше 5 мм), у яких діаметр впадин є меншим за діаметр суміжних опорних шийок, показник шорсткості обмежується значенням 2,5 мкм;

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Іванський В.</i>			<i>Загальна частина</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Кобельник В.</i>					11	4
<i>Реценз.</i>						<i>ТНТУ, МВС-41 м.Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крупа В.</i>						

Шорсткість поверхонь западин та перехідних кривих профілю зубів не повинна виходити за межі 40 мкм.

Геометричні вимоги до корпусних елементів: Параметри номінальних діаметрів та граничні відхилення наскрізних отворів під кріпильні (фундаментні) болти вибираються відповідно до загальних машинобудівних норм для нарізних з'єднань. Розташування осей цих отворів обмежується регламентованим позиційним допуском.

Показники відхилення від паралельності або перпендикулярності геометричної осі вихідного (тихохідного) вала відносно базової площини основи корпусу встановлюються за нормованими ступенями точності:

за 12-м ступенем точності — для приводів другої категорії точності;

за 10-м ступенем точності — для приводів першої категорії точності.

1.2 Розробка технологічної схеми складання вузла

Послідовність формування складальних одиниць та загального компонування механізму «Привід ріжучого апарату» викладено у формі описового маршрутного технологічного процесу за наступними операціями:

Операція 005. Комплектувальна

На цьому етапі здійснюється підбір та перевірка деталей у суворій відповідності до специфікації виробу. Після контролю комплектації весь набір вузлів і деталей транспортується на складальну ділянку до безпосереднього робочого місця.

Операція 010. Підготовча

Виконується попереднє очищення поверхонь. Усі комплектуючі обдуваються стисненим повітрям для видалення залишків мастила чи пилу, після чого проводиться їх остаточна підготовка до монтажу.

Операція 015. Складання вузла ведучого вала (ск2)

Технологічний процес починається з фіксації вала (дет. 2) у спеціальному складальному пристосуванні. Далі послідовно виконується

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		12

монтаж підшипника кочення (дет. 18), нагвинчування та затягування кріпильної гайки (дет. 16) і встановлення фіксувальної скоби (дет. 10). Після цього монтується другий підшипник (дет. 19), фіксується стопорна скоба (дет. 24) та проводиться обов'язкова перевірка плавності й легкості ходу обох підшипникових вузлів.

Операція 020. Встановлення ведучого вала

На робочому стенді базується та надійно закріплюється корпус редуктора (дет. 1). Після цього заздалегідь зібраний підвузол ведучого вала (ск2) монтується у своє проектне положення всередині корпусу.

Операція 025. Монтаж зовнішніх елементів ведучого вала

Проводиться встановлення торцевої кришки (дет. 11) на корпус, після чого в її отвори вкручуються та затягуються ущільнювальні різьбові пробки (дет. 12 і дет. 13).

Операція 030. Складання вузла вала-шестерні (ск5)

Вал (дет. 5) фіксується у тримачі. Потім на нього запресовується підшипник (дет. 21), встановлюється дистанційне кільце (дет. 8), монтується сама шестерня (дет. 6) та другий підшипник (дет. 20). Завершується підвузол монтажем стопорної шайби (дет. 29) та затягуванням гайки (дет. 17).

Операція 035. Встановлення вала-шестерні

Корпус привода (дет. 1) знову фіксується на стенді, і в нього акуратно встановлюється повністю зібраний комплект вала-шестерні (ск5).

Операція 040. Монтаж зовнішніх деталей вала-шестерні

Для забезпечення фіксації та герметичності вузла вала-шестерні виконується встановлення кріпильного болта (дет. 30) та загвинчування технологічної пробки (дет. 26).

Операція 045. Складання тихохідного вала (ск7)

Процес передбачає закріплення тихохідного вала (дет. 21) з наступним запресовуванням підшипника (дет. 31) та встановленням упорного кільця (дет. 22). Далі послідовно монтується стопорна шайба (дет. 32), загвинчується пробка (дет. 27), нагвинчується та фіксується гайка (дет. 28) і вкручується болт

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		13

(дет. 15). Операція завершується обов'язковим ручним контролем обертання підшипників та сателітів на валу.

Операція 050. Встановлення тихохідного вала

Корпусна деталь (дет. 1) закріплюється на робочому місці, після чого зібрана конструкція тихохідного вала (ск7) монтується у відповідні посадкові гнізда корпусу.

Операція 055. Оснащення вихідного кінця вала

Для підготовки редуктора до передачі крутного моменту у шпонковий паз встановлюється призматура (шпонка, дет. 24), насаджується привідний шків (дет. 3), монтується кінцева притискна шайба (дет. 25) і весь вузол надійно фіксується кріпильним болтом (дет. 14).

Операція 060. Контрольна

На фінальній стадії здійснюється технічний контроль складеного виробу шляхом перевірки легкості, рівномірності та плавності обертання тихохідного вала від руки. Заїдання чи сторонні шуми не допускаються.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		14

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Опис конструкції, службового призначення та аналіз технічних вимог до деталі

Об'єктом проектування є деталь «Вал ведучий РА 2.414». Головна функція цього виробу полягає у передачі крутного моменту за допомогою змонтованого на ньому зубчастого колеса. Зазначений вузол безпосередньо задіяний у приводному механізмі різального апарату, який входить до складу конструкції сільськогосподарської техніки.

За своїм конструктивним виконанням деталь належить до класу східчастих циліндричних валів. Вона містить дві закриті шпонкові канавки, що мають ширину 8 мм. Крім того, на одному з торців деталі передбачено виконання нарізного отвору М10 та технологічного отвору діаметром 4 мм. Відповідно до загальноприйнятої класифікації та кодування конструкторських документів, за своїми геометро-технологічними ознаками цей виріб входить до класу валів та осей. Дана конструкція є класичною та широко використовується у загальному машинобудуванні.

Аналізуючи графічну частину виробу щодо точності та якості поверхонь, усі елементи, які підлягають механічній обробці, можна розподілити на основні (базові) та допоміжні:

До основних поверхонь належать:

Дві циліндричні шийки діаметром 34 мм (з полем допуску h7 та шорсткістю Ra 1,25 мкм), які призначені для встановлення опорних підшипників кочення.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Іванський В.</i>			<i>Технологічна частина</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Кобельник В.</i>					15	39
<i>Реценз.</i>						<i>ТНТУ, МВС-41 м.Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крупа В.</i>						

До допоміжних поверхонь належать:

два шпонкових пази завширшки 8 мм (з полем допуску Р9 та шорсткістю Ra 3,2 мкм), які забезпечують базування призматичних шпонок для передачі моменту;

Кільцева канавка завширшки 2 мм із граничним відхиленням плюс 0,25 мм (шорсткість Ra 6,3 мкм), необхідна для фіксації стопорного кільця;

Окремий отвір діаметром 4 мм;

Нарізний отвір М10 на торцевій ділянці.

Аналіз технічних вимог до поверхонь вала.

Нижче наведено детальні вимоги до точності (квалітетів) та параметрів шорсткості для кожної ділянки деталі:

Поверхні 1 та 2 (Торцеві ділянки): лінійний розмір становить 200 мм із граничним відхиленням мінус 1,15 мм; обробка ведеться за 14-м квалітетом із досягненням шорсткості Ra 6,3 мкм.

Поверхня 3 (Циліндрична шийка): посадковий діаметр 34 мм із полем допуску h7; точність відповідає високому 7-му квалітету, шорсткість поверхні обмежується значенням Ra 1,25 мкм.

Поверхня 4 (Циліндрична ділянка під нарізь): зовнішній діаметр М30; точність за 14-м квалітетом, параметр шорсткості становить Ra 6,3 мкм.

Поверхня 5 (Східчаста циліндрична частина): діаметр 40 мм із полем допуску h14; виконана за 14-м квалітетом із шорсткістю Ra 6,3 мкм.

Поверхня 6 (Циліндричний сегмент): діаметр 34 мм із полем допуску h14; точність за 14-м квалітетом, шорсткість поверхні Ra 6,3 мкм.

Поверхня 7 (Знижений циліндричний ступінь): діаметр 30 мм із полем допуску h14; виготовляється за 14-м квалітетом із шорсткістю Ra 6,3 мкм.

Поверхня 8 (Циліндричний сегмент): діаметр 34 мм із полем допуску h14; точність відповідає 14-му квалітету, показник шорсткості Ra 6,3 мкм.

Поверхня 9 (Максимальний циліндричний ступінь): діаметр 40 мм із полем допуску h14; точність за 14-м квалітетом, якість поверхні Ra 6,3 мкм.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		16

Поверхня 10 (Друга підшипникова шийка): посадковий діаметр 34 мм із полем допуску h7; висока точність за 7-м квалітетом, чиста шорсткість Ra 1,25 мкм.

Поверхня 11 (Внутрішній нарізний отвір): параметри нарізі M30 на довжині 30 мм; обробка за 14-м квалітетом із шорсткістю Ra 6,3 мкм.

Поверхня 12 (Технологічний отвір): внутрішній діаметр 4 мм із полем допуску h14 на глибині 10 мм; загальна довжина ділянки становить 30 мм, точність за 14-му квалітетом.

Поверхні 13, 14, 15, 16 (Перехідні фаски): мають лінійні розміри 1x45 градусів, 1,6x45 градусів та дві фаски 2x45 градусів відповідно; усі обробляються за 14-м квалітетом до досягнення шорсткості Ra 6,3 мкм.

Поверхня 17 (Торцеве обмеження): діаметр ступеня становить 40 мм; точність за 14-м квалітетом, шорсткість поверхні Ra 6,3 мкм.

Поверхня 18 (Внутрішній торець ступеня): лінійний координатор 78 мм із відхиленням мінус 0,74 мм; обробка за 14-м квалітетом, параметр Ra 6,3 мкм.

Поверхня 19 (Суміжний торець): діаметр кола становить 40 мм; витримується за 14-м квалітетом із шорсткістю Ra 6,3 мкм.

Поверхня 20 (Проміжний торець): лінійний розмір 50 мм із граничним відхиленням мінус 0,62 мм; виготовляється за 14-м квалітетом із якістю поверхні Ra 6,3 мкм.

Поверхні 21 та 22 (Шпонкові пази): ширина пазів дорівнює 8 мм із полем допуску P9; точність виконання за 9-м квалітетом, шорсткість бічних стінок становить Ra 3,2 мкм.

Поверхня 23 (Фіксувальна канавка): ширина прорізу 2 мм із допуском плюс 0,25 мм; точність за 9-м квалітетом, параметр шорсткості дна та стінок становить Ra 3,2 мкм.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		17

2.2 Характеристика матеріалу деталі

Відповідно до технічних вимог креслення, заготовку для ведучого вала отримують із сортового прокату якісної вуглецевої конструкційної сталі марки Сталь 45.

Елементний хімічний склад матеріалу (у відсотковому співвідношенні):

Вміст кремнію (Si) перебуває в межах від 0,17% до 0,37%;

Частка марганцю (Mn) становить від 0,5% до 0,8%;

Кількість хрому (Cr) не перевищує 0,25%;

Вміст нікелю (Ni) обмежується значенням до 0,25%;

Домішки сірки (S) допускаються в обсязі не більше 0,04%;

Вміст фосфору (P) жорстко обмежений значенням до 0,035%.

Комплекс механічних властивостей матеріалу Сталь 45:

Опір руйнуванню (гранична міцність) (σ_b , МПа) становить 730 МПа;

Границя плинності матеріалу ($\sigma_{0,2}$, МПа) дорівнює 540 МПа;

Відносне видовження заготовки під час розтягування (δ , %) становить 16%;

Відносне звуження площі поперечного перерізу (ψ , %) дорівнює 45%.

Промислове застосування та технологічні особливості:

Ця марка сталі активно використовується для виробництва широкого спектра навантажених деталей машин: шпинделів, розподільних та колінчастих валів, валів-шестерень, циліндрів, кулачків, а також різноманітного кріплення. Вона чудово підходить для деталей, що зазнають нормалізації, покращення (гартування з наступним високим відпуском) або поверхневого термічного зміцнення струмами високої частоти, коли від матеріалу вимагається підвищена міцність та зносостійкість.

Сталь 45 характеризується високою якістю обробки різанням на металорізальних верстатах, що дозволяє досягати низької шорсткості, та забезпечує чудові експлуатаційні параметри готового виробу. Проте, матеріал належить до категорії важкозварювальних, що слід враховувати при

					КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

проектуванні. Оцінюючи умови роботи привода та наведені фізико-механічні характеристики, можна зробити висновок, що вибір даного матеріалу є повністю обґрунтованим та раціональним.

2.3 Визначення типу виробництва та розміру партії деталей

Тип виробництва визначається на основі маси деталі (1,28 кг) та заданої річної програми випуску ($N = 10000$ шт./рік). Згідно з нормативними даними, таке виробництво класифікується як середньосерійне.

Загалом класифікація типів виробництва залежить від річного обсягу випуску та маси деталей:

Одиничне: випускається до 5 шт. (для великих деталей масою понад 50 кг), до 10 шт. (для середніх деталей від 1 до 50 кг) та до 100 шт. (для дрібних деталей масою до 1 кг).

Серійне: випускається від 5 до 1000 шт. (великі), від 10 до 5000 шт. (середні) та від 100 до 50000 шт. (дрібні).

Масове: випускається понад 1000 шт. (великі), понад 5000 шт. (середні) та понад 50000 шт. (дрібні).

Характерні ознаки середньосерійного виробництва:

Організація процесу: предметно-потокова.

Розміщення обладнання: за послідовністю технологічного процесу.

Кваліфікація робітників: різного рівня.

Повторюваність операцій: періодична.

Технологічні процеси: типові, маршрутно-операційні.

Обладнання: універсальне та спеціалізоване.

Оснащення: універсальне та збірно-розбірне.

Інструмент: різальний - універсальний і спеціальний; вимірювальний - шаблони та калібри.

Заготовки: прокат, відливки, штамповки, поковки.

Точність: досягається методом часткової взаємозамінності.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		20

Собівартість продукції: середня.

Оптимальний розмір партії деталей розраховується з урахуванням річної програми ($N = 10000$ шт.), необхідного запасу деталей на складі для безперебійної роботи складального цеху ($a = 5$ днів) та кількості робочих днів у році ($F = 257$ днів).

$$n = \frac{N \cdot a}{F} \quad (2.1)$$

Деличини оптимальної партії n :

$$n = \frac{10000 \cdot 5}{257} = 1850,98 \approx 1851 \text{ шт.}$$

Розрахункова величина оптимальної партії становить приблизно 1851 шт.

2.4 Вибір та обґрунтування методу отримання заготовки

На вибір методу виготовлення заготовки безпосередньо впливають конструкція деталі, її матеріал та обсяг випуску. Якщо деталь можна отримати кількома способами, проводиться техніко-економічний аналіз для вибору найоптимальнішого варіанту.

Критерії вибору методу отримання заготовки:

1. Техніко-економічне обґрунтування (порівняння собівартості).
2. Розрахунок коефіцієнта використання матеріалу.

Перевага завжди надається тому методу, який забезпечує найнижчу технологічну собівартість. Якщо витрати в обох варіантах виявляються однаковими, обирають той, що має вищий коефіцієнт використання матеріалу.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

2.4.1 Техніко-економічне обґрунтування вибору заготовки

Цей етап полягає у визначенні та порівнянні собівартості різних типів заготовок. З огляду на конструкцію, матеріал деталі (сталь 45) та середньосерійний тип виробництва, для даної деталі розглядаються два варіанти отримання заготовок з круглого прокату В32 з припуском на обробку торців:

Розрізання прокату різцем на токарно-відрізному верстаті.

Розрізання прокату стрічковою пилою.

Аналіз показує, що розрізання різцем дозволяє витримати розмір заготовки з точністю від 0,3 до 0,8 мм, що повністю задовольняє вимоги креслення. Водночас стрічкова пила забезпечує точність від $\pm 1,5$ до ± 5 мм, що вимагає зменшення припусків на чорнову обробку торців для досягнення потрібних параметрів.

Параметри припусків та розмірів для кожного варіанту:

Варіант 1: Заготовка з прокату, розрізана різцем

Для поверхні розміром 200h14: параметр шорсткості Rz80, допуск заготовки становить 0,52 мм, загальний припуск - 0 мм. Кінцевий розмір заготовки: 200_{-0,52} мм.

Для поверхні розміром діаметр 40h14: параметр шорсткості Rz80, допуск заготовки становить 0,7 мм, загальний припуск - 4 мм (2 × 2,0). Кінцевий розмір заготовки: діаметр 44_{-0,7} мм.

Варіант 2: Заготовка з прокату, відрізана стрічковою пилою

Для поверхні розміром 200h14: параметр шорсткості Rz80, допуск заготовки становить 3,0 мм, загальний припуск - 3 мм (1,5 × 2). Кінцевий розмір заготовки: 200 \pm 1,5 мм.

Для поверхні розміром діаметр 40h14: параметр шорсткості Rz80, допуск заготовки становить 0,7 мм, загальний припуск - 4 мм (2 × 2,0). Кінцевий розмір заготовки: діаметр 44-0,7 мм.

Маса заготовки зі сталі 45 визначається за формулою:

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		22

$$Q_{заг} = V_{заг} \cdot \rho, \quad (2.1)$$

де:

$V_{заг}$ – об'єм заготовки, $см^3$;

$\rho = 7,8 \text{ г/см}^3$ – густина матеріалу (сталь 45).

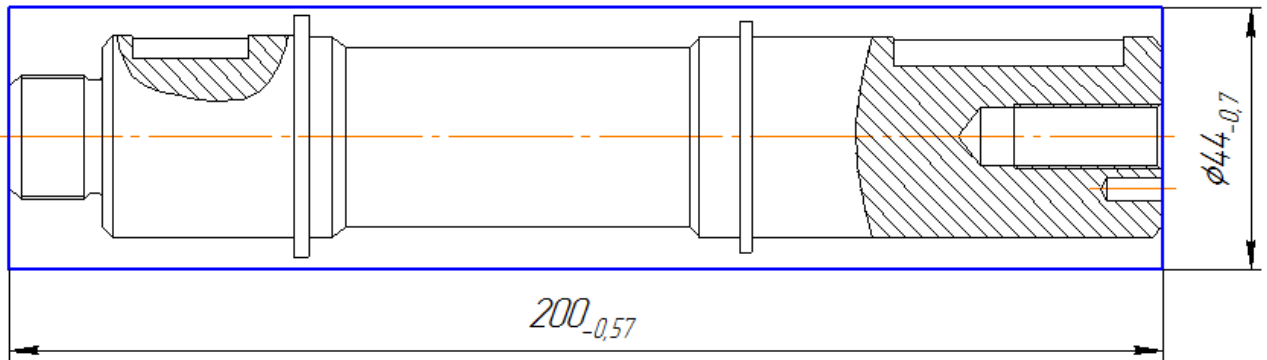


Рисунок 2.1 – Ескіз заготовки отриманої з прокату розрізаного різцем

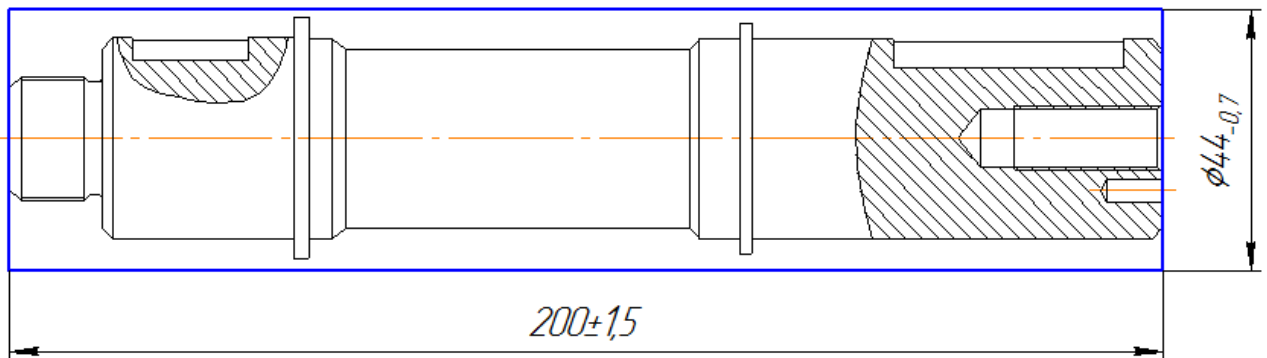


Рисунок 2.2 – Ескіз заготовки отриманої прокату розрізаного пилою

Порахуємо об'єми заготовок обох варіантів заготовок які мають форму циліндрів.

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot L, \quad (2.2)$$

					КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Об'єм заготовки виготовленої відрізанням різцем:

$$V_{заг1} = \frac{\pi D_1^2}{4} \cdot L_1 = \frac{3,14 \cdot 4,40^2}{4} \cdot 20,050 = 304,711 \text{ см}^3$$

Об'єм заготовки виготовленої з прокату відрізаного стрічковою пилою:

$$V_{заг2} = \frac{\pi D_2^2}{4} \cdot L_1 = \frac{3,14 \cdot 4,40^2}{40} \cdot 20,150 = 306,231 \text{ см}^3$$

Визначаємо масу заготовки виготовленої відрізанням різцем:

$$Q_{заг1} = V_{заг1} \cdot \rho = 304,711 \cdot 7,80 = 2370 \text{ г} = 2,37 \text{ кг}$$

Визначаємо масу заготовки виготовленої з прокату відрізаного стрічковою пилою:

$$Q_{заг2} = V_{заг2} \cdot \rho = 306,231 \cdot 7,80 = 2388 \text{ г} = 2,38 \text{ кг}$$

Собівартість заготовок за формулою [2]:

$$C_{заг} = Q_{заг} \cdot S - \frac{(Q_{заг} - Q_{дет}) \cdot S_{відх}}{1000}, \text{ грн.} \quad (2.3)$$

де $Q_{заг}$ – маса заготовки, кг;

$Q_{дет}$ – маса деталі, кг;

$S_{відх} = 3250$ грн/т– базова вартість 1 тони відходів;

S – ціна 1 кілограма заготовки, грн.

Базова ціна однієї тони гарячекатаного прокату становить 48 000 грн

Тоді $S = 48000 / 1000 = 48$ грн/кг.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Підставивши вибрані значення елементів формули, отримаємо собівартість заготовок:

$$C_{\text{заг1}} = Q_{\text{заг1}} \cdot S - \frac{(Q_{\text{заг1}} - Q_{\text{дет}}) \cdot S_{\text{відх}}}{1000} = 2,37 \cdot 48 - \frac{(2,370 - 1,280) \cdot 3250}{1000} = 95,21 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{заг2}} = Q_{\text{заг2}} \cdot S - \frac{(Q_{\text{заг2}} - Q_{\text{дет}}) \cdot S_{\text{відх}}}{1000} = 2,38 \cdot 48 - \frac{(2,380 - 1,280) \cdot 3250}{1000} = 98,4 \text{ грн.}$$

2.4.2 Вибір заготовки за коефіцієнтом використання матеріалу

Коефіцієнт використання матеріалу визначаємо за формулою:

$$K_{в.м.} = Q_{\text{дет}} / Q_{\text{заг}} \quad (2.4)$$

Для заготовки виготовленої відрізанням різцем:

$$K_{в.м.} = 1,280 / 2,370 = 0,540$$

Для заготовки виготовленої з прокату відрізаного стрічковою пилою:

$$K_{в.м.} = 1,280 / 2,380 = 0,530$$

Основні показники розрахунку заносимо в таблицю 2.7

Таблиця 2.7 - Порівняльна таблиця методів одержання заготовки

Назва позиції	перший варіант	другий варіант
Вид заготовки	Прокат відрізаний різцем	Прокат відрізаний пилою
Маса заготовки, кг	2,37	2,38
Вартість заготовки, грн	95,21	98,4
$K_{в.м.}$	0,54	0,53

На основі проведеного аналізу встановлено, що перший варіант отримання заготовки (розрізання прокату різцем) є економічно доцільнішим.

Цей метод має низку переваг: забезпечує меншу собівартість виготовлення; гарантує вищий коефіцієнт використання матеріалу; повністю відповідає вимогам та рекомендаціям для середньосерійного типу виробництва із заданою програмою випуску.

Враховуючи ці фактори, саме заготовка з прокату, отримана відрізанням різцем, приймається як основна для подальшої розробки технологічного процесу механічної обробки деталі.

2.5 Розробка маршрутного технологічного процесу

Перед формуванням повного технологічного процесу необхідно визначити маршрут обробки деталі, тобто логічну послідовність технологічних операцій. Цей маршрут складається шляхом підбору оптимальних методів обробки для кожної поверхні.

Вибір методів базується на характеристиках вихідної заготовки, її габаритах, необхідній точності та якості готової деталі, а також на типі виробництва. Головна мета - обрати маршрут із найменшою кількістю переходів, який забезпечить найкоротший шлях до досягнення заданих розмірів, точності та шорсткості. Усі можливі варіанти додатково перевіряються на технологічну сумісність і можливість обробки кількох поверхонь за одну установку.

Процес розробки виконується у такій послідовності:

Визначення поверхонь заготовки, що потребують механічної обробки.

Вибір раціональних методів та стадій обробки для кожної поверхні з урахуванням таблиць економічної точності.

Формування фінального маршруту для середньосерійного виробництва деталі «вал», керуючись принципами постійності та суміщення баз.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		26

Затверджений маршрут обробки:

Операція 005. Фрезерно-центрувальна.

Підрізання та центрування торцевих поверхонь 1 і 2 у розмір $200_{-1,15}$; свердління центрових отворів.

Операція 010. Токарна з ЧПК.

Попереднє точіння поверхонь 5 і 9 у розмір діаметр $40,4_{-0,130}$.

Попереднє точіння поверхні 10 у розмір діаметр $35,55_{-0,62}$.

Остаточне точіння поверхонь 5 і 9 у розмір діаметр $40_{-0,62}$.

Напівчистове точіння поверхні 10 у розмір діаметр $35,1_{-0,160}$.

Остаточне точіння поверхні 10 у розмір діаметр $34,9_{-0,10}$.

Точіння торця 17 у розмір $72_{-0,74}$; нарізання фаски 13 розміром $1 \times 45^\circ$.

Попереднє точіння поверхні 3 у розмір діаметр $35,55_{-0,62}$; напівчистове точіння поверхні 3 у розмір діаметр $35,1_{-0,160}$; остаточне точіння поверхні 3 у розмір діаметр $34,9_{-0,10}$.

Підрізання торця 20 у розмір $50_{-0,62}$.

Попереднє точіння поверхні 4 у розмір діаметр $20,4_{-0,84}$; остаточне точіння поверхні 4 у розмір діаметр $20_{-0,52}$.

Нарізання фасок 16, 24 розміром $2 \times 45^\circ$; нарізання канавки 23 розміром $2+0,25$.

Точіння торця 18 у розмір $78_{-0,74}$.

Попереднє точіння поверхні 7 у розмір діаметр $30,4_{-0,84}$ та поверхні 6 у розмір діаметр $34,4_{-1}$.

Остаточне точіння поверхні 7 у розмір діаметр $30_{-0,52}$ та поверхні 6 у розмір діаметр $34_{-0,62}$; нарізання фаски 15 розміром $2 \times 45^\circ$; підрізання торця 19 у розмір $53_{-0,62}$.

Попереднє точіння поверхні 8 у розмір діаметр $34,4_{-1}$; остаточне точіння поверхні 8 у розмір діаметр $34_{-0,62}$.

Точіння торця 18 у розмір $78_{-0,74}$; нарізання фаски 14 розміром $2 \times 45^\circ$.

Нарізання різьби M20 на поверхні 4.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		27

Операція 015. Шпонково-фрезерна.

Послідовне фрезерування шпонкових пазів 19 та 20 у розмір 8P9 L=20, L=40.

Операція 020. Вертикально-свердлильна.

Центрування та свердління отвору 12 у розмір діаметр 4, L=10 мм.

Операція 025. Вертикально-свердлильна.

Свердління отвору 11 на глибину L=30 мм; зенкування фаски розміром 1x45°; нарізання різьби M10 в отворі 10 на довжину L=26 мм.

Операція 030. Термообробка.

Гартування поверхонь 3 і 10 до твердості HRC 55...60.

Операція 035. Круглошліфувальна.

Попереднє послідовне шліфування циліндричних поверхонь 3 і 10.

Операція 040. Круглошліфувальна.

Остаточне послідовне шліфування циліндричних поверхонь 3 і 10 у розмір діаметр 34h7.

Операція 045. Контрольна.

Перевірка розмірів на відповідність вимогам креслення.

2.5.1 Вибір і обґрунтування технологічного обладнання і оснащення

Вибір обладнання здійснюється на основі кількох ключових критеріїв:

Функціональне призначення: вид обробки, на який розрахований верстат згідно з його паспортом.

Габарити робочої зони: повинні відповідати розмірам заготовки з урахуванням габаритів пристосування.

Точність: здатність верстата стабільно забезпечувати необхідні допуски обробки.

Продуктивність та рівень автоматизації: відповідність вимогам середньосерійного виробництва.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		28

Пристосування обирається з огляду на технічні вимоги до деталі, обсяг партії, необхідну продуктивність, норми техніки безпеки та економічну доцільність виготовлення самого оснащення. Враховуючи конструктивні особливості деталі «вал», у цьому технологічному процесі застосовується таке обладнання та оснащення:

Операція 005 (Фрезерно-центрувальна)

Обладнання: Фрезерно-центрувальний напівавтомат моделі МР-71М.

Оснащення: Спеціальне пристосування з базуванням деталі на циліндр та опорою в торець.

Операція 010 (Токарна з ЧПК)

Обладнання: Токарний верстат з ЧПК моделі 16К20Ф3.

Оснащення: Плаваючий центр та задній обертовий центр.

Операція 015 (Шпонково-фрезерна)

Обладнання: Шпонково-фрезерний напівавтомат моделі 692М.

Оснащення: Спеціалізоване пристосування з гідрозатиском (деталь базується на призми з опорою в торець), що відповідає умовам серійного виробництва.

Операція 020 (Вертикально-свердлильна)

Обладнання: Вертикально-свердлильний верстат моделі 2Н135.

Оснащення: Спеціальне пристосування з опорою на призми та пневмозатиском.

Операція 025 (Вертикально-свердлильна)

Обладнання: Вертикально-свердлильний верстат моделі 2Н135.

Оснащення: Спеціальне пристосування з опорою на призми та пневмозатиском.

Операція 035 (Круглошліфувальна)

Обладнання: Круглошліфувальний верстат моделі 3М151, пристосований для врізного шліфування.

Оснащення: Жорсткий центр, напівцентр та повідковий хомутик.

Операція 040 (Круглошліфувальна - остаточна)

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		29

заготовка круг Ø42	Звичайна	Rz160	0,620	2.0	Ø36 _{-0,620}
Обробка циліндричної поверхні Ø34h7					
остаточне шліфування	6	Ra1,25	0,0160	0,450	Ø34 _{-0,016}
попереднє шліфування	8	Ra2,5	0,0330	0,450	Ø34,450 _{-0,033}
чистове точіння	10	Ra3,2	0,100	0,20	Ø34,90 _{-0,10}
напівчистове точіння	11	Ra6,3	0,160	0,450	Ø35,10 _{-0,160}
чорнове точіння	14	Ra25	0,620	6,405	Ø35,550 _{-0,620}
заготовка круг Ø42	Звичайна	Rz160	0,620	2,0	Ø42,0 _{-0,620}
Обробка циліндричної поверхні Ø34h14					
напівчистове точіння	14	Ra6,3	0,620	0,2x2=0,40	Ø34,0 _{-0,620}
чорнове точіння	15	Ra25	1,00	1,60	Ø34,40 _{-1,0}
заготовка круг Ø36	Звичайна	Rz160	0,620	2,0	Ø36,0 _{-0,620}
Обробка циліндричної поверхні Ø30h14					
напівчистове точіння	14	Ra6,3	0,520	0,2x2=0,40	Ø30,0 _{-0,520}
чорнове точіння	15	Ra25	0,840	5,60	Ø30,40 _{-0,840}
заготовка	Звичайна	Rz160	0,620	2,	Ø36,0 _{-0,620}

					КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

круг Ø36					
Обробка циліндричної поверхні Ø40h14					
напівчистове точіння	14	Ra6,3	0,620	0,1x2=0,40	Ø40,0-0,620
чорнове точіння	15	Ra25	1,00	1,60	Ø40,40-0,130
заготовка круг Ø42	Звичайна	Rz160	0,620	2,0	Ø42,0-0,620

2.5.3 Розробка операційної технології

Відповідно до завдання, розробка операційної технології виконується для однієї обраної операції та полягає у встановленні раціональної послідовності основних і допоміжних переходів. У цьому випадку розглядається операція 010 токарна з ЧПК.

Умови виконання операції:

Обладнання: Токарний верстат з ЧПК моделі 16К20Ф3.

Технологічна база: Необроблена зовнішня поверхня прокату.

Оснащення (пристосування): Спірально-рейковий трикулачковий патрон.

Послідовність переходів:

1. Встановити деталь.
2. Попередньо точити поверхні 5 і 9 у розмір $\text{Ø } 40,4_{-0,130}$.
3. Попередньо точити поверхню 10 у розмір $\text{Ø } 35,55_{-0,62}$.
4. Остаточньо точити поверхні 5 і 9 у розмір $\text{Ø } 40_{-0,62}$.
5. Напівчистове точіння поверхні 10 у розмір $\text{Ø } 35,1_{-0,160}$.
6. Остаточньо точити поверхню 10 у розмір $\text{Ø } 34,9_{-0,10}$. Точити торець 17 у розмір $72_{-0,74}$. Нарізати фаску 13 розміром $1 \times 45^\circ$.
7. Попередньо точити поверхню 3 у розмір $\text{Ø } 35,55_{-0,62}$.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

8. Напівчистове точіння поверхні 3 у розмір $\varnothing 35,1_{-0,160}$.
9. Остаточно точити поверхню 3 у розмір $\varnothing 34,9_{-0,10}$. Підрізати торець 20 у розмір $50_{-0,62}$.
10. Попередньо точити поверхню 4 у розмір $\varnothing 20,4_{-0,84}$.
11. Остаточно точити поверхню 4 у розмір $\varnothing 20_{-0,52}$. Нарізати фаску 16 розміром $2 \times 45^\circ$.
12. Нарізати канавку 23 у розмір $2^{+0,25}$.
13. Попередньо точити поверхню 7 у розмір $\varnothing 30,4_{-0,84}$, а також поверхню 6 у розмір діаметр $34,4_{-1}$.
14. Остаточно точити поверхню 7 у розмір $\varnothing 30_{-0,52}$ та поверхню 6 у розмір діаметр $34_{-0,62}$. Нарізати фаску 15 розміром $2 \times 45^\circ$ та підрізати торець 19 у розмір $53_{-0,62}$.
15. Попередньо точити поверхню 8 у розмір $\varnothing 34,4_{-1}$.
16. Остаточно точити поверхню 8 у розмір $\varnothing 34_{-0,62}$. Точити торець 18 у розмір $78_{-0,74}$ та нарізати фаску 14 розміром $2 \times 45^\circ$.
17. Нарізати різьбу M20 на поверхні 4.
18. Зняти деталь.
19. Провести контроль наступних розмірів: діаметр $40_{-0,62}$; діаметр $34,9_{-0,10}$; діаметр $20_{-0,52}$; діаметр $30_{-0,52}$; фасок $2 \times 45^\circ$ та різьби M20.

Різальний інструмент:

Токарний різець ISO SCLCR/R 2525 M12 із різальною пластиною ISO CNMG120408-MP.

Різець ISO СКJNR/R 2525 M16 із різальною пластиною KNUX1604.

Канавочний різець TGFR/R 2525-4.

Різьбовий токарний різець.

Вимірювальний інструмент:

Лінійка NIRO 300 (DIN 866B).

Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		33

Односторонній двограничний калібр-скоба для контролю розміру
 $\varnothing 34,9_{-0,10}$.

Односторонній двограничний калібр-скоба для контролю розміру
 $\varnothing 40_{-0,62}$.

2.5.4 Вибір різального, допоміжного та контрольно-вимірного інструменту

Проаналізувавши попередні пункти і виходячи із середньосерійного типу виробництва, вибраних методів обробки, типів верстатів, розмірів деталі, проводимо вибір різального, допоміжного та контрольно-вимірного інструментів та записуємо у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 — Вибір ріжучого, допоміжного та вимірного інструменту

Номер, назва операції та переходу	Інструмент		
	Ріжучий	Допоміжний	Вимірювальний
1	2	3	4
005 Фрезерно-центрувальна			
Перехід 2 Фрезерувати торці 1 і 2	Торцева фреза з твердосплавними пластинами $\varnothing 80$; $z=7$, $B=50$, F75AP-D80-27 DIN1835	Оправка з продовженою шпонкою і конічним хвостовиком DIN 2080	Лінійка NIRO 300, DIN 866B
Перехід 3 Свердлити центрові отвори	Свердло центрувальне 2317-0008		Лінійка NIRO 300, DIN 866B
010 Токарна з ЧПК			
Перехід 2. Точити поверхні 5 і 9 попередньо в розмір $\varnothing 40,4_{-0,130}$	Різець токарний ISO SCLCR/R 2525 M12 (чорновий правий).	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05

Продовження таблиці 2.2.

1	2	3	4
Перехід 3. Точити поверхню 10 попередньо в розмір $\varnothing 35,55_{-0,62}$.	Різець токарний ISO SCLCR/R 2525 M12 (чорновий правий). Ріжуча пластина ISO CNMG120408-MP	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-П-250-0,05
Перехід 4. Точити поверхні 5 і 9 остаточно в розмір $\varnothing 40_{-0,62}$	Різець ISO CKJNR/R 2525 M16 (чистовий правий). Різальна пластина KNUX1604	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-П-250-0,05 Калібр-скоба односторонній двохграничний $\varnothing 40_{-0,62}$
Перехід 5. Точити поверхню 10 напівчисто в розмір $\varnothing 35,1_{-0,160}$	Різець токарний ISO SCLCR/R 2525 M12 (чорновий правий). Різальна пластина ISO CNMG120408-MP	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-П-250-0,05
Перехід 6. Точити поверхню 10 остаточно в розмір $\varnothing 34,9_{-0,10}$. Точити торець 17 в розмір $72_{-0,74}$. Нарізати фаску 13 в розмір $1 \times 45^\circ$	Різець ISO CKJNR/R 2525 M16 (чистовий правий). Різальна пластина KNUX1604	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-П-250-0,05 Калібр-скоба односторонній двохграничний $\varnothing 34,9_{-0,10}$

1	2	3	4
Перехід 7. Точити поверхню 3 попередньо в розмір $\varnothing 35,55_{-0,62}$	Різець токарний ISO SCLCR/L 2525 M12 Різальна пластина ISO CNMG120408- MP	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-ІІ-250-0,05
Перехід 8. Точити поверхню 3 напівчисто в розмір $\varnothing 35,1_{-0,160}$	Різець ISO (контурний лівий) СКJNR/L 2525 M16 Різальна пластина KNUX1604	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-ІІ-250-0,05
Перехід 9. Точити поверхню 3 остаточно в розмір $\varnothing 34,9_{-0,10}$. Підрізати торець 20 в розмір $50_{-0,62}$	Різець ISO (контурний лівий) СКJNR/L 2525 M16 Різальна пластина KNUX1604	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-ІІ-250-0,05 Калібр-скоба односторонній двохграничний $\varnothing 34,9_{-0,10}$
Перехід 10. Точити поверхню 4 попередньо в розмір $\varnothing 20,4_{-0,84}$ Нарізати фаску 16 в розмір $2 \times 45^\circ$	Різець токарний ISO SCLCR/L 2525 M12 Різальна пластина ISO CNMG120408- MP	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-ІІ-250-0,05
Перехід 11. Точити поверхню 4 остаточно в розмір $\varnothing 20_{-0,52}$	Різець різьбовий.	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-ІІ-250-0,05 Калібр-скоба односторонній двохграничний $\varnothing 20_{-0,52}$

Перехід 16. Точити поверхню 8 остаточно в розмір $\varnothing 34-0,62$ точити торець 18 в розмір $78-0,74$ нарізати фаску 14	Різець ISO (контурний лівий) СКJNR/L 2525 M16 Різальна пластина KNUX1604	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 Калібр-скоба односторонній двохграничний $\varnothing 34-0,62$
Перехід 17. Нарізати різь М20 на поверхні 4	Різець різьбовий ГОСТ 18885-73.	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05
015 Шпонково-фрезерна			
Фрезерувати шпонкові пази 19, 20 послідовно в розмір 8P9 L=20, L=40.	Фреза шпонкова із циліндричним хвостовиком спеціальна $\varnothing 8P9$, L=60, l=11, z=2	Патрон цанговий 1-50-6-90 DIN 6349	Калібр пазовий 8P9 Штангенциркуль Тип CR 2032 250-0,05 DIN862
020 Вертикально-свердлильна			
Перехід 2 Центрувати отвір 12.	Свердло центрувальне HSS DIN 333A, d=2 мм	Патрон спеціальний з комплекту, 2шт	Штангенциркуль Тип CR 2032 250-0,05 DIN862
Перехід 3 Зенкувати фаску в розмір $1 \times 45^\circ$	Зенковка конічна ISO DIN 335	Патрон спеціальний з комплекту, 2шт	
Перехід 4 Свердлити отвір 12 $\varnothing 4$	Свердло спіральне $\varnothing 0$ L=105 DIN 338 тип N	Патрон спеціальний з комплекту, 2шт	
025 Вертикально-свердлильна			
Перехід 2 Свердлити отвір 11 в розмір $\varnothing 10H14$	Свердло спіральне $\varnothing 10$ L=135 DIN 338 тип N	Патрон спеціальний з комплекту, 2шт	Штангенциркуль Тип CR 2032 250-0,05 DIN862
Перехід 3 Нарізати різь М10 на глибину 26 мм	Мітчик різьбовий M10 TA157A6 ISO DIN 371		

035 Круглошліфувальна			
Шліфування циліндрів 3 і 10 послідовно попередньо в розмір	Круг абразивний ПП 600x30x305 25A25ПСМ 5K5 50м/с А1кл	Оправка з комплекту верстата	Штангенциркуль Тип CR 2032 250-0,05 DIN862
040 Круглошліфувальна			
Шліфування циліндрів 3 і 10 послідовно остаточно в розмір Ø34h7	Круг абразивний ПП 600x30x305 25A25ПСМ 5K5 50м/с А1кл	Оправка з комплекту верстата	Калібр-скоба односторонній двохграничний Ø34h7 DIN 2230

2.5.5 Розрахунок режимів різання.

За завданням розрахунок режимів різання необхідно провести табличним методом для трьох операцій, розроблених в п. 2.2. Для операцій і переходів дані зводимо в таблицю 2.6.

Визначаємо режими різання табличним методом для операції 010 фрезерно-центрувальна, перехід 2 – фрезерувати торці 1 і 2.

Для виконання операції прийнято інструмент – Торцева фреза з твердосплавними пластинами Ø80; z=7, B=50, F75AP-D80-27 DIN1835.

Довжину робочого ходу визначаємо за формулою:

$$L_{p.x.} = l_{piz} + y + l_{доd} \quad (2.5)$$

Де $L_{p.x.}$ = 45 мм – довжина різання згідно креслення деталі;

y – довжина підводу, врізання і перебігу інструменту, згідно [36] становить $y=4$ мм;

$l_{доd} = 0$ - додаткова довжина, пов'язана з налагодженням верстату.

Отже $L_{p.x.} = 49$ мм

Подача на оберт шпинделя:

$S_o=0.12$ мм/об згідно [37].

					КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Швидкість різання

$$V = V_{\text{табл}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \text{ м/хв}, \quad (2.6)$$

де $V_{\text{табл}} = 130$ м/хв - табличне значення швидкості різання, згідно [37]

С.46 табл.2.12;

$K_1 = 1,0$ - поправочний коефіцієнт, згідно [37];

$K_2 = 1,0$ - поправочний коефіцієнт, згідно [37];

$K_3 = 1,2$ - поправочний коефіцієнт, згідно [37].

Отже $V = 130 \cdot 1 \cdot 1,0 \cdot 1,2 = 156$ м/хв.

Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \text{ об/хв}. \quad (2.7)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 156}{3,14 \cdot 80} = 584 \text{ об/хв}$$

Згідно паспорту верстату приймаємо $n = 712$ об/хв.

Дійсна швидкість головного руху:

$$V_d = \frac{\pi D n_d}{1000}, \text{ м/хв}. \quad (2.8)$$

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 80 \cdot 712}{1000} = 190 \text{ м/хв}$$

Швидкість подачі визначаємо за формулою:

$$V_s = S_0 \cdot n_d, \text{ мм/хв}. \quad (2.9)$$

$$V_s = 0,12 \cdot 712 = 85,44, \text{ мм/хв}$$

Сила різання згідно [37] становить 5657 Н.

Потужність $N = 7,2$ кВт [37] з.

Основний (машинний) час на обробку:

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

$$T_o = \frac{L_{p,x.}}{V_s}, \text{ хв.} \quad (2.10)$$

$$T_o = \frac{45}{190} = 0,23, \text{ хв.}$$

Таблиця 2.3 - Зведена таблиця режимів різання

Номер, назва операції, зміст переходу	<i>t</i> , мм	<i>L</i> , мм	<i>i</i>	<i>Tm</i> , хв	<i>S_o</i> , мм/об	<i>V</i> , м/хв	<i>n</i> , об/хв	<i>S_{хв}</i> мм/х в	<i>T_o</i> , хв	<i>N</i> , кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
005. Фрезерно-центрувальна										
Перехід 2 Фрезерувати торці 1 і 2	2	45	1	90	0,12	156	712	85	0,23	7,2
Перехід 3 Свердлити центрові отвори	-	17,6	1	30	0,12	26,7	712	85	0,2	0,58
010. Токарна з ЧПК										
Перехід 2. Точити поверхні 5 і 9 попередньо в розмір Ø40,4-0,130	2	151	1	60	0,6	125	650	568	0,26	5,11
Перехід 3. Точити поверхню 10 попередньо в розмір Ø35,55-0,62.	2,5	72	1	60	0,6	125	1000	597	0,13	6,29
Перехід 4. Точити поверхні 5 і 9 остаточно в розмір Ø40- 0,62	0,2	81	1	60	0,3	100	800	239	0,3	0,25
Перехід 5. Точити поверхню 10 напівчисто в розмір Ø35,1-0,160	0,2	72	1	60	0,3	120	1000	327	0,21	0,3

Продовження таблиці 2.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перехід 6. Точити поверхню 10 остаточно в розмір $\varnothing 34,9-0,10$. Точити торець 17 в розмір 72-0,74. Нарізати фаску 13 в розмір 1x45°	0,1	72	1	60	0,3	100	900	273	0,26	0,13
Перехід 7. Точити поверхню 3 попередньо в розмір $\varnothing 35,55-0,62$	2,5	50	1	60	0,6	125	1000	298	0,16	0,16
Перехід 8. Точити поверхню 3 напівчисто в розмір $\varnothing 35,1-0,160$	0,2	50	1	60	0,3	120	1000	327	0,15	0,15
Перехід 9. Точити поверхню 3 остаточно в розмір $\varnothing 34,9-0,10$. Підрізати торець 20 в розмір 50-0,62	0,1	50	1	60	0,3	100	900	273	0,18	0,13
Перехід 10. Точити поверхню 4 попередньо в розмір $\varnothing 20,4-0,84$ Нарізати фаску 16 в розмір 2x45°	7,25	16	2	60	0,6	125	1000	682	0,15	8,87
Перехід 11. Точити поверхню 4 остаточно в розмір $\varnothing 20-0,52$	0,2	16	1	60	0,3	100	1200	950	0,1	0,42
Перехід 12. Нарізати канавку 23 в розмір 2+0,25	1	3	1	60	0,3	100	900	273	0,01	3,5

Продовження таблиці 2.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перехід 13. Точити поверхню 7 попередньо в розмір Ø30,4-0,84, поверхню 6 попередньо в розмір Ø34,4-1 Нарізати канавку 23 в розмір 2+0,25	3	68	1	60	0,6	125	900	597	0,24	7,44
Перехід 14. Точити поверхню 7 остаточно в розмір Ø30- 0,52, поверхню 6 остаточно в розмір Ø34-0,62, нарізати фаску 15 в розмір 2x45°, торець 19 в розмір 53-0,62.	0,2	68	1	60	0,3	100	900	281	0,23	0,25
Перехід 15. Точити поверхню 8 попередньо в розмір Ø34,4-1	3	6	1	60	0,6	125	900	597	0,1	7,44
Перехід 16. Точити поверхню 8 остаточно в розмір Ø34- 0,62 точити торець 18 в розмір 78-0,74 нарізати фаску 14 в розмір 2x45°	0,2	6	1	60	0,3	100	900	281	0,1	0,25
Перехід 17. Нарізати різь М20 на поверхні 4	1	40	-	60	3,5	20	200	742	0,12	0,32
015 Шпонково-фрезерна										
Фрезерувати шпонкові пази 19, 20 послідовно в розмір 8P9 L=20, L=40.	4	60	1	60	0,12	18	500	300	0,8	0,07

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ

Арк.

43

Продовження таблиці 2.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
020 Вертикально-свердлильна										
Перехід 2 Центрувати отвір 12.	1	2	1	30	0,1	10	710	95	0,01	0,05
Перехід 3 Свердлити отвір 12 Ø4 на глибину 10 мм	2	1	1	60	0,1	10	800	80	0,08	0,06
025 Вертикально-свердлильна										
Перехід 2 Свердлити отвір 11 в розмір Ø10H14	5	13	1	60	0,1	10	800	80	0,13	0,06
Перехід 3 Зенкувати фаску 1x45	0,5	10	1	60	0,1	10	800	80	0,02	0,06
Перехід 4 Нарізати різь М10 на глибину 26 мм	0,5	10	1	30	1	8	350	424	0,05	0,38
035 Круглошліфувальна										
Шліфування циліндрів 3 і 10 послідовно попередньо в розмір	0,2	122	-	-	0,3	18	125	0,3	0,42	0,38
040 Круглошліфувальна										
Шліфування циліндрів 3 і 10 послідовно остаточно в розмір Ø34h7	0,2	122	-	-	0,3	18	125	0,3	0,42	0,38

2.5.6 Розрахунок технічних норм часу.

Згідно завдання необхідно розрахувати норми часу для однієї операції, розробленої в п.2.6. Це операція 010 токарна з ЧПК.

Норма штучного часу при роботі на верстатах з ЧПК визначається за формулою згідно [37] за формулою:

$$T_{шт} = (T_{ц.а.} + T_{\delta}) \cdot \left(1 + \frac{\alpha_{т.о.} + \alpha_{о.о.} + \alpha_{в.}}{100} \right), \text{ хв} \quad (2.11)$$

де $T_{ц.а.}$ – час автоматизації роботи верстату по програмі, який складається з основного і допоміжного автоматичного часу;

T_{δ} – допоміжний час, який не перекривається допоміжним автоматичним часом;

$\alpha_{т.о.} + \alpha_{о.о.} + \alpha_{в.}$ – час на технічне та організаційне обслуговування робочого місця і час на відпочинок. Визначається у відсотках від оперативного часу. Становить 7% від оперативного [37] - час автоматичної роботи верстату по програмі складається з основного і допоміжного часу для переміщення робочих органів на швидкісному (холостому) русі.

Час автоматизації роботи верстату по програмі визначається за формулою:

$$T_{ц.а.} = T_0 + T_{х.р.} + T_{з.і.}, \text{ хв} \quad (2.12)$$

де:

T_0 – за сумою T_0 на переходах;

$T_{х.р.}$ – рух на швидкісній подачі складається із поздовжніх рухів (вісь Z) з швидкістю 4800 мм/хв та поперечних переміщень (по осі X) з швидкістю 2400 мм/хв;

$T_{з.і.}$ – час автоматизованої заміни інструменту. Оскільки в наладці 6 інструментів, $T_{з.і.} = 0,015 \cdot 6 = 0,09$ хв.

Врахувавши переміщення по осях

					КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

$$X = 1,8 + 4,9 + 0,2 + 7,35 + 1,3 = 15,55 \text{ мм}$$

$$T_{x.px} = 15,55 / 2400 = 0,01$$

Врахувавши переміщення по осях

$$Z = 53 + 100 + 16 + 3 + 50 + 16 + 2 = 240 \text{ мм}$$

$$T_{x.pz} = 240 / 4800 = 0,05$$

$$\text{Отже, } T_{ц.а.} = 2,7 + 0,06 + 0,09 = 2,85, \text{ хв}$$

Допоміжний час, який не перекривається допоміжним автоматичним часом, визначається за формулою:

$$T_{д.} = T_{о.} + T_{у.} + T_{вим.}, \text{ хв} \quad (2.13)$$

де

$T_{у.} = 0,13$ хв – час на встановлення і зняття деталі [37];

$T_{о.} = 0,39$ хв – час пов'язаний з виконанням операції [37];

$T_{вим.} = 0,25$ хв – час на вимірювання. Даний час перекривається часом автоматичної роботи і не враховується

Тоді

$$T_{д.} = 0,13 + 0,39 = 0,52, \text{ хв}$$

Оперативний час визначаємо за формулою:

$$T_{оп.} = T_{ц.а.} + T_{д.}, \text{ хв} \quad (2.14)$$

$$\text{Отже } T_{оп.} = 2,85 + 0,52 = 3,37, \text{ хв}$$

$$\text{Тоді } \alpha_{т.о.} + \alpha_{о.о.} + \alpha_{в.} = 1,69 \frac{7\%}{100\%} = 0,23 \text{ хв.}$$

Штучний час на виконання операції становить:

$$T_{шт.} = (2,85 + 0,52) \cdot (1 + 0,23) = 4,14 \text{ хв.}$$

Норма часу на виконання операції на одному верстаті з ЧПК визначається:

$$T_{шт.к.} = T_{шт.} + \frac{T_{п.з.}}{n}, \text{ хв} \quad (2.15)$$

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

де $T_{n.з.}$ – підготовчо заключний час на налагодження і настроювання верстату, визначаємо за формулою згідно [37]:

$$T_{nз} = T_{nз1} + T_{nз2} + T_{пр.обр}, \text{ хв} \quad (2.16)$$

де

$T_{nз1}$ – норма часу на організаційну підготовку, хв;

$T_{nз2}$ – норма часу на налагодження верстату, хв;

$T_{пробр}$ – норма часу на пробну обробку деталі.

$$T_{nз1} = 4 + 9 + 2 + 2 = 17 \text{ хв} [37];$$

$$T_{nз2} = 0,8 + 0,3 + 0,154 + 0,5 - 6 + 1,0 + 2,0 + 0,2 = 7,9 \text{ хв} [37];$$

$$T_{пробр} = 16 \text{ хв} [37].$$

$$\text{Тоді } T_{nз} = 17 + 7,9 + 16 = 40,9 \text{ хв.}$$

Відповідно

$$T_{шт.к.} = 4,14 + \frac{40,9}{622} = 4,25 \text{ хв.}$$

Для решти операцій визначаємо час по наближеним формулам.

Норми часу на інші операції зводимо в таблицю.

Операція 005. Фрезерно-центрувальна.

$$\Psi_k = 1,84 [2].$$

$$T_o = 0,2 + 0,2 = 0,4 \text{ хв.}$$

$$T_{шт.к.} = 1,84 \cdot 0,4 = 0,7 \text{ хв.}$$

Операція 015. Шпонково-фрезерна.

$$\Psi_k = 1,84 [2].$$

$$T_o = 0,8 \text{ хв.}$$

$$T_{шт.к.} = 1,84 \cdot 0,8 = 1,47 \text{ хв.}$$

Операція 020. Вертикально-свердлильна.

$$\Psi_k = 1,84 [2].$$

$$T_o = 0,09 \text{ хв.}$$

$$T_{шт.к.} = 1,84 \cdot 0,09 = 0,17 \text{ хв.}$$

Операція 025. Вертикально-свердлильна.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		47

$$\Psi_k=1,84 [2].$$

$$T_o=0,18 \text{ хв.}$$

$$T_{шт.к.}=1,84 \cdot 0,38=0,53 \text{ хв.}$$

Операція 035 Круглошліфувальна.

$$\Psi_k=2,1 [2].$$

$$T_o=0,42 \text{ хв.}$$

$$T_{шт.к.}=2,1 \cdot 0,42=0,88 \text{ хв}$$

Операція 055 Круглошліфувальна.

$$\Psi_k=2,1 [2].$$

$$T_o=0,42 \text{ хв.}$$

$$T_{шт.к.}=2,1 \cdot 0,42=0,88 \text{ хв}$$

Таблиця 2.4 – Норми часу на механічну обробку

Номер і назва операції	T_o , хв	T_d , хв			$T_{оп}$, хв	$T_{шт}$, хв	$T_{пз}$, хв	$T_{шт.к.}$, хв
		$T_{уст}$, хв	$T_{упр}$, хв	$T_{вим}$, хв				
005 Фрезерно-центрувальна	0,4							0,7
010. Токарна з ЧПК	2,7	0,13	0,39	0,25	3,37	4,14	40,9	4,25
015. Шпонково-фрезерна	0,8							1,47
020. Вертикально-свердлильна	0,09							0,17
025. Вертикально-свердлильна	0,18							0,33
035. Круглошліфувальна	0,42							0,88
040. Круглошліфувальна	0,42							0,88

2.6 Обґрунтування вибраного оснащення на операцію

2.6.1 Призначення, будова і принцип роботи пристосування

Зробивши аналіз технологічного процесу виготовлення деталі визначаємо, що для того щоб скоротити час на операції 020 шпонково-фрезерна і підвищити ефективність праці, необхідно, щоб пристосування, що застосовується на цій операції було високопродуктивним і забезпечувало автоматизований затиск деталі. Таке пристосування наведено на листі графічної частини кваліфікаційної роботи.

Пристосування складається з наступних елементів:

- корпус на якому встановлені призми і гідроциліндр;
- затискні елементи: затискна планка;
- установочні елементи: дві призми, упор для бокової поверхні заготовки.

Пристосування є переналагоджуваним, що важливо для серійного виробництва.

Використання даного пристосування забезпечує швидку і точну установку деталі для проведення комплексної обробки деталі .

Оброблювана деталь встановлюється на опорні призми 4 і 5, боковою поверхнею впирається в упор 2. Затиск здійснюється гідроциліндром 12, які встановлених на різьбових шпильках 9. Пружина 23 піднімає затискну планку після завершення обробки обробки. Затискна планка повертається навколо осі 19 для полегшення зняття деталі.

Під'єднання гідроциліндрів до гідростанції здійснюється при допомозі штуцерів 11. Базування пристосування на столі верстату здійснюється при допомозі призматичних шпонок 25 і закріплюється болтами, які входять в пази в корпусі 1.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		49

2.6.2 Вибір схеми базування і розрахунок похибки базування

В якості схеми базування вибираємо базування на двох призмах. В якості поверхонь на які встановлюється деталь приймаємо поверхні 5 і 8. В якості поверхні для упору використовується поверхня 14. При встановленні деталі в пристосуванні необхідно притиснути її поверхнею 14 до призми. Схема базування вказана на рис. 2.3.

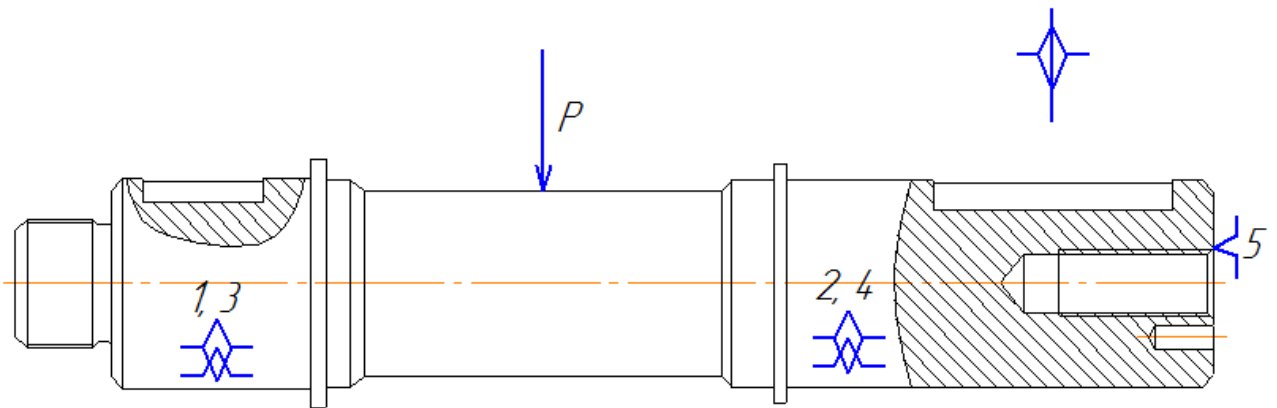


Рис. 2.3. Схема базування деталі.

Вибір схеми установки визначається величиною похибки базування ε_B , яка не повинна перевищувати половину допуску на розмір шпоночного пазу.

Похибка базування не повинна перевищувати величину половини допуску валу на якому нарізається шпонка, тобто 0,74 мм.

Похибка розраховується за формулою:

$$\varepsilon_B = 0,5 \cdot T_d \cdot \left(\frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right), \quad (2.17)$$

де: T_d – допуск діаметра, яким вал базується на призму,

α – половина робочого кута призми, оскільки кут стандартної призми становить 90° , то $\alpha=45^\circ$

Після точіння поверхні по 10 квалітету, величина допуску поверхонь, яким деталь встановлюється на призму становить $T_d=0,1$ мм.

					КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Таким чином:

$$\varepsilon_B = 0,5 \cdot 0,1 \cdot \left(\frac{1}{\sin 45} - 1 \right) = 0,021 \text{ мм}$$

Отже ε_B менше ніж допуск поверхонь на якому нарізається шпонковий паз. Таким чином робимо висновок про правильність вибору схеми базування.

2.6.3 Розрахунок сили затиску

Сила різання при фрезеруванні становить:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^{u \cdot z}}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{mp} \quad (2.18)$$

де:

D – діаметр фрези;

t – глибина фрезерування;

S_z – подача на зуб;

B – ширина фрезерування;

n – частота обертання фрези;

Z – число зубів фрези.

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 16^{0,86} \cdot 0,02^{0,72} \cdot 6^1 \cdot 2}{16^{0,86} \cdot 500^0} \cdot 0,93 = 139 \text{ Н}$$

Зайдемо величини інших складових сили різання:

Горизонтальна сила (подачі) $P_h = 0,4 \cdot P_z = 0,4 \cdot 139 = 55,6 \text{ Н}$.

Вертикальна сила $P_v = 0,9 \cdot P_z = 0,9 \cdot 139 = 125,7 \text{ Н}$.

Радіальна сила $P_y = 0,4 \cdot P_z = 0,4 \cdot 139 = 55,6 \text{ Н}$.

Осьова сила $P_x = 0,55 \cdot P_z = 0,55 \cdot 139 = 76,5 \text{ Н}$.

.Розглянемо схему силової взаємодії фрези, заготовки пристосування при обробці шпонкового пазу.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		51

Сила подачі Ph намагається зсунути заготовку з призми, цьому протидіють сили тертя T і T_l , що виникають на поверхні шийки валу і на робочій поверхні призми.

З рівняння рівноваги сил визначаємо зусилля затиску:

$$Q_{P_z} = \frac{K_3 P_z}{(f+f_1)}, \quad (2.19)$$

$$Q_{P_x} = \frac{K_3 P_x}{f+f_1}, \quad (2.20)$$

Повна сила кріплення заготовки:

$$Q = \sqrt{Q_{P_z}^2 + Q_{P_x}^2} = \sqrt{\left(\frac{K_3 P_z}{(f+f_1)}\right)^2 + \left(\frac{K_3 P_x}{(f+f_1)}\right)^2}, \quad (2.21)$$

Коефіцієнт запаса, що враховує нестабільність силової дії на заготовку вираховуємо по формулі:

$$K_3 = K_0 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6, \quad (2.22)$$

де

$K_0 = 1,5$ – гарантований коефіцієнт запасу;

$K_1 = 1$ – коефіцієнт, що враховує базування заготовки;

$K_2 = 1,3$ – коефіцієнт, що враховує затуплення інструменту;

$K_3 = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує переривчастість різання;

$K_4 = 1$ – коефіцієнт, що враховує постійність сили, що створює затискний механізм.

$K_5 = 1$ – коефіцієнт, що характеризує ергономіку затискного пристрою.

$K_6 = 1$ – коефіцієнт, що характеризує установку заготовки.

$$K_3 = 1,5 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2,34$$

Так як в результаті розрахунку $K_3 < 2,5$, то приймаємо $K_3 = 2,5$.

Приймаємо $f = f_l = 0,16$.

$$Q_{P_z} = \frac{2,5 \cdot 139}{0,32} = 1085 \text{ Н}$$

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$Q_{P_x} = \frac{2,5 \cdot 76,5}{0,32} = 597 \text{ Н}$$

$$Q = \sqrt{1085^2 + 597^2} = 1238 \text{ Н}$$

Сила P силового циліндра, необхідна для закріплення заготовки, дорівнює $P = 0,25\pi D^2 \rho \eta$, тоді діаметр поршня циліндра D може бути розрахований по формулі:

$$D = \sqrt{\frac{4Ql_2}{\pi \eta \rho l_1}}, \quad (2.23)$$

де ρ – робочий тиск масла, приймаємо 1 МПа;

$\eta = 0,9$ – ККД.

Визначаєм діаметр поршня гідроциліндра:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1238 \cdot 87,5}{3,14 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 125}} = 35 \text{ мм}$$

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		53

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Аналіз верстата-аналога

Як аналог обираємо багатоцільовий свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат моделі 65А80ПМФ4М. Верстат призначений для обробки складних плоских і об'ємних деталей з чорних та кольорових металів, високолегованих і жароміцних сталей, а також з легких сплавів. Крім фрезерування, на верстаті можна виконувати свердління, розточування та нарізання різьби.

Багатоцільовий свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат мод. 65А80ПМФ4М

Верстати призначені для обробки складних плоских і об'ємних деталей з чорних та кольорових металів, високолегованих і жароміцних сталей, а також з легких сплавів. Крім фрезерування, на верстатах можна виконувати свердління, розточування та нарізання різьби. Широкі діапазони частоти обертання шпинделя та робочих подач столу і бабки в поєднанні з високою жорсткістю верстата дозволяють ефективно використовувати різні види різального інструменту. Клас точності верстатів - Н і П.

Випускається виконання верстатів зі змінними столами-супутниками. Модель 65А80ПМФ4М призначений для комплексної високопродуктивної обробки деталей зі складною конфігурацією в дрібносерійному та серійному виробництвах. Модуль створений на базі багатоцільового верстата моделі 65А80ПМ1Ф4, є самостійною виробничою одиницею і може вбудовуватися в гнучкі виробничі системи з керуванням від ЕОМ.

На модулі виконуються високопродуктивне свердління, зенкерування, розгортання, розточування, нарізання різьб мітчиками, контурне, об'ємне і

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Іванський В.</i>			<i>Конструкторська частина</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Кобельник В.</i>					54	21
<i>Реценз.</i>						<i>ТНТУ, МВС-41 м.Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крупа В.</i>						

торцеве фрезерування чорних металів та легких сплавів, важкооброблюваних сталей із застосуванням прогресивного інструменту, оснащеного НТМ (надтвердими матеріалами) і мінералокерамікою, а також інструменту зі швидкорізальних сталей і твердого сплаву.

Верстати мають хрестовий стіл, що здійснює рух подач по осях X, Y, і вертикально-рухоми по осі Z шпindelну бабку. Пристрій автоматичної зміни інструментів розташований біля верстата поза робочою зоною, складається з обертового інструментального магазину барабанного типу з нумерованими гніздами та автооператора з двозахопною рукою. Пристрій зміни столів-супутників складається з одномісного пристосування для базування і кріплення стола-супутника, яке встановлено на столі модуля; поворотного двомісного перевантажувача з ланцюговим гідромеханічним приводом переміщення столів-супутників і приводом повороту від електродвигуна постійного струму; поворотного шестимісного накопичувача з приводом від електродвигуна постійного струму. Для керування перевантажувачем і накопичувачем столів застосовано програмований контролер, що дозволяє за необхідності простими способами змінювати алгоритм їхньої роботи.

У приводі головного руху шпindel отримує обертання від двигуна постійного струму M1 через триступінчасту коробку швидкостей. Велика потужність двигуна головного привода і збільшений крутний момент на шпindelі в поєднанні з високою жорсткістю і вібростійкістю верстата забезпечують потужну різальну здатність з питомим зніманням: чавуну - 600 см³/хв, сталі - 400 (600) см³/хв. Жорсткий шпindel діаметром 120 мм і висока довговічність циліндричних роликотішипників дозволяють проводити глибоке (до 200 мм) силове фрезерування кінцевими фрезами. Для стабілізації точності шпинделя його передня опора охолоджується прохідним потоком масла. У приводах подач застосовуються високомоментні електродвигуни постійного струму M2, M3, M4 з вбудованими гальмами і датчиками зворотного зв'язку. Загартовані чавунні напрямні в парі з накладками з наповненого фторопласту на основних несучих поверхнях і роликоті опори

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		55

кочення в парі із загартованими сталевими планками на бічних гранях напрямних забезпечують високу точність і плавність переміщення рухомих вузлів верстата. Для підвищення точності позиціонування спеціально розроблено програму математичного забезпечення для компенсації кінематичної похибки кульково-гвинтових пар. Як датчики зворотного зв'язку використовуються резольвери, вбудовані в електродвигуни подач, що гарантує відсутність потрапляння стружки в датчики.

Пристрій ЧПК 2С42 - 65 типу CNC дозволяє реалізувати сучасні прийоми програмування: пряме задання швидкості подачі, зміщення нуля в межах усього робочого простору, зручне редагування програм, функції електроавтоматики верстата.

У конструкції верстата передбачені:

- періодичне дозоване змащування напрямних і передач гвинт-гайка кочення;
- централізоване змащування коробки швидкостей бабки;
- гідравлічне розвантаження бабки;
- охолодження різального інструменту поливом емульсією;
- телескопічні пристрої захисту напрямних рухомих вузлів;
- огороження зони різання;
- відведення стружки із зони різання за допомогою вібротранспортера.

Технічні характеристики

Характеристика	Значення
Найбільша відстань від торця шпинделя до робочої поверхні столу, мм	900 – 1000
Відстань від осі шпинделя до напрямних, мм	850 – 1050
Найбільша маса заготовки з пристосуванням, кг	6000 – 7000

Характеристика	Значення
Конус шпинделя	50 АТ4
Зусилля затискання оправки в шпинделі, Н	22000
Найбільше переміщення по осі координат, мм: - X-стола - Y-салазок - Z-бабки	1600 – 2000 800 – 1000 775 – 875
Дискретність задання переміщення, мкм	1
Кількість керованих осей координат	3
Кількість одночасно керованих осей координат при інтерполяції лінійній/ круговій/ гвинтовій	3/2/3
Межі частот обертання шпинделя, хв^{-1}	5...2000
Межі робочих подач по осях X; Y; Z, мм/хв	1...6000
Швидкості швидких переміщень по осях X; Y; Z, м/хв	9,6 – 7
Найбільший крутний момент на шпинделі, кН·м	1,8
Найбільше зусилля подачі по осях X; Y; Z, кН	20; 19; 10
Номінальна потужність привода головного руху, кВт	22
Номінальний обертальний момент електродвигунів приводів подач по осях X; Y; Z, Н·м	47

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Характеристика	Значення
Габаритні розміри верстата з обладнанням, мм	4050x6650x4100
Маса верстата з обладнанням, кг	17500 - 2280

3.2 Кінематичний розрахунок приводу

Вибір електродвигуна

$$n_{\min}=40 \text{ об/хв};$$

$$n_{\max}=3543 \text{ об/хв};$$

$$N_{\text{дв}}=14,69 \text{ кВт.}$$

$$N_{\text{ел.}}=1,25N=1,25 \cdot 14,69=18,36 \text{ кВт}$$

Приймаємо ближнє більше значення – 20 кВт.

Вибираємо асинхронний електродвигун серії 4ПФ112М.

Відповідно до розрахункової потужності $N_{\text{ел}}$ вибираємо з довідників електродвигун.

Таблиця 3. 1– Характеристики електродвигуна

Типорозмір електродвигуна	потужність,кВт	ККД, %	Номінальна частота обертання, об/хв	Максимальна частота обертання, об/хв
4ПФ112М	20	75	475	3800

Діапазон регулювання електродвигуна при постійній потужності рівний:

$$D_{\text{эР}} = \frac{n_{e \max}}{n_{e \text{ном}}} = \frac{3800}{475} = 8$$

Знаменник ряду регулювання переборною групою коробки φ_k визначається діапазоном регулювання електродвигуна з постійною потужністю:

$$\varphi_k = D_{\text{эР}} = 8$$

Остаточні значення знаменника геометричного ряду φ_k необхідно приймати у відповідності з нормами верстатобудування, записавши його через одне із стандартних значень знаменника φ :

$$\varphi_k = \varphi^m = 8 \approx 1.26^9 = 8,$$

де m – ціле число.

Розрахункове значення чисел ступеней коробки швидкостей визначається із залежності:

$$z_{pk} = \frac{\lg D_p}{\lg \varphi_k} = \frac{\lg 100}{\lg 8} = 1.86$$

$$D_p = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{3543}{49} = 100$$

Отримане значення z_{pk} заокруглюємо до ближнього більшого значення цілого числа. $z_k > 1$ заокруглюємо до ближнього більшого значення. Приймаємо $z_k = 2$.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		59

Уточнюємо діапазони D_p и D_T при умові збереження загального діапазону регулювання привода D .

$$D_p = \varphi_k^z = 8^2 = 64$$

$$D_T = \frac{D}{D_p} = \frac{100}{64} = 1,56$$

Розрахункові значення максимальної и мінімальної частот обертання електродвигуна визначаються залежностями:

$$n_{\text{эmax}} = n_{\text{эн}} \cdot \varphi_k = 475 \cdot 8 = 3800 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_{\text{эmin}} = \frac{n_{\text{эн}}}{D_T} = \frac{475}{1.56} = 304.48 \text{ хв}^{-1}.$$

Для структурної сітки визначаємо що:

$$Z = 2$$

структурна сітка має вигляд:

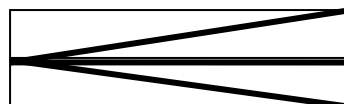


Рисунок 3.1 – Структурна сітка

Побудуємо графік частот обертання для приводу з електродвигуном постійного струму.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

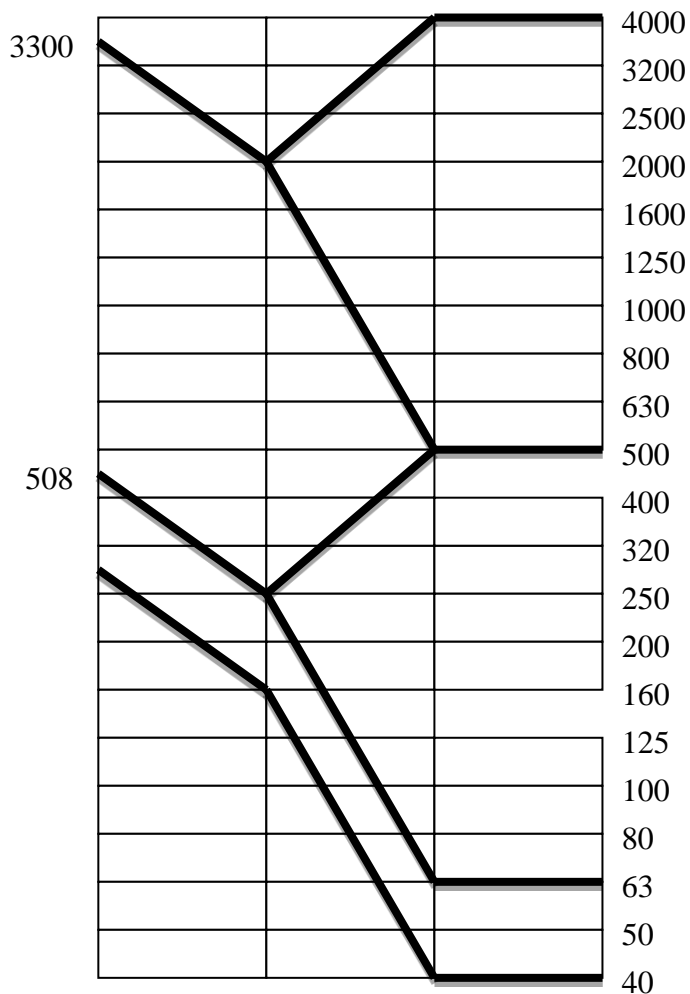


Рисунок 3.2 – Графік частот обертання з електродвигуном постійного струму

Передаточне відношення коробки передач:

$$i_1 = 1/\varphi^6 = 2/1$$

$$i_2 = \varphi^2 = 4/1;$$

$$\text{Маємо: } a+b=2+1=3;$$

$$c+d=4+1=5;$$

Найменше кратне НОК=15= S_z .

$$z_1 = 18$$

$$z_2 = 45$$

$$z_3 = \frac{S_z}{a+b} \cdot a = \frac{15}{2+1} \cdot 12 = 60$$

$$z_4 = \frac{S_z}{a+b} \cdot b = \frac{15}{2+1} \cdot 6 = 30$$

$$z_5 = \frac{S_z}{c+d} \cdot c = \frac{15}{4+1} \cdot 24 = 72$$

$$z_6 = \frac{S_z}{c+d} \cdot d = \frac{15}{4+1} \cdot 18 = 18$$

Мінімальне число зубів для прямозубого зубчатого колеса рівне 18. Так як мінімальне число зубів 18, то умова виконується.

3.3 Розрахунок елементів привода головного руху

3.3.1 Проектний розрахунок зубчастих коліс

Проектувальний розрахунок призначений для визначення модуля і ширини зубчастих коліс, а також крутного моменту, що діє на вал. Розрахунки виконуються на ЕОМ.

Програма складається з одного модуля – головної програми, в якій здійснюються введення вихідних даних, їх перевірка, розрахунок параметрів і виведення результатів розрахунку.

Вихідні дані заносяться з дисплея в режимі «Проектувальний розрахунок зубчастих коліс» у такій послідовності:

- потужність електродвигуна: $N = 20$ кВт;

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		62

- кількість розрахункових пар коліс: 2;
- коефіцієнти корисної дії передач механізмів, що передують розрахунковій парі:
 - циліндричні зубчасті передачі $\eta = 0,99$;
 - підшипники кочення $\eta = 0,99$;
- ознака виду зачеплення: 1;
- кут нахилу зуба передачі в градусах: 0° ;
- ступінь точності передачі: 7;
- характеристика матеріалу шестірні: 18 (сталь 40Х загартована з охопленням западини);
- коефіцієнт перекриття в торцевому перерізі прямозубої передачі, для прямозубих коліс коефіцієнт приймається рівним 0,16;
- частота обертання: 475 об/хв;
- кількість зубів шестірні: $Z = 18$;
- кількість зубів колеса: $Z_K = 45$;
- коефіцієнт форми зуба для прямозубих коліс: 0,32.

3.3.2 Перевірочний розрахунок зубчастих коліс

Перевірочний розрахунок за контактними та згинними напруженнями, який виконаємо за допомогою ПЕОМ, дозволяє одночасно проводити аналіз працездатності циліндричних косозубих коліс.

Програма складається з трьох програмних одиниць – головної програми, програми розрахунку та підпрограми виведення на друк результатів розрахунку.

Головна програма здійснює введення вихідних даних, у ній закладені таблиці необхідних коефіцієнтів і даних для розрахунку. Вона передає підпрограмі розрахунку дані щодо кожної пари зубчастих коліс і накопичує результати розрахунку. Коли всі вихідні дані вибрані підпрограмою розрахунку, вона здійснює звернення до підпрограми виведення.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		63

Підпрограма розрахунку за вихідними даними виконує розрахунок максимальної колової швидкості, згинних і контактних напружень, що діють у зубах, допустимих напружень на згинну та контактну витривалість, геометричних параметрів зубчастих передач.

Підпрограма виведення виводить на друк результати розрахунку та вихідні дані у вигляді таблиці. У таблиці передбачена графа «Недостатня міцність», у якій з'являється зірочка, якщо діючі напруження в зубчастій парі перевищують допустимі.

Для коробок передач металорізальних верстатів найважливішими критеріями працездатності є витривалість за напруженнями згину (опір втомним поломкам) і витривалість поверхневих шарів за контактними напруженнями (опір втомному викришуванню).

3.3.3 Проектний розрахунок валів

$$d \geq 110^4 \sqrt{\frac{N}{n}},$$

де: N – потужність на валу;

n – частота обертання вала;

$$N_1 = N \cdot \eta_{pn} = 20 \cdot 0,98 = 19,6 \text{ кВт}; \quad n_1 = 475 \text{ хв}^{-1};$$

$$N_2 = N \cdot \eta_{nod} = 19,6 \cdot 0,98 = 19,2 \text{ кВт}; \quad n_2 = 748,72 \text{ хв}^{-1};$$

$$N_3 = N \cdot \eta_{nod} = 19,6 \cdot 0,98 = 19,2 \text{ кВт}; \quad n_3 = 2910,4 \text{ хв}^{-1};$$

Перший вал:

$$d_1 \geq 110^4 \sqrt{\frac{20}{475}} = 49,8 \text{ мм}, \text{ приймаємо } d_1 = 50 \text{ мм}.$$

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Другий вал:

$$d_2 \geq 110 \sqrt[4]{\frac{19,6}{250}} = 58,2 \text{ мм, приймаємо } d_2 = 60 \text{ мм.}$$

Третий вал:

$$d_3 \geq 110 \sqrt[4]{\frac{19,2}{63}} = 81,73 \text{ мм, приймаємо } d_1 = 85 \text{ мм.}$$

3.4 Перевірочний розрахунок двоопорних валів

Перевірочний розрахунок валів здійснюється за допомогою програми ПЕОМ.

Програма дозволяє виконувати перевірочні розрахунки двоопорних валів на міцність і жорсткість з урахуванням податливості опор. При цьому враховується тип зубчастої передачі, що передає крутний момент. Програма розрахунку складається з керуючої програми та трьох підпрограм. Керуюча програма здійснює введення вихідних даних і звернення до підпрограм.

У першій підпрограмі обчислюються сили та моменти, що діють на вал, реакції в опорах, деформації в підшипниках, прогини та кути повороту. Прогини та кути повороту зводяться до напрямку колової та радіальної сил, обчислюється кут закручування вала, обчислюються кути повороту зубчастих коліс, викликані прогином вала, визначається повний кут закручування.

У другій підпрограмі обчислюються напруження в небезпечних перерізах вала, коефіцієнт запасу міцності.

Перевірочні розрахунки вхідного та вихідного валів зведені в таблиці 5.4 і 5.4.1.

Умовні позначення розрахункових параметрів:

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		65

- $R_{1,3}$ – сумарні реакції в опорах у площині, перпендикулярній до осі вала;
- $QR_{2,4}$, $QT_{2,4}$ – кути повороту вала під зубчастими колесами внаслідок деформації опор у площині дії колової та радіальної сили;
- $FR_{2,4}$, $FT_{2,4}$ – прогини вала під зубчастими колесами відповідно в площині дії колової та радіальної сили;
- $F_{кр}$ – кут закручування вала;
- $FB_{2,4}$ – кут повороту зубчастого колеса, викликаний прогином вала;
- $F_{П}$ – кут закручування вала з урахуванням його прогинів під зубчастими колесами;
- $S_{2,3}$ – розрахункові напруження в небезпечних перерізах вала;
- $N_{2,3}$ – коефіцієнти запасу міцності вала в небезпечних перерізах.

Отримані дані перевіряємо за такими умовами:

$$f = \sqrt{(F_{2,4}^P)^2 + (F_{2,4}^T)^2} \leq 0,03 \cdot m;$$

$$n_{2,3} \geq 1,5$$

де m – модуль зубчастих коліс, розміщених на валу.

$$0,03 \cdot m = 0,03 \cdot 3 = 0,1$$

$$f_2 = \sqrt{0,2^2 + 0,1^2} = 0,2 < 0,03 \cdot m$$

$$f_4 = \sqrt{0,2^2 + 0,1^2} = 0,2 < 0,03 \cdot m$$

$$n_2 = 4,52 \geq 1,5$$

$$n_4 = 4,20 \geq 1,5$$

Умова виконується, тому можна стверджувати, що вар розрахований правильно.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

$$0,03 \cdot m = 0,03 \cdot 3 = 0,1$$

$$f_2 = \sqrt{0,2^2 + 0,1^2} = 0,2 < 0,03 \cdot m$$

$$f_4 = \sqrt{0,8^2 + 0,5^2} = 0,9 < 0,03 \cdot m$$

$$n_2 = 10 \geq 1,5$$

$$n_4 = 4,57 \geq 1,5$$

Умова виконується, тому можна стверджувати, що вар розрахований правильно.

3.5 Вибір підшипників кочення

Залежно від розрахованих діаметрів валів обираємо однорядні радіально-упорні кулькові підшипники середньої серії.

Таблиця 3.3. Технічна характеристика однорядних кулькових підшипників

Номер підшипника	Внутрішній діаметр, мм	Зовнішній діаметр, мм	Ширина, мм	Вантажопідйомність динамічна, Н	Вантажопідйомність статична, Н	Гранична частота обертання, об/хв	Коефіцієнти деформації K ₁	Коефіцієнти деформації K ₂
310	50	90	20	43200	27000	11000	7900	65300
312	60	110	22	61500	39300	8500	5000	63500
317	85	150	28	10100	70800	6700	6000	65000

3.3.6 Перевірочний розрахунок шпонкового з'єднання

Позиція 1

Виконуємо перевірочний розрахунок шпонкового з'єднання шестерні з модулем $m=3,5$ мм і кількістю зубів $Z=45$ з валом $D_B=50$ мм. Використовуємо шпонку з розмірами $b \times h = 10 \times 8$, робоча довжина шпонки $l=46$ мм.

Перевірочний розрахунок шпонкового з'єднання проводимо на зминання та зріз.

Міцність на зминання визначаємо з умови:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot M_{кр}}{Z \cdot K \cdot l_p \cdot (D_B + K)} \leq [\sigma]_{зм}$$

де K - розмір по таблиці для даної шпонки; $K=4,2$ мм;

Z - кількість шпонок; $Z=3$;

l_p - довжина шпонки; $l_p=25$ мм.

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 220 \cdot 10^3}{1 \cdot 4,2 \cdot 25 \cdot (50 + 4,2)} = 77,31 \text{ МПа} \leq [\sigma]_{зм}$$

$[\sigma]_{зм} = 150 \text{ МПа} > \sigma_{зм}$ - умову міцності виконано.

Міцність на зріз визначається із залежності:

$$\tau_{зр} = \frac{2 \cdot M_{кр}}{Z \cdot b \cdot l_p \cdot D_B} \leq [\tau]_{зр}$$

где b - ширина шпонки; $b=10$ мм.

					КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

$$\tau_{зр} = \frac{2 \cdot 220 \cdot 10^3}{1 \cdot 10 \cdot 25 \cdot 50} = 35,2 \text{ МПа} \leq [\tau]_{зр}$$

$[\tau]_{зр} = 87 \text{ МПа} > \tau_{зр}$ - умову міцності виконано.

Позиція 2

Виконуємо перевірочний розрахунок шпонкового з'єднання шестерні з модулем $m=3,5$ мм і кількістю зубів $Z=60$ з валом $D_v=50$ мм. Використовуємо шпонку з розмірами $b \times h = 10 \times 8$, робоча довжина шпонки $l=46$ мм.

Перевірочний розрахунок шпонкового з'єднання проводимо на зминання та зріз.

Міцність на зминання визначаємо з умови:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot M_{кр}}{Z \cdot K \cdot l_p \cdot (D_6 + K)} \leq [\sigma]_{зм}$$

де K - розмір по таблиці для даної шпонки; $K=4,2$ мм;

Z - кількість шпонок; $Z=3$;

l_p - довжина шпонки; $l_p=22$ мм.

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 220 \cdot 10^3}{1 \cdot 4,2 \cdot 22 \cdot (50 + 4,2)} = 81,41 \text{ МПа} \leq [\sigma]_{зм}$$

$[\sigma]_{зм} = 150 \text{ МПа} > \sigma_{зм}$ - умову міцності виконано.

Міцність на зріз визначається із залежності:

$$\tau_{зр} = \frac{2 \cdot M_{кр}}{Z \cdot b \cdot l_p \cdot D_6} \leq [\tau]_{зр}$$

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

где b - ширина шпонки; $b=8$ мм.

$$\tau_{zp} = \frac{2 \cdot 220 \cdot 10^3}{1 \cdot 8 \cdot 25 \cdot 50} = 39,2 \text{ МПа} \leq [\tau]_{zp}$$

$[\tau]_{zp} = 87 \text{ МПа} > \tau_{zp}$ - умову міцності виконано.

3.3.7 Перевірочний розрахунок шліцевих з'єднань

Для проміжного вала відповідно до нормативів обираємо шліцеве з'єднання легкої серії $z \times d \times D = 8 \times 80 \times 86$;

Розрахункове напруження зминання, що виникає в зубах від зовнішнього навантаження T , визначається за формулою:

$$\sigma_{zm} = \frac{10^3 \cdot T}{S_F \cdot l} = \frac{10^3 \cdot T}{0,5 \cdot d_m \cdot h \cdot z \cdot l} \leq [\sigma_{zm}],$$

де σ_{zm} - розрахункове напруження зминання робочих поверхонь шліців, Н/мм²;

T - крутний момент, Н*мм;

D_m - середній діаметр шліцевого з'єднання, мм.;

$$d_m = \frac{D+d}{2},$$

Z - кількість шліців;

h - висота поверхні контакту шліців, мм;

					КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

$$h = \frac{D - d}{2}$$

l - довжина поверхні контакту шліців, мм

$[\sigma_{зм}]$ - допустиме напруження на змінання робочих поверхонь, Н/мм²,
 $[\sigma]_{зм} = 100$ МПа;

S_F - питомий (на одиницю довжини) сумарний статичний момент площі робочих поверхонь, мм³/мм .

Розраховуємо шліцові з'єднання в наступній послідовності:

$$d_m = \frac{86 + 80}{2} = 83 \text{ мм},$$

$$h = \frac{86 - 80}{2} = 3 \text{ мм},$$

$$\sigma_{зм} = \frac{10^3 \cdot 2910,4}{0,5 \cdot 83 \cdot 3 \cdot 8 \cdot 295} = 9,9 \text{ МПа} \leq 100 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

3.3.8 Перевірочний розрахунок підшипників кочення

Розрахунок підшипників виконується з використанням програми ПЕОМ.

Програма розрахунку підшипників складається з керуючої програми та трьох підпрограм. Керуюча програма здійснює введення вихідних даних, їх перевірку та звернення до підпрограм. Перша підпрограма містить довідник даних підшипників кочення, друга – здійснює перевірочний розрахунок.

У першій підпрограмі міститься така інформація: номер підшипника; внутрішній, зовнішній діаметри та ширина підшипника; номінальний кут

					КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

контакту; динамічна і статична вантажопідйомності; гранична частота обертання та коефіцієнт для підрахунку радіальної деформації підшипників. Розрахунок підшипників здійснюється другою підпрограмою. Для розрахунку необхідна вихідна інформація, закладена в основній програмі та першій підпрограмі.

Вихідні дані для перевірного розрахунку підшипників:

- номер підшипника 310;
- радіальне навантаження, Н;
- частота обертання в обертах за хвилину;
- коефіцієнт безпеки;
- коефіцієнт обертання;
- температурний коефіцієнт;
- номер схеми;
- номер колонки спряженого підшипника.

3.4. Організація системи змащування

Нанесення мастильних матеріалів на робочі поверхні верстатного обладнання запобігає їхньому прямому контакту. Завдяки цьому суттєво знижується зношування деталей та мінімізуються втрати на тертя.

Зазвичай сучасні верстати оснащуються двома окремими гідросистемами: для подачі мастила та для охолодження (МОТС). Головне завдання мастильної системи - гарантувати безперебійне змащування ключових рухомих вузлів. Це дозволяє підвищити коефіцієнт корисної дії, зменшити рівень шуму та подовжити термін служби механізмів. Своєю чергою, охолодження зони різання та інструменту позитивно впливає на точність виготовлення деталей завдяки мінімізації температурних деформацій та підвищує експлуатаційну стійкість різців чи фрез. Відповідно, чим досконаліші ці дві системи, тим довше верстат зберігає свої початкові характеристики точності.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		72

Змащування коробки швидкостей Цей вузол змащується за циркуляційним принципом. До складу інтегрованої маслостанції входять резервуар, гідронасос та магістралі, які доставляють мастило безпосередньо до зубчастих зачеплень. У процесі роботи частина рідини розбризкується, а решта стікає в нижню частину картера до зливного отвору. Там мастило проходить крізь фільтрувальні елементи (додатково може встановлюватися магніт для вловлювання металевої стружки та продуктів абразивного зносу), після чого повертається в бак для повторного циклу.

Підбір мастильних матеріалів Оптимальна марка мастила визначається робочими навантаженнями та швидкістю ковзання деталей: для вищих швидкостей і менших тисків у сполученнях потрібне менш в'язке середовище. У цьому випадку для використання рекомендовано індустріальну оливу марки I-20.

Підшипникові вузли змащуються так званою «масляною зависсю», яка утворюється під час інтенсивного обертання зубчастих коліс.

У вузлах, де циркуляційний підвід рідини ускладнений або підшипники кочення потребують додаткового захисту, застосовують густі пластичні мастила (наприклад, літол, солідол тощо).

Обслуговування шпинделів та напрямних Для підтримки працездатності напрямних ковзання (як лінійних, так і кругових) можуть використовуватися різні підходи, що безпосередньо впливають на їхню довговічність. Найпростішими є ручне змащування або використання індивідуальних маслянок. Більш технологічна безперервна подача може реалізовуватися за допомогою спеціальних роликів у масляних кишнях станини, насосних установок або масляних ванн. Для кращого та рівномірного розповсюдження рідини на поверхнях напрямних фрезерують мережу мастильних канавок.

Гідростатичний метод Примусова подача оливи під тиском дозволяє створити стабільний режим рідинного тертя на будь-яких швидкостях. Проте цей метод має недолік: ризик «спливання» рухомих вузлів (супортів чи столів) і поява перекидних моментів, що негативно впливає на точність. Щоб

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		73

нівелювати цей ефект, використовують метод гідророзвантаження напрямних, коли тиск оливи компенсує лише певну частину навантаження. Для роботи у важких умовах зі значними перекидними зусиллями найбільш доцільними є замкнені гідростатичні напрямні, де мастило подається також і на нижню грань для стабілізації вузла.

Використання масляного туману Шпindelні вузли вимагають гарантованого рідинного тертя у підшипниках ковзання та наявності тонкої масляної плівки в опорах кочення. При циркуляційному підведенні мастило додатково працює як охолоджувач. З огляду на високу відповідальність шпинделів, для них часто проектують автономні системи подачі мастила.

Особливої популярності для високошвидкісних шпинделів набула технологія змащення масляним туманом. За допомогою розпилювачів (ежекторів, інжекторів чи пульверизаторів) олива подрібнюється на мікрокраплі розміром до 2 мкм і транспортується спрямованим повітряним потоком безпосередньо до зони тертя, навіть на відстань кількох метрів.

Переваги методу масляного туману:

- Повітряний потік ефективно відводить надлишкове тепло від тертьових поверхонь.
- Надзвичайно низька витрата оливи (близько 0,3 см³/год на 1 см² площі тертя).
- Майже повна відсутність протікань через технічні зазори, що дозволяє зменшити кількість складних ущільнювальних елементів.

Система підготовки такої мастильної суміші обов'язково включає проходження повітря через вологовідділювачі, осушувачі та спеціальні маслорозпилювальні пристрої.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		74

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Забезпечення безпечних і здорових умов праці на машинобудівних та металообробних підприємствах є одним із пріоритетних завдань сучасної інженерної практики. Фрезерні роботи належать до технологічних процесів із підвищеним рівнем небезпеки. Висока швидкість обертання різального інструменту (фрези), утворення гострої металевої стружки, значні механічні зусилля та використання мастильно-охолоджувальних рідин (МОР) створюють комплекс потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Метою цього розділу є аналіз небезпек, розробка та впровадження організаційно-технічних заходів, спрямованих на повне виключення виробничого травматизму, зниження впливу шкідливих факторів та забезпечення пожежної безпеки на фрезерній ділянці цеху.

1. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів на фрезерній ділянці

Відповідно та чинних нормативно-правових актів про охорону праці України НПАОП, умови праці фрезерувальника класифікуються за кількома групами факторів:

Фізичні небезпечні та шкідливі фактори:

- Рухомі машини та механізми: елементи фрезерного верстата (шпиндель, ходові гвинти, супорт, робочий стіл), що здійснюють обертальний або зворотно-поступальний рух.
- Елементи, що вилітають: металева стружка, що відлітає з зони різання з високою швидкістю (її температура може досягати 400–600 °С), а також ризик вилітання уламків фрези у разі її поломки.
- Підвищена загазованість та запиленість повітря: дрібнодисперсний пил металу та аерозолі МОР, які утворюються під час інтенсивного фрезерування

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Іванський В.</i>			<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Кобельник В.</i>					75	6
<i>Консульт.</i>		<i>Окіпний І.Б.</i>				<i>ТНТУ, МВС-41 м. Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крупа В.</i>						

- Підвищений рівень шуму та вібрації: генеруються головним приводом верстата, зубчастими передачами та процесом переривчастого різання.

- Небезпечний рівень напруги в електричному ланцюзі: живлення верстатів здійснюється від трифазної мережі змінного струму напругою 380 В.

- Охолоджувальні рідини: хімічний вплив на шкіру оператора та слизові оболонки.

Психофізіологічні фактори:

- Фізичні перевантаження: викликані тривалим перебуванням у положенні стоячи, підняттям та встановленням важких заготовок чи технологічної оснастки (лещат, ділильних головок).

- Нервово-психічне перенапруження: монотонність праці, висока концентрація уваги під час обробки точних деталей.

2. Вимоги безпеки до організації та облаштування фрезерної дільниці

Безпека праці починається з правильного проектування та утримання виробничого приміщення.

2.1. Планування дільниці та розміщення обладнання

Розміщення фрезерних верстатів має відповідати вимогам санітарних норм та забезпечувати вільні проходи для робітників і транспортування заготовок/готової продукції.

- Ширина магістральних проходів повинна бути не менше 2.0–2.5 м.
- Відстань між верстатами у світлі (фронтальні та тильні сторони) має становити щонайменше 1.0–1.2 м для запобігання травмуванню суміжними працівниками.

- Зони руху цехового транспорту (навантажувачів, кран-балок) мають бути чітко розмежовані на підлозі сигнальною жовтою або білою фарбою.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		76

2.2. Виробниче освітлення

Недостатнє або неправильно підібране освітлення є прямою причиною помилок та травм. На фрезерній дільниці застосовується комбіноване освітлення (загальне + місцеве):

- Загальне освітлення виконується за допомогою світлодіодних (LED) світильників, які забезпечують рівномірне розсіювання світла без створення різких тіней. Нормативна освітленість робочої зони повинна становити не менше 300–500 лк.
- Місьцеве освітлення встановлюється безпосередньо на верстаті. Напруга живлення світильника місцевого освітлення не повинна перевищувати 24 В або 36 В для виключення ураження струмом у вологому середовищі. Світильник повинен мати рухомий кронштейн та непрозорий відбивач, що захищає очі фрезерувальника від осліплення.

2.3. Вентиляція та мікроклімат

Для видалення тепловиділень від верстатів та аерозолей МОР дільниця обладнується загальнообмінною припливно-витяжною вентиляцією. Безпосередньо над зоною різання фрезерних верстатів (особливо тих, що працюють у важких режимах або на ЧПУ) встановлюються місцеві відсмоктувачі (бортові або купольні панелі), які вловлюють туман МОР та дрібний пил.

3. Техніка безпеки при роботі на фрезерних верстатах

Цей підрозділ регламентує поведінку та технічні маніпуляції оператора на трьох основних етапах виробничого процесу.

3.1. Вимоги безпеки перед початком роботи

1. Одяг та ЗІЗ: Робочий одяг (комбінезон або халат) має бути застібнутий на всі гудзики, обшлага рукавів мають щільно прилягати до зап'ястків. Волосся необхідно повністю прибрати під головний убір (берет, косинку). Працювати в рукавицях або рукавичках біля рухомих частин верстата категорично заборонено, оскільки обертальна фреза може захопити

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		77

тканину і затягнути руку в зону різання. Взуття повинно мати жорсткий носок для захисту від випадкового падіння деталей.

2. Перевірка верстата: Фрезерувальник зобов'язаний візуально перевірити справжність заземлення, надійність кріплення захисних кожухів, роботу органів керування (кнопок "Пуск", "Стоп" та аварійного грибкового вимикача).

3. Холостий хід: Необхідно запустити верстат на холостому ході, перевірити справність системи змащення, подачі МОР, а також переконатися у відсутності сторонніх шумів, биття шпинделя чи підвищеної вібрації.

3.2. Вимоги безпеки під час виконання фрезерних робіт

- Закріплення заготовки та інструменту: Заготовка повинна бути надійно затиснута в лещатах, на прихватах або у спеціальних пристосуваннях. Закріплення фрези на оправці має виконуватися за допомогою спеціальних ключів. Забороняється використовувати випадкові прокладки або нарощувати ключі трубами.

- Режими різання: Встановлювати швидкість обертання та подачу слід строго відповідно до технологічної карти. Зміну режимів чи перемикання швидкостей дозволяється виконувати лише після повної зупинки шпинделя.

- Захисні екрани: Вести обробку необхідно із закритим захисним екраном з ударостійкого прозорого матеріалу (полікарбонату). Якщо екран відсутній, оператор зобов'язаний працювати в захисних окулярах.

- Контроль процесу: Забороняється нахилятися близько до зони різання, вимірювати деталі штангенциркулем чи мікрометром під час руху верстата, а також торкатися руками фрези, що обертається.

- Видалення стружки: Видаляти стружку з робочого столу та з деталі дозволяється лише за допомогою спеціальних щіток-кмітликів або гачків. Очищати верстат голими руками або видувати стружку стисненим повітрям (вона розлітається по всьому цеху та травмує очі) заборонено.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		78

3.3. Вимоги безпеки після закінчення роботи

1. Вимкнути електродвигун головного приводу, знеструмити верстат за допомогою ввідного автомата (рубильника).

2. Привести в порядок робоче місце: прибрати стружку, ретельно протерти верстат, очистити напрямні та змастити їх тонким шаром мастила для запобігання корозії.

3. Скласти інструмент, оснастку та оброблені деталі у відведені для цього інструментальні шафи та стелажі.

4. Здати зміну майстру або наступному робітникові, повідомивши про всі помічені несправності в роботі обладнання. Вимити обличчя та руки з милом або прийняти душ (для змивання залишків МОР).

4. Електробезпека на фрезерній дільниці

Оскільки металообробні верстати працюють під високою напругою та встановлені на бетонній підлозі (яка може бути вологою від МОР), ризик ураження електричним струмом є критичним.

- Захисне заземлення: Усі металеві неструмоведучі частини верстата (станина, корпуси електродвигунів, шафи керування), які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, повинні бути надійно з'єднані з загальноцеховим контуром захисного заземлення. Опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати 4 Ом.

- Ізоляція та кабелі: Силові кабелі, що підводять струм до верстатів, мають бути захищені від механічних пошкоджень (прокладаються в металевих трубах або спеціальних кабель-каналах у підлозі).

- Пристрої захисного вимкнення (ПЗВ): Електричні схеми живлення сучасних верстатів обладнуються автоматичними вимикачами та ПЗВ, що миттєво відключають напругу в разі витoku струму на корпус або короткого замикання.

5. Пожежна безпека на фрезерній дільниці

Пожежна небезпека на фрезерній дільниці зумовлена наявністю великої кількості горючих матеріалів: мастильних матеріалів, трансформаторних олів

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		79

для гідросистем, гасу або оливних МОР, а також дерев'яної тари чи дрібної металевої стружки (наприклад, титанової або магнієвої, яка здатна самозайматися при високих температурах різання).

Основні заходи протипожежного захисту:

- Організаційні заходи: Паління на території дільниці суворо заборонено (дозволяється лише у спеціально відведених місцях). Промаслене ганчір'я (ветош) має збиратися в спеціальні металеві ящики з щільними кришками та виноситися з цеху в кінці кожної зміни.
- Первинні засоби пожежогасіння: Дільниця обов'язково комплектується пожежними щитами. Оскільки гасити електроустановки та оливи водою не можна, на дільниці розміщують вуглекислотні (ВВ-3, ВВ-5) або порошкові (ВП-5, ВП-10) вогнегасники, ящики з сухим піском та лопати.
- Автоматика: Приміщення обладнується автоматичною пожежною сигналізацією з тепловими або димовими датчиками, а також системою оповіщення про евакуацію.

Висновки до розділу

Розроблений комплекс організаційних, технічних та санітарно-гігієнічних заходів забезпечує мінімізацію ризиків травматизму та професійних захворювань на фрезерній дільниці. Виконання вимог інструкцій з техніки безпеки, підтримання справного технічного стану верстатів, використання ефективних систем вентиляції, заземлення та засобів пожежогасіння дозволяє створити безпечне робоче середовище, що повністю відповідає чинному законодавству України про охорону праці.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційні роботі бакалавра на тему «Конструювання приводу головного руху вертикально-фрезерного верстата та розробка технологічного процесу виготовлення деталі «Вал ведучий РА 2.414»» здійснено:

- аналіз конструкції та службове призначення деталі;
- аналіз характеристик матеріалу деталі;
- визначено тип виробництва;
- вибір і обґрунтування одержання заготовки;
- вибір технологічного обладнання та оснащення;
- визначено міжопераційні припуски та розміри;
- вибір різального, допоміжного та контрольно-вимірювального інструменту;
- розраховано режими різання та технічні норми часу
- проведено кінематичний розрахунок приводу головного руху вертикально-фрезерного верстата;
- спроектовано коробку швидкостей вертикально-фрезерного верстата.

Впровадження у виробництво проектного варіанту технологічного процесу, по відношенню до базового варіанту, досягнуті позитивні результати,.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Загальні висновки</i>					
Розроб.		<i>Іванський В.</i>						Лім.	Арк.	Аркушів
Перевір.		<i>Кобельник В.</i>							81	1
Реценз.								<i>ТНТУ, МВС-41 м. Тернопіль</i>		
Н. Контр.		<i>Кобельник В.</i>								
Затверд.		<i>Крупа В.</i>								

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кваліфікаційна робота бакалавра: структура, вимоги до виконання та захист. Методичні рекомендації для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Галузеве машинобудування» зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування галузі знань 13 Механічна інженерія для здобувачів всіх форм здобуття освіти / уклад.: Р. А. Склярів, В. Р. Кобельник, В. В. Крупа, Р. Я. Лещук, А. А. Сенік, В. В. Шанайда, А. В. Гагалюк, В. М. Буховець. – Тернопіль : ТНТУ, 2025. 78 с.
2. Агрегатно-модульне технологічне обладнання: Ч. II. Проектування та дослідження вузлів агрегатно-модульного технологічного обладнання: навч. посібник / за ред. Ю. М. Кузнєцова. Кіровоград, 2003. 286 с.
3. V. Krupa et al. Improved Method for Determining the Feed Influence on the Tangential Cutting Force During Re-drilling, Countersinking and Boring Based on the Small Sample Theory. Periodica Polytechnica Mechanical Engineering. 2024. URL: <https://doi.org/10.3311/ppme.29952>.
4. V. Krupa, N. Tymoshenko, V. Kobelnyk, I. Petrechko, Probability-statistical estimation method of feed influence on the tangential cutting force under turning, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 114/1 (2022) 22-31.
5. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок.: Львів: Світ, 1996. 368 с.
6. Бочков В. М., Сілін Р. І., Гаврильченко О. В. Металорізальні верстати : навч. посіб.: Львів Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2009. 268 с.
7. Бочков В.М., Сілін Р.І., Гаврильченко О.В. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів: підручник. Львів: Бескд Бі, 2008. 448 с.

КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Іванський В.			<i>Перелік посилань</i>	Лім.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кобельник В.					82	6
Реценз.						<i>ТНТУ, МВС-41 м. Тернопіль</i>		
Н. Контр.		Кобельник В.						
Затверд.		Крупа В.						

8. Гейчук В.М. Функціональне проектування верстатів, роботів та машин в Autodesk Inventor (Частина I): навч. посіб. Навчальне мережне електронне видання. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 394 с.
9. Данильченко Ю.М., Шевченко О.В., Ковальов В.А., Волошин В.Н. Металообробне обладнання. Кінематичний аналіз металорізальних верстатів: навч. посіб.: К.: НТУУ «КПІ», 2007. 60 с.
10. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці: навчальний посібник.: Львів: Афіша, 2000. 350 с.
11. Залога В. О. Розрахунок режимів різання при точінні, свердлінні, фрезеруванні : навчальний посібник. Київ : ІСІ, 1994. 176 с.
12. Кальченко В. І. , Кологойда А. В, О. С. Следнікова. Розрахунок та конструювання коробок швидкостей металорізальних верстатів. Методичні вказівки до виконання практичних та розрахунково-графічної робіт : Чернігів: ЧНТУ, 2016. 111 с.
13. Кобельник В. Р. Підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів регулюванням подачі : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01. Тернопіль : [б. в.], 2013. 21 с.с
14. Кобельник В.Р, Кривий П.Д. Жорсткість вертикально-свердлильних верстатів. *Вісник ЖДТУ. Технічні науки.* : Житомир : ЖДТУ, 2007. Вип. № 1 (40). С. 34–40.
15. Кобельник В.Р, Кривий П.Д. Методика дослідження кінематичної точності механізму подач вертикально-свердлильних верстатів на прикладі верстата моделі 2Н118. *Процеси механічної обробки в машинобудуванні* : зб. наук. праць. : Житомир : ЖДТУ, 2010. Вип. 8. С. 99–108.
16. Кобельник В.Р, Крупа В.В., Тимошенко Н.М. Використання методу ітерацій для дослідження точності подач металорізальних верстатів. *Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї : наука : виробництво*: тези допов. : Краматорськ: ДДМА, 2018. С. 78-80.
17. Кобельник В.Р. Ефективність керованого процесу свердління наскрізних отворів шляхом забезпечення зміни подачі. *Надійність*

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		83

інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць.:
Краматорськ, 2012. – Вип. № 31. С. 47–56.

18. Кобельник В.Р. Підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів регулюванням подачі: дис. канд. техн. наук: 05.03.01: / Кобельник Володимир Романович; Терноп. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. - Т., 2013. - 21 с.

19. Кобельник О.С. Оліховський В.І., Кобельник В.Р. Пристрій для забезпечення зміни подачі при свердлінні наскрізних отворів. Матеріали XIV Міжнародна науково-практична конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (11–12 грудня 2025 р.). Тернопіль: ТНТУ, 2025. С. 278 – 279.

20. Ковбашин В. І., Пік А. І. Інженерна графіка : навч. посіб. м. Тернопіль : Підруч. і посіб., 2023. 240 с.

21. Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Кузьмін М.І. Про характер зміни подачі при виході інструменту із тіла заготовки в процесі свердління наскрізних отворів. *Вісник ТНТУ : Науковий журнал.*: Тернопіль : ТНТУ, 2012. № 4 (68). С. 114–127.

22. Кривий П.Д., Кобельник В.Р. Конструкторсько-технологічне забезпечення процесу свердління наскрізних отворів. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. :* Краматорськ, 2011. Вип. № 28. С. 77–85.

23. Кривий П.Д., Кобельник В.Р. Вплив головного заднього кута спірального свердла на осьове зусилля і крутний момент при свердлінні. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць.*: Краматорськ, Київ, 2006. Вип. № 19. С. 58–64.

24. Кривий П.Д., Кобельник В.Р. Конструкторсько-технологічне забезпечення зменшення задирок при наскрізному свердлінні. *Всеукраїнська молодіжна конференція «Машинобудування України очима молодих :*

					КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

прогресивні ідеї – наука – виробництво, 22 – 25 жовтня 2012 р. : тези допов. : К. : КПІ, 2012. Том 1. С. 71–73.

25. Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Продан В.І., Яковлев В.Г. Методи вимірювання головного заднього кута спірального свердла. *Науковий вісник ХДМА : Науковий журнал.*: Херсон : ХДМА, 2012. № 2 (7).С. 145–155.

26. Кривий П. Д. Метод оцінювання статичної точності кінематичних ланцюгів подач консольних фрезерних верстатів / П. Д. Кривий, В. Р. Кобельник, В. В. Крупа, Н. М. Тимошенко // *Прогресивні технології в машинобудуванні : збірник наукових праць, Львів-Плай. – Львів, 2020. – С. 103–105.*

27. Кривий П.Д., Тимошенко Н.М., Дзюра В.О., Кобельник В.Р. Уточнений метод апріорно-емпіричних функцій визначення закону розподілу та його характеристик на основі малої вибірки. *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“ до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року.*: ТНТУ, 2020. С. 132–133.

28. Крупа В.В. Теорія технічних систем: особливості побудови, створення та розвитку : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Осадця, 2023. 308 с.

29. Крупа В.В., Кобельник В.Р. Призначення режимів різання при точінні табличним методом : Навчальний посібник - практикум. Тернопіль : ФОП ПАЛЯНИЦЯ, 2025. 144 с.

30. Кузнецов Ю. М., Скляр Р. А. Прогнозування розвитку технічних систем: навч. посібник / Ю. М. Кузнецов, Р. А. Скляр; під ред. Ю. М. Кузнецова. – Київ : ТОВ «ЗМОК» – ПП «ГНОЗІС», 2004. – 323 с.

31. Кухарський О. М., Кушак І .В. Методичні вказівки для виконання курсового проекту з предмету: «Технологія машинобудування». Тернопіль, 2001. 280 с.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

32. Кухарський О.М., Кузьмін М.І. Визначення припусків табличним методом.: Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2004. 135 с.
33. Мазур М. П. та ін. Основи теорії різання матеріалів. Львів : Новий Світ–2000, 2010.
34. Мархель І. І. Деталі машин : навчальний посібник. Київ : Алерта, 2005. 368 с.
35. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунків деталей машин. К.: «Вища школа», 1993. 560 с.
36. Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки: навчальний посібник.: Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.
37. Паливода Ю.Є., Кухарський О.М. Визначення припусків розрахунково аналітичним методом: Тернопіль, 2003. 81 с.
38. Senyk A., Kobelnyk V., Gagaliuk A., Plavutska I., Matviyishyn A., Larochnik A., Dubyniak T. New technology for the manufacturing and use of rolling kingpin bushings in the undercarriage of certain vehicles. *Procedia Structural Integrity*. 2024. Vol. 59. P. 508–515.
39. Senyk A., Kovalov V., Klymenko G., Vasylchenko Y., Shapovalov M., Kobelnyk O. Harmonic-dispersion analysis of the shape accuracy of the rolling bushings of drive roller and bushing chains. *Procedia Structural Integrity*. 2024. Vol. 59. P. 502–507.
40. Розточувальні інструменти з попарно-асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких циліндричних отворів П. Д. Кривий, В. Р. Кобельник, В. В. Крупа, В. Г. Яковлев. *Технічні науки та технології*. 2016. № 2 (4). С. 28-35.
41. Крупа В., Кобельник В., Гагалюк А. Обґрунтування параметрів спеціального трикулачкового патрона для затиску тонкостінних циліндричних заготовок. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*. 2023. № 4. С. 128–137. URL: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.4.16>.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		86

42. Brailo, M. V., Buketov, A. V., Kobelnyk, O. S., Yakushchenko, S. V., Sapronova, A. V., Sapronov, O. O., & Vasilenko, A. O. (2018). Оптимізація вмісту добавок у епокси-поліефірному зв'язувачі для підвищення когезійної міцності композитів. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(11), 71-77.

<https://doi.org/10.15421/40281114>

43. Розрахунок та конструювання коробок швидкостей металорізальних верстатів. Методичні вказівки до виконання практичних та розрахунково-графічної робіт : Чернігів: ЧНТУ, 2016. 111 с.

44. Склярів Р. А., Шанайда В. В., Савчук М. А. Дослідження перехідних процесів електропривода металорізального верстата з використанням інформаційних технологій. *Вісник ТНТУ*. 2011. Том 16. № 1. С.117-125.

45. Шанайда В.В. *Пакет MathCAD в інженерних розрахунках*. Тернопіль : Вид-во ТДТУ, 2001.

					<i>КРБ 23-354.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		87