

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

## бакалавр

(освітній ступінь)

на тему: Конструювання приводу головного руху вертикально-свердлильного верстата зі змішаним регулюванням та розробка технологічного процесу виготовлення деталі «Вал редуктора двоступінчатого»  
(комплексна тема)

Виконали: студенти 4 курсу, групи МВс-41  
спеціальності \_\_\_\_\_

133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

Дрозд О.С.

Крук В.В.

(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





Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)  
Кафедра Конструювання верстатів, інструментів та машин  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
Крупа В.В.  
(прізвище та ініціали)  
« » 2026 р.

**З А В Д А Н Н Я  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня «бакалавр»  
(назва освітнього ступеня)  
за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»  
(шифр і назва спеціальності)  
студенту Круку Володимирі Васильовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Конструювання приводу головного руху вертикально-свердлильного верстата зі змішаним регулюванням та розробка технологічного процесу виготовлення деталі «Вал редуктора двоступінчатого» (комплексна тема)

Керівник роботи Кобельник Володимир Романович, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 21 » 01 2026 року № 4/9-35

2. Термін подання студентом завершеної роботи 22.06.2026

3. Вихідні дані до роботи Технічне креслення деталі «Вал редуктора двоступінчатий» Базовий технологічний процес обробки деталі. Верстати-аналоги. Аналоги конструкцій коробок швидкостей вертикально-свердлильних верстатів. Конструкції варіаторів.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітична частина (загальна частина). Характеристика об'єкту виробництва

2. Технологічна частина Технологічний розрахунок

Розробка маршрутного та операційного технологічного процесу обробки

Інструментальне забезпечення технологічної операції

3. Конструкторська частина Розробка кінематичної схеми верстату

Конструювання вузлів верстату

Розробка конструкції пристрою для механічної обробки

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці

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

Кінематична схема верстата – 1 ф.А1

Виконавчі механізми свердлильного верстата (коробка швидкостей) – 2 ф.А1.

Виконавчі механізми свердлильного верстата (шпиндельний вузол) – 1 ф.А1.

Карта налагодження – 1 ф.А1.

Розрахунково-технологічна карта – 1 ф.А1.



## АНОТАЦІЯ

Дрозд О.С., Крук В.В. Конструювання приводу головного руху вертикально-свердлильного верстата зі змішаним регулюванням та розробка технологічного процесу виготовлення деталі «Вал редуктора двоступінчатого» (комплексна тема) : 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, 126 с.

Розроблено маршрутний технологічний процес механічної обробки деталі, обрано відповідне технологічне обладнання та оснащення, розроблена операційна технологія, визначено різальний, допоміжний і вимірювальний інструменти. Табличним методом здійснено розрахунок режимів різання та технічних норм часу для всіх операцій технологічного процесу механічної обробки деталі «Вал редуктора двоступінчатого».

Також проведено аналіз схем формоутворення на вертикально-свердлильному верстаті, запропоновано реалізовувати привід головного руху зі змішаним регулювання використавли варіатор для безступеневого регулювання частот обертання та класичну ступеневу коробку швидкостей, виконано кінематичний розрахунок лінії приводу головного руху, спроектовано коробку швидкостей, варіатор і шпindelний вузол верстату. Розроблено конструкцію верстатного пристосування.

Ключові слова: вал, верстат, різальний інструмент, технологічний процес, режими різання, привід головного руху, шпindel, свердло.

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Дрозд О.</i>			<i>Анотація</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Крук В.</i>					6	2
<i>Перевір.</i>		<i>Кобельник В.</i>				<i>ТНТУ, гр. МВс-41 м. Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крупа В.</i>						

Drozd O.S., Kruk V.V. Design of the main drive of a vertical drilling machine with mixed speed regulation and development of the manufacturing process for the part «Two-stage gearbox shaft» (comprehensive topic). 133 – Industrial engineering; Ternopil Ivan Puluj National Technical University; Ternopil, 2026, 126 p.

A routing technological process for the machining of the part has been developed; appropriate technological equipment and tooling have been selected; the operational technology has been developed; and the cutting, auxiliary, and measuring tools have been determined.

The cutting conditions and technical time standards for all operations in the technological process of machining the «Two-stage gearbox shaft» part have been calculated using the tabular method.

Additionally, an analysis of the shaping schemes on a vertical drilling machine has been conducted. It is proposed to implement the main motion drive with mixed regulation, utilizing a variator for stepless adjustment of rotational speeds alongside a classic stepped gearbox. The kinematic calculation of the main motion drive line has been performed, and the gearbox, variator, and spindle unit of the machine tool have been designed. Furthermore, the design of the machine tool fixture has been developed.

Key words: shaft, machine tool, cutting tool, technological process, cutting modes, main motion drive, spindle, drill

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		7

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	10
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА .....	13
1.1 Характеристика об'єкту виробництва, його службового призначення, аналіз технічних умов на виготовлення.....	13
1.2 Розробка технологічної схеми складання вузла .....	14
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	17
2.1 Опис конструкції та службового призначення деталі «Вал редуктора двоступінчатого». Аналіз її технічних вимог.....	17
2.2 Характеристика матеріалу деталі .....	20
2.3 Визначення типу виробництва і величини партії деталей.....	21
2.4 Вибір і обґрунтування методу одержання заготовки .....	24
2.4.1 Техніко-економічні обґрунтування вибору заготовки.....	24
2.4.2 Вибір заготовки за коефіцієнтом використання матеріалу.	28
2.5 Розробка маршрутного технологічного процесу .....	29
2.5.1 Вибір технологічного обладнання і оснащення .....	32
2.5.2 Визначення міжопераційних припусків і проміжних розмірів .....	35
2.5.3 Розробка операційної технології.....	38
2.5.4 Вибір різального, допоміжного та контрольовимірного інструменту .....	40
2.5.5 Вибір режимів різання .....	47
2.5.6 Розрахунок технічних норм часу .....	54
2.6 Обґрунтування вибраного оснащення на операцію.....	60
2.6.1 Призначення, будова і принцип роботи пристосування ..	60
2.6.2 Вибір схеми базування і розрахунок похибки базування	61
2.6.3 Розрахунок сили затиску деталі.....	62
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	64
3.1 Аналіз формоутворення поверхонь	64

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Дрозд О.			<i>Зміст</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Крук В.					8	2
Перевір.		Кобельник В.				<i>ТНТУ, гр. МВс-41 м. Тернопіль</i>		
Н. Контр.		Кобельник В.						
Затверд.		Крупа В.						

3.1.1	Аналіз оброблюваних поверхонь на деталях	64
3.1.2	Визначення комплексу виконавчих рухів верстата	67
3.2.	Кінематичний розрахунок приводів.	68
3.2.1	Вибір структури приводів	68
3.2.1	Привід головного руху верстата	68
3.2.2	Привід подач верстата	70
3.3	Вибір двигунів приводів верстата	72
3.3.1	Визначення втрат в кожному переході	72
3.3.2	Перевірка двигуна	73
3.3.3	Кінематичний розрахунок приводів	75
3.3.3.1	Привід головного руху верстата	75
3.4	Конструкція і розрахунок коробки швидкостей верстата	81
3.4.1	Опис конструкції і принципу роботи коробки швидкостей верстата	81
3.4.2	Розрахунок конструктивних параметрів зубчастих коліс	81
3.4.3	Розрахунок валів приводу	87
3.5	Конструкція та розрахунок шпиндельного вузла (ШВ) верстата	91
3.5.1	Опис конструкції ШВ та принцип його роботи	91
3.5.2	Вимоги до шпиндельного вузла	92
3.5.3	Вибір компоновальної схеми та геометричних характеристик ШВ	94
3.5.4	Розрахунок статичної осьової жорсткості ШВ	96
4.	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	109
4.1	Характеристика виробничої ділянки з точки зору охорони праці та заходи по покращенню умов праці .....	109
4.2	Розрахунок основного показника з техніки безпеки .....	114
	ВИСНОВКИ .....	121
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	122
	ДОДАТКИ .....	126

## ВСТУП

Машинобудування є однією з провідних галузей промисловості, яка визначає рівень науково-технічного розвитку держави та значною мірою впливає на ефективність функціонування всіх секторів економіки. Саме підприємства машинобудівної галузі забезпечують виробництво машин, механізмів, технологічного обладнання, транспортних засобів та інших технічних систем, необхідних для розвитку промисловості, сільського господарства, енергетики, будівництва та сфери послуг. Рівень розвитку машинобудування є важливим показником економічного потенціалу країни, оскільки ця галузь сприяє впровадженню інноваційних технологій, підвищенню продуктивності праці та зміцненню конкурентоспроможності національної економіки.

У сучасних умовах глобалізації та швидкого науково-технічного прогресу особливого значення набуває модернізація виробничих процесів машинобудівних підприємств. Зростання вимог до якості продукції, точності виготовлення деталей та ефективності виробництва потребує застосування сучасного високопродуктивного обладнання і вдосконалення технологічних процесів механічної обробки. Одним із ключових напрямів розвитку машинобудування є підвищення точності та продуктивності операцій обробки металів різанням, що безпосередньо впливає на якість готових виробів і економічні показники виробництва.

Важливе місце серед технологічних процесів механічної обробки займає свердління. Ця операція широко використовується під час виготовлення деталей машин і механізмів для утворення отворів різного призначення. Отвори є невід'ємними конструктивними елементами більшості машинобудівних виробів, оскільки використовуються для встановлення

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Дрозд О.</i>			<i>Вступ</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Кпнк В</i>					10	3
<i>Перевір.</i>		<i>Кобельник В.</i>				<i>ТНТУ, гр. МВс-41 м. Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крупа В.</i>						

кріпильних елементів, валів, осей, підшипників, трубопроводів та інших вузлів. Якість виконання операції свердління значною мірою визначає точність складання виробів, їх надійність та довговічність у процесі експлуатації.

Свердління належить до найбільш поширених і затребуваних операцій механічної обробки. Воно застосовується як на етапі виготовлення заготовок, так і під час остаточної обробки деталей. Крім створення нових отворів, технологічний процес може включати розсвердлювання, зенкерування, розгортання та нарізання різьби. Виконання цих операцій потребує використання спеціалізованого обладнання, здатного забезпечити необхідну точність, продуктивність і якість обробки поверхонь.

Особливу роль у машинобудівному виробництві відіграють свердлильні верстати. Вони належать до універсального металорізального обладнання та широко застосовуються як у серійному й масовому виробництві, так і в ремонтних майстернях та індивідуальному виготовленні деталей. Сучасні свердлильні верстати характеризуються високою продуктивністю, надійністю та можливістю автоматизації технологічних процесів. Використання верстатів із числовим програмним керуванням дозволяє значно підвищити точність обробки, скоротити час виготовлення деталей та зменшити вплив людського фактора на якість продукції.

Удосконалення конструкцій свердлильних верстатів та впровадження нових технологій обробки є важливими завданнями сучасного машинобудування. Постійне зростання вимог до точності розмірів і взаємного розташування отворів зумовлює необхідність розроблення більш ефективних технологічних рішень та використання сучасних інструментальних матеріалів. Від технічних характеристик свердлильного обладнання залежить якість виготовлення деталей, продуктивність праці та економічна ефективність виробничого процесу загалом.

Актуальність дослідження зумовлена важливістю машинобудівної галузі для економічного розвитку країни та необхідністю вдосконалення технологічних процесів механічної обробки. Рациональне використання

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		11

свердлильних верстатів і сучасних методів свердління сприяє підвищенню якості продукції, зниженню виробничих витрат і забезпеченню конкурентоспроможності машинобудівних підприємств на внутрішньому та зовнішньому ринках.

Таким чином, розвиток машинобудування є одним із ключових чинників економічного зростання держави, а операції свердління та свердлильні верстати займають важливе місце у виробничих процесах цієї галузі. Саме тому дослідження особливостей виконання свердлильних операцій, конструкції та принципів роботи свердлильних верстатів має важливе теоретичне та практичне значення для підвищення ефективності сучасного машинобудівного виробництва.

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		12

# 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

## 1.1 Характеристика об'єкту складовою якого є , його службового призначення, аналіз технічних умов на виготовлення

Загальні положення та ресурсні показники. Виготовлення приводного механізму має здійснюватися у суворій відповідності до чинної нормативно-технічної документації та на базі затвердженого комплексу робочих креслень для відповідного типорозміру виробу.

Механізм має гарантувати відпрацювання 90 % від заявленого в паспорті ресурсу навіть за умов пікових пускових перевантажень, що перевищують номінальні робочі показники щонайменше вдвічі. Гранична кількість навантажувальних циклів для швидкохідного вала, їхня частота та сумарна тривалість роботи в режимі перевантаження суворо регламентуються стандартами та супровідними паспортами на конкретний тип обладнання.

Вимоги до кінематики та зачеплення. Зона фактичного прилягання (пляма контакту) у зубчастому зачепленні має покривати понад 50 % як за висотою, так і за довжиною профілю зуба. Допустимий діапазон сумарного осьового люфту для підшипникових вузлів обох валів (вхідного та вихідного) встановлюється в межах 0,04...0,07 мм. Після остаточного складання обертання валів має здійснюватися плавно, від зусилля руки, без будь-яких заклинювань чи пульсацій.

Перед введенням в експлуатацію агрегат підлягає обов'язковій процедурі стендової обкатки під номінальним навантаженням тривалістю не менше однієї години.

Змащування, герметизація та покриття. У процесі фінального монтажу площини розняття кришки та картера підлягають ущільненню тонким шаром герметизуючої пасти. На всі зовнішні та внутрішні необроблені (ливарні)

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Дрозд О.</i>			<i>Загальна частина</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Крук В.</i>					13	4
<i>Перевір.</i>		<i>Кобельник В.</i>				<i>ТНТУ, гр. МВс-41 м. Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крупа В.</i>						

поверхні корпусу, а також на пробку зливного отвору та елементи мастиловказівника наноситься двошарове лакофарбове покриття. Картерна система змащування передбачає заливання індустріальної оливи марки І-Т-Д 100 до максимального рівня за контрольним щупом. Регламентна заміна рідкого мастильного матеріалу проводиться щонайменше раз на 12 місяців.

Вільний простір у підшипникових камерах на 2/3 об'єму заповнюється консистентним мастилом типу Літол-26.

Вимоги до мікрогеометрії (шорсткості) Шорсткості робочих профілів зубчастих вінців має бути: Ra 1,25 мкм - для зубчастих передач зовнішнього зачеплення з модулем до 5 мм; Ra 2,5 мкм - для евольвентних зачеплень з модулем понад 5 мм, а також для валів-шестерень (модуль до 5 мм), якщо діаметр кола западин є меншим за розміри сусідніх підшипникових шийок; Ra 40 мкм - для зон перехідної галтелі та на дні западин зубчастих коліс.

Точність базування та корпусні елементи. Розмірні параметри та допуски розташування (позиційний допуск) отворів під кріпильні фундаментні болти призначаються згідно з чинними нормами. Відхилення від паралельності або перпендикулярності вихідного (тихохідного) вала відносно базової площини корпусу регламентуються 12-м ступенем точності для приводів 2-ї категорії, та 10-м ступенем - для редукторів 1-ї категорії точності.

## 1.2 Розробка технологічної схеми складання вузла

Послідовність виконання складальних операцій для механізму «Редуктор двоступінчастий» систематизовано та представлено у вигляді маршрутного технологічного процесу (див. табл. 1.1).

Таблиця 1.1 - Опис технологічної схеми складання редуктора

№ опер	Назва операції	Зміст операції
005	Комплектовочна	Взяти деталі згідно специфікації на виріб і доставити на робоче місце
010	Підготовча	Деталі підготувати до складання

					<b>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

015	Складання валу швидкохідного (ск3)	1. Закріпити вал (дет.2). 2. Встановити підшипники (дет.35). 3. Встановити шайби (дет.15). 4. Перевірити хід підшипників.
020	Встановлення швидкохідного валу (ск3)	1. Закріпити корпус (дет.1). 2. Встановити ведучий вал (ск3).
025	Встановлення зовнішніх деталей ведучого валу (ск2)	1. Встановити кільце (дет.10). 2. Встановити прокладку (дет.21). 3. Встановити манжету в кришку (дет.33). 4. Прикрутити кришку до корпусу гвинтами (дет.26).
030	Складання валу проміжного (ск4)	1. Закріпити вал (дет.4) 2. Запресувати колесо (дет.6) 3. Встановити підшипники (дет.33) 4. Встановити стопорні шайби (дет.14). 5. Перевірити хід підшипників.
035	Встановлення валу-проміжного (ск4)	1. Закріпити корпус (дет.1). 2. Встановити проміжний вал в сборі (ск4).
040	Встановлення зовнішніх деталей валу-шестерні (ск2)	1. Встановити кільця (дет.8 і 9). 2. Встановити прокладку (дет.20). 3. Встановити кришку (дет.29). 4. Прикрутити кришку болтами (дет.26).
045	Складання тихохідного валу (ск5)	1. Закріпити вал (дет.5) 2. Запресувати колесо (дет.7) 3. Встановити підшипники (дет.32) 4. Встановити стопорні шайби (дет.13). 5. Перевірити хід підшипників.
050	Встановлення тихохідного валу (ск5)	1. Закріпити корпус (дет.1). 2. Встановити тихохідний вал (ск5).

055	Встановлення зовнішніх деталей тихохідного валу (ск5)	1. Встановити кільце (дет.10). 2. Встановити прокладку (дет.23). 3. Встановити манжету (дет.32) в кришку (дет.31). 4. Прикрутити кришку (дет.31) гвинтами (дет.26).
060	З'єднання частин корпусу	1. Встановити кришку редуктора (дет.24). 2. Встановити штифти (дет.35).
065	Встановлення кришки оглядового вікна	1. Встановити прокладку. 2. Встановити кришку оглядову (дет.16), прикрутивши її гвинтами (дет.27). 3. Встановити в кришку сапун (дет.17), масло вказівник (дет.18), пробку (дет.22).
070	Встановлення шпонки на вхідному валу	Встановити шпонку 34 на взідний вал.
075	Контрольна	Перевірити легкість обертання тихохідного і швидкохідного валу.

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

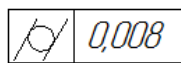
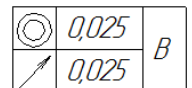
### 2.1 Опис конструкції та службового призначення деталі «Вал редуктора двоступінчатого». Аналіз її технічних вимог.

«Вал редуктора двоступінчатого» є конструкційним елементом, призначеним для трансмісії обертового моменту за допомогою встановленого на ньому зубчастого колеса. Цей редукторний вузол є частиною приводного механізму технологічної машини, що забезпечує приготування будівельних розчинів та сумішей.

Геометрія виробу представлена сходиною формою, яка додатково оснащена шліцевими пазами. Згідно з конструктивно-технологічними характеристиками та класифікатором ЄСКД, цей виріб належить до класу 71 («Вали, осі»).

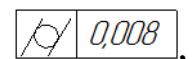
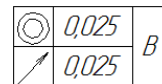
Конструкція деталі є типовою і має високий рівень розповсюдження у галузі машинобудування. Аналіз графічної документації (креслення) з позицій оцінки якості та шорсткості дозволяє класифікувати поверхні, що підлягають механічній обробці, на основні та допоміжні. Зокрема, до категорії основних поверхонь належать:

два циліндри діаметром  $\varnothing 60js6$  Ra 0,8 з відхиленням



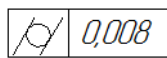
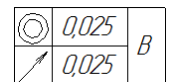
, що призначені під посадки для підшипників;

циліндр діаметром  $\varnothing 60x8$  Ra1,6 з відхиленням



застосовується для зубчастого колеса;

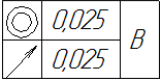
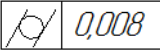
циліндр діаметром  $\varnothing 60d9$  та шорсткості Ra1,6 з відхиленням



, призначений під посадки для манжети;

КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Дрозд О.			Технологічна частина	Лім.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Крук В.					17	47
Перевір.		Кобельник В.				ТНТУ, гр. МВс-41		
Н. Контр.		Кобельник В.				м. Тернопіль		
Затверд.		Крупа В.						

циліндр з розміром  $\varnothing 60d11$  Ra1,6 із відхиленням  , застосовується для посадки під кільця.

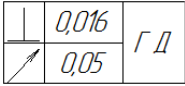
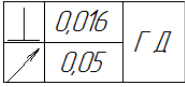
До допоміжних поверхонь належать отвори та  $\varnothing 4$  та різю М6 розміщені на торці деталі, а також шліцеві пази  $45 \times \frac{H7}{g6} \times 1.25 \times \frac{H9}{g9}$ , що використовуються для при приєднанні двигуна приводу

Аналіз технічних вимог для всіх розмірів поверхонь деталі «Вал редуктора двоступінчастого» зводиться в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 - Аналіз технічних вимог

Позначення (номер) поверхні	Назва поверхні та зміст її технічної вимоги	Точність (квалітет, ступінь)	Шорсткість (в мкм)
1	2	3	4
Поверхні 1, 2	Торці розміром 217	14	Ra3,2
Поверхня 3	Циліндр розміром $\varnothing 60js6$  	6	Ra0,8
Поверхня 4	Циліндр розміром $\varnothing 60d11$  	1	Ra1,6
Поверхня 5	Циліндр розміром $\varnothing 60x8$	8	Ra1,6
Поверхня 6	Циліндр розміром $\varnothing 71h14$ 	14	Ra3,2
Поверхня 7	Циліндр розміром $\varnothing 60js6$  	6	Ra0,8
Поверхня 8	Циліндр розміром $\varnothing 60d9$	9	Ra1,6



Поверхня 9	Циліндр розміром $\varnothing 53h14$	14	Ra3,2
Поверхня 10	Отвір розміром $\varnothing 4$	14	Rz40
Поверхня 11	Отвір розміром М6	14	Rz40
Поверхня 12	Торець розміром $28^{+0,52}$	14	Ra3,2
Поверхня 13	Торець розміром $10^{+0,32}$	14	Ra3,2
Поверхня 14	Торець розміром $52^{+0,74}$ 	14	Ra3,2
Поверхня 15	Торець розміром $112^{+0,87}$ 	14	Ra3,2
Поверхня 16	Фаска розміром $3 \times 15^\circ$	14	Ra3,2
Поверхні 17	Фаска розміром $1 \times 45^\circ$	14	Ra3,2
Поверхні 18, 19	Фаска розміром $2 \times 45^\circ$	14	Ra3,2
Поверхні 20, 21	Галтель розміром R2	14	Ra3,2
Поверхня 22	Шліцеві пази розміром $45 \times \frac{H7}{g6} \times 1.25 \times \frac{H9}{g9}$		Ra3,2

## 2.2 Характеристика матеріалу деталі

Згідно із креслеником деталь розглядувана виготовляється з сталевого прокату, а саме зі сталі 40ХН – сталь конструкційна легована.

Хімічний склад оброблюваного матеріалу вибираємо і заносимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 - Хімічний склад сталі 40ХН, в %

P	Si	Mn	Ni	Cr	S
до 0,035	0,17-0,37	0,5-0,8	1-1,4	0,45-0,75	до 0,035

Механічні властивості матеріалу вибираємо і заносимо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Механічні властивості сталі 40ХН

$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %
960	780	10	58

У промисловому секторі цей матеріал застосовується для виготовлення високонавантажених вузлів та деталей, що функціонують у режимі інтенсивних динамічних і вібраційних впливів та потребують підвищених показників міцності. Зокрема, з нього виробляють осі, циліндричні елементи, колінчасті й колісні вали, шатуни, шпинделі, приводні зірочки, тяги, ободи, траверси, бандажі та диски.

Дана марка сталі відзначається високою технологічністю під час механічної обробки та забезпечує належні робочі властивості готових виробів. Матеріал належить до категорії важкозварюваних, а оптимальний комплекс його фізико-механічних характеристик досягається шляхом термічної обробки, яка включає загартування з наступним відпуском.

Враховуючи наведені експлуатаційні параметри та специфіку роботи вузла, можна зробити висновок про технічно обгрунтований та правильний вибір конструкційного матеріалу.

### 2.3 Визначення типу виробництва

Насамперед необхідно визначити тип виробництва, враховуючи з річну програму випуску деталей  $N=450,0$  шт. в рік відповідно завданням і масою деталі 4,590 кг. Згідно табл. 2.4 тип виробництва - дрібносерійний.

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Таблиця 2.4 – Вибір типу виробництва по програмі випуску

Тип виробництва	Число деталей, що обробляється упродовж року		
	крупних (M > 50 кг)	середніх (50 кг ≥ M ≥ 1 кг)	дрібних (M ≤ 1 кг)
одиничне	До 5	До 10	До 100
серійне	понад 5 до 1000,	понад 10 до 5000,0	понад 100 до 50000,0
масове	понад 1000,0	понад 5000,0	понад 50000,0

Даному типу виробництва характерно:

Характер організації виробництва: предметно-потокова форма; Просторове розташування обладнання: відповідно до послідовності етапів технологічного процесу; Кваліфікаційний рівень персоналу: диференційований (різний); Циклічність виконання операцій: періодично повторювана; Специфіка технологічних процесів: типові, розроблені за маршрутно-операційним принципом; Склад технологічного обладнання: поєднання універсальних та спеціалізованих верстатів; Технологічне оснащення: використання універсальних та збірно-розбірних пристроїв; Різальний інструмент: застосування інструменту універсального та спеціального призначення; Засоби вимірювального контролю: спеціалізовані калібри та шаблони; Вид вихідних заготовок: металопрокат, литі заготовки, штамповані вироби та кованки; Забезпечення заданої точності складання: реалізується за допомогою методу часткової взаємозамінності; Економічні показники: середня собівартість готової продукції.

Розрахунок оптимального розміру партії здійснюється за залежністю:

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

де  $N=450,0$  шт - річна програма випуску деталей;  $a=5,0$  днів - необхідний запас деталей на складі для безперебійної роботи складального цеху;  $F=257$  днів - число робочих днів в році, при 2<sup>x</sup> днях відпочинку. Отже величини

оптимальної партії становить:  $n = \frac{450 \cdot 5}{257} = 8,75 \approx 9$  шт.

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Таблиця 2.5 – Характеристики існуючих типів виробництва

Характеристики	Тип виробництва		
	Одиничний	Серійний	Масовий
Спектр (асортимент) продукції, що випускається	велика	обмежена	мала
Стабільність та незмінність номенклатурних позицій	відсутня	значна	значна
Річна програма (обсяги) виробництва	малий	середній	великий
Коефіцієнт закріплення технологічних операцій за обладнанням	відсутнє	часткове	повне
Склад використовуваного парку обладнання (устаткування)	універсальне	спеціалізоване	спеціальне
Використовувані засоби контролю, інструментальне та технологічне оснащення	універсальні	універсальні і спеціалізовані	спеціальні
Кваліфікаційна категорія та рівень підготовки персоналу	висока	середня	переважно низька
Загальна собівартість одиниці продукції	висока	середня	низька
Характер виробничої спеціалізації структурних підрозділів і дільниць	технологічна	змішана	предметна, подетальна
Специфіка та структура технологічного процесу	маршрутний	типовий	операційний
Організаційно-виробнича структура промислового підприємства	складна	помірно складна	проста
Обсяг трудових витрат (трудомісткість) на виробництво виробів	висока	середня	низька

## 2.4 Вибір та обґрунтування методу тримання заготовки

Визначальними чинниками під час вибору раціонального способу виробництва заготовки є конструктивне виконання виробу, фізико-механічні властивості матеріалу, а також масштаби випуску продукції (визначений тип виробництва). У ситуаціях, коли технологічно можливе застосування кількох альтернативних методів формування заготовки, виникає потреба у виконанні порівняльного техніко-економічного аналізу. Це дозволяє обґрунтовано визначити найбільш ефективний варіант.

На поточному етапі проектування доцільність впровадження конкретного методу отримання напівфабрикату оцінюється за допомогою таких підходів:

- комплексного техніко-економічного обґрунтування прийнятого рішення;
- аналітичного розрахунку коефіцієнта використання матеріалу (КВМ).

Критерієм вибору є мінімізація технологічної собівартості виробництва готової деталі. Якщо порівнювані варіанти виявляються рівноцінними за своїми вартісними показниками, пріоритет надається тому методу формування заготовки, який гарантує вище значення коефіцієнта використання матеріалу.

### 2.4.1 Техніко-економічні обґрунтування вибору заготовки

Суть техніко-економічного обґрунтування полягає в аналітичному розрахунку та зіставленні собівартості виробництва кількох альтернативних видів заготовок.

Зважаючи на конструктивні особливості деталі, фізико-механічні властивості матеріалу та середньосерійний характер виробничого процесу, до подальшого аналізу прийнято два потенційні методи отримання заготовок:

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		24

- застосування прокату з його подальшим розділенням на токарно-відрізному верстаті за допомогою відрізних різців;

- використання прокату з розкромом на стрічкопилковому обладнанні.

Штучні заготовки формуються шляхом порізки круглого сталевго прокату марки 40ХН з урахуванням необхідного припуску на подальше торцювання. Порівняльний аналіз чинних способів розділення металопродукату [3] показує, що відрізання різцем забезпечує лінійну точність розміру в межах від 0,3 до 0,8 мм, що повністю задовольняє технічні вимоги робочого креслення. Водночас порізка стрічковими пилами характеризується похибкою від  $\pm 1,5$  до  $\pm 5$  мм, внаслідок чого виникає потреба у збільшенні припуску на чорнове торцювання для компенсації відхилень та забезпечення заданих геометричних параметрів.

Нормативні значення припусків на механічну обробку торцевих поверхонь визначено згідно з рекомендаціями [3] та зведено у таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 - Припуски і розміри порівнюваних заготовок

Оброблювана поверхня, її розмір і точність	Параметр шорсткості деталі, мкм	Допуск заготовки, мм	Загальний припуск, мм	Розмір заготовки з граничними відхиленнями, мм
<b>1. Заготовка - прокат виготовлений розрізанням різцем</b>				
217 h14	Rz80	1,150	0,0	217 <sub>-0,520</sub>
Ø71 h14	Rz80	1,10	2 x 2=4,0	Ø75 <sub>-1,1</sub>
<b>2. Заготовка - прокат виготовлений відрізанням стрічковою пилою</b>				
217 h14	Rz80	3,0	1.5 x 2 =3,0	217±1,50
Ø71 h14	Rz80	1,10	2 x 2=4,0	Ø75 <sub>-1,10</sub>

Визначаємо масу нашої заготовки, що виготовляється з прокату зі сталі 40ХН

					<b>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Маса шуканої заготовки згідно формули:

$$Q_{заг} = V_{заг} \cdot \rho, \quad (2.2)$$

де  $V_{заг}$  – об'єм заготовки,  $см^3$ ;

$\rho = 7,80 \text{ г/см}^3$  – густина матеріалу Сталь 40ХН.

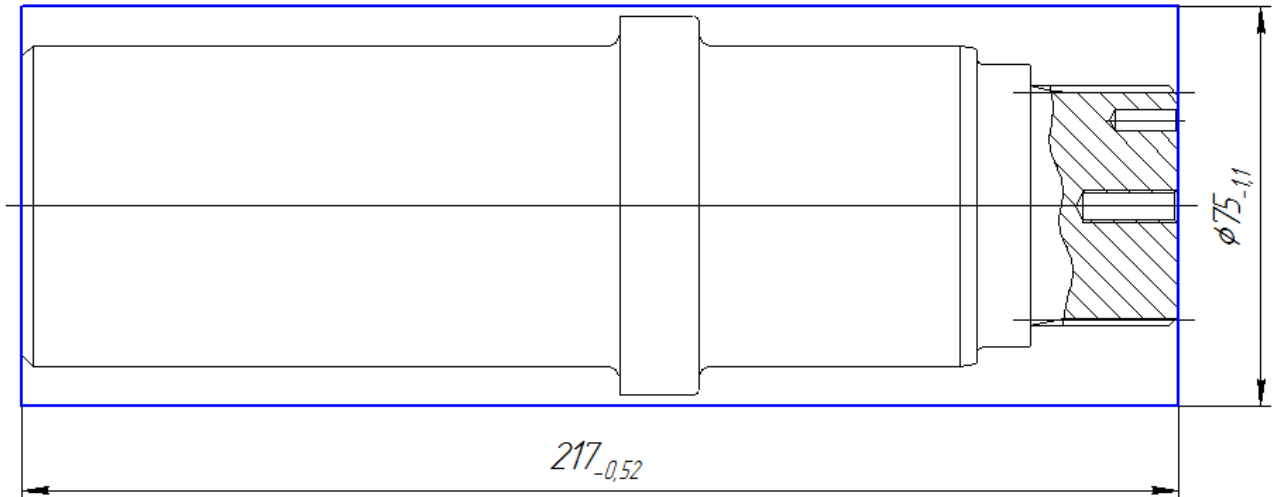


Рисунок 2.1 – Ескіз заготовки прокат виготовлений розрізанням різцем

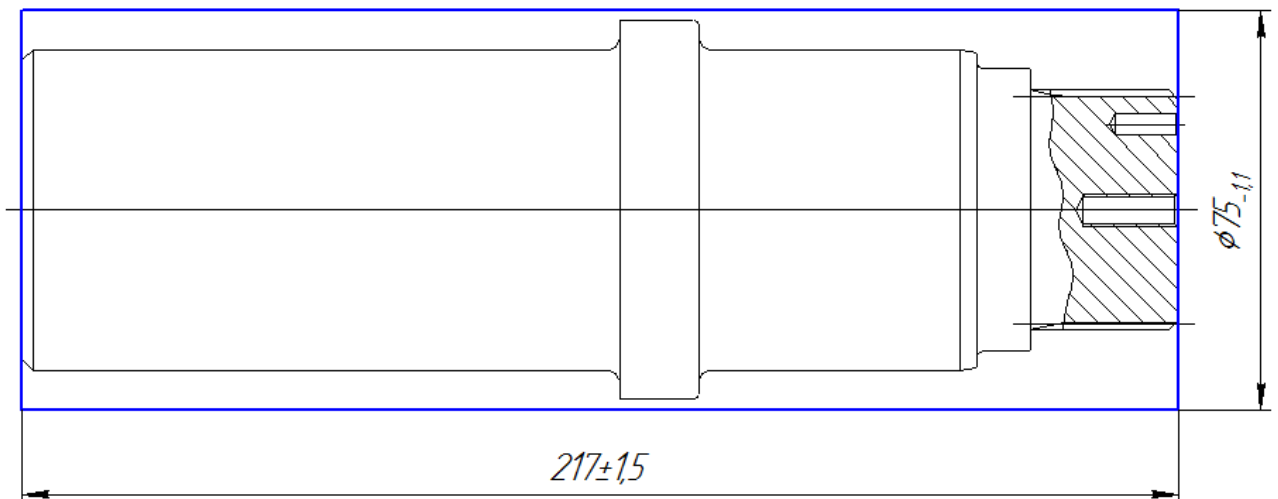


Рисунок 2.2 – Ескіз заготовки прокат виготовлений розрізанням пилою

Визначаємо об'єм заготовок двох варіантів, що мають форму циліндрів.

					КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot L, \text{ см}^3 \quad (2.3)$$

Розраховуємо об'єм заготовки, що виготовляється відрізанням різцем:

$$V_{заг1} = \frac{\pi D_1^2}{4} \cdot L_1 = \frac{3,14 \cdot 7,5^2}{4} \cdot 21,75 = 960,480 \text{ см}^3$$

Розраховуємо об'єм заготовки, прокат відрізаний стрічковою пилою на стрічко-пилному верстаті:

$$V_{заг2} = \frac{\pi D_2^2}{4} \cdot L_1 = \frac{3,14 \cdot 7,5^2}{4} \cdot 21,85 = 964,810 \text{ см}^3$$

Розраховуємо масу шуканої заготовки, що виготовляється відрізанням різцем на токарно-відрізнному верстаті:

$$Q_{заг1} = V_{заг1} \cdot \rho = 960,408 \cdot 7,80 = 7491,0 \text{ г} = 7,490 \text{ кг}$$

Розраховуємо масу шуканої заготовки, що виготовляється відрізанням стрічковою пилою:

$$Q_{заг2} = V_{заг2} \cdot \rho = 964,810 \cdot 7,80 = 7526 \text{ г} = 7,530 \text{ кг}$$

Собівартість заготовок визначаємо за формулою, згідно [3]:

$$C_{заг} = Q_{заг} \cdot S - \frac{(Q_{заг} - Q_{дет}) \cdot S_{відх}}{1000}, \text{ грн.} \quad (2.4)$$

де  $Q_{заг}$  – маса заготовки, кг;

$Q_{дет}$  – маса деталі, кг;

					<b>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

$S_{відх} = 3250,0$  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.

Підставивши вибрані значення елементів формули, отримаємо собівартість заготовок:

$$C_{заг1} = Q_{заг1} \cdot S - \frac{(Q_{заг1} - Q_{дет}) \cdot S_{відх}}{1000} = 7,49 \cdot 48 - \frac{(7,49 - 4,59) \cdot 2250}{1000} = 322,290 \text{ грн.}$$

$$C_{заг2} = Q_{заг2} \cdot S - \frac{(Q_{заг2} - Q_{дет}) \cdot S_{відх}}{1000} = 7,53 \cdot 48 - \frac{(7,53 - 4,59) \cdot 2250}{1000} = 328,930 \text{ грн.}$$

#### 2.4.2 Вибір заготовки за коефіцієнтом використання матеріалу

Коефіцієнт використання матеріалу визначаємо за формулою:

$$K_{в.м.} = Q_{дет} / Q_{заг} \quad (2.5)$$

Для заготовки, що виготовляється з прокату відрізанням різцем:

$$K_{в.м.} = 4,590 / 7,490 = 0,610$$

Для заготовки, що виготовляється з прокату відрізанням стрічковою пилою:

$$K_{в.м.} = 4,590 / 7,530 = 0,60$$

Основні показники розрахунку заносимо в таблицю 2.7

					<b>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

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	7,45	7,48
Вартість заготовки, грн	322,290	328,930
<i>Кв.м.</i>	0,61	0,60

Висновок: Порівняльний аналіз показав, що отримання штучної заготовки з сортового прокату шляхом відрізання різцем є економічно ефективнішим варіантом, оскільки забезпечує меншу собівартість та вищі показники коефіцієнта використання матеріалу (КВМ). Таке технологічне рішення повністю відповідає чинним нормативним рекомендаціям для заданої програми випуску деталей. З огляду на це, перший варіант заготовки приймається як базовий для подальшого проектування та детальної розробки технологічного процесу механічної обробки.

## 2.5 Розробка маршрутного технологічного процесу

Безпосередньому проектуванню комплексного технологічного процесу має передувати розробка логічної послідовності виконання операцій - маршруту обробки виробу. Своєю чергою, формування загального маршруту базується на визначенні потенційних технологічних методів формоутворення для кожної окремої поверхні деталі.

Вибір конкретних методів та етапів обробки здійснюється на основі комплексного аналізу вихідних даних: конфігурації й точності заготовки, її габаритних параметрів, заданих вимог до шорсткості та квалітетів точності готового виробу, а також масштабів випуску. Зазвичай для реалізації

					<b>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</b>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		29

ідентичних технічних вимог можна застосувати кілька альтернативних схем обробки. При цьому кількість технологічних переходів для однієї й тієї ж поверхні у різних варіантах може суттєво відрізнятися. Пріоритетним вважається той маршрут, який гарантує найбільш раціональний (короткий) шлях отримання заданих геометричних розмірів та параметрів шорсткості, тобто забезпечує мінімально необхідну кількість переходів.

Разом з тим, усі потенційні варіанти побудови маршрутів обробки поверхонь потребують обов'язкової перевірки на технологічну сумісність, а також на предмет можливості їх суміщення для обробки інших поверхонь з одного технологічного установу.

Реалізація цього етапу проектування здійснюється у такій послідовності:

1. Ідентифікація та аналіз поверхонь заготовки, що потребують подальшої механічної обробки.
2. Обґрунтування можливих методів та стадій обробки для кожної поверхні з метою забезпечення технічних вимог креслення (із залученням нормативних таблиць економічної точності).

На основі отриманих результатів, а також з дотриманням фундаментальних принципів машинобудування – постійності та суміщення баз, технологічної сумісності переходів та операцій – формується маршрутний технологічний процес виготовлення деталі «вал» в умовах дрібносерійного типу виробництва.

### **Операція 005. Фрезерно-центрувальна**

Підрізати та центрувати торцеві пов. 1 і 2 в розмір 200-1,150, сверління центрових отворів в розмір.

### **Операція 010. Токарна з ЧПК**

точити начорно поверхню 6 в розмір  $\varnothing 71,0-0,74$

точити напівчисто поверхню 6 в розмір  $\varnothing 71,40-1,2$

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		30

точити начорно пов. 7 в розмір  $\varnothing 61,80-0,740$   
точити напівчисто пов. 7 в розмір  $\varnothing 61,350-0,190$   
точити начисто пов. 7 в розмір  $\varnothing 60,90-0,120$   
точити напівчисто пов. 8 в розмір  $\varnothing 60,20-0,190$   
точити начисто пов. 8 в розмір  $\varnothing 60,0-0,100$ . Нарізати фаску 16.  
точити начорно пов. 9  $\varnothing 53,40-1$   
точити напівчисто пов. 9 в розмір  $\varnothing 53,0-0,740$ .  
точити начорно пов. 22 в розмір  $\varnothing 46,450-0,620$   
точити напівчисто пов. 22 в розмір  $\varnothing 46,0-0,160$   
точити начисто пов. 22 в розмір  $\varnothing 45,80-0,10$ . Нарізати фаску 17.  
точити начорно пов. 3, 4, 5 в розмір  $\varnothing 61,80-0,740$ .  
точити напівчисто пов. 3, 4, 5 в розмір  $\varnothing 61,350-0,190$   
точити начисто пов. 3 в розмір  $\varnothing 60,90-0,120$ . Нарізати фаску 3.  
точити напівчисто пов. 4 і 5 в розмір  $\varnothing 60,60-0,740$   
точити напівчисто пов. 5 в розмір  $\varnothing 60,20-0,190$   
точити начисто пов. 5 в розмір  $\varnothing 60,0-0,12$   
точити начисто пов. 4 в розмір  $\varnothing 60,0-0,13$

**Операція 015. Вертикально-свердлильна.**

Свердлити отвір пов. 11 забезпечивши розмір  $\varnothing 6,0$ .  
Зенкувати фаску пов. 17.

**Операція 020. Вертикально-свердлильна.**

Свердлити отвір 10 в розмір  $\varnothing 4$ .

**Операція 025. Шліцефрезерна**

Нарізання шліців пов. 22.

**Операція 030. Круглошліфувальна з ЧПК**

Шліфувати пов. 7, 3 та шліців 22 попередньо.

**Операція 035. Обкатна**

Обкатування роликком поверхню Г до твердості 45-50 HRC.

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		31

### **Операція 040. Вертикально-свердлильна**

Нарізати різь М6,0 у отворі пов. 11.

### **Операція 045. Термообробка**

Гартування пов. Д до твердості 58-63 HRC на глибину, що складає 1.0-1.2 мм.

### **Операція 050. Круглошліфувальна з ЧПК**

Шліфувати пов. 7, 3 і шліців 22 кінцево

### **Операція 055. Контрольна**

Контролювати розміри згідно до кресленника

## **2.5.1 Вибір і обґрунтування технологічного обладнання і оснащення**

Першочерговим критерієм вибору технологічного обладнання є його функціональне призначення та технічні можливості, що визначаються видом обробки, на яку розрахований верстат відповідно до свого службового призначення. Наступним за важливістю фактором є геометричні параметри робочої зони верстата, які мають бути сумісними з габаритними розмірами заготовки та враховувати габарити технологічного пристосування. Третім базовим критерієм виступає здатність обладнання забезпечити задану точність і якість обробки поверхонь.

Після виконання цих трьох фундаментальних умов подальший аналіз спрямовується на оцінку відповідності верстата вимогам продуктивності, а також можливостям його механізації та автоматизації, що безпосередньо обумовлено типом виробництва.

Під час вибору оптимальної конструкції верстатного пристосування необхідно враховувати технічні вимоги до виготовлення виробу, обсяг випуску деталей, задану тактову продуктивність, економічну доцільність (витрати на проектування та виготовлення самого пристосування), а також чинні нормативи з техніки безпеки та промислової санітарії.

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		32

Зважаючи на конструктивні особливості деталі, технічні вимоги креслення, намічені методи й стадії обробки вала, а також специфіку типу виробництва, у проєктованому технологічному процесі передбачено використання такого переліку обладнання та оснащення з відповідними технічними характеристиками:

Операції 005 – фрезерно-центрувальна, для цієї операції обираємо фрезерно-центрувальний напівавтомат мод. МР-71М.

Операції 010 – токарно-гвинторізна, для цієї операції призначаємо токарний верстат з ЧПК мод. 16К20Ф3. В якості приспособлення для закріплення заготовки на даній операції використаємо - спірально-рейковий трьохкулачковий патрон.

Таблиця 2.8 - Вибір обладнання та оснащення

№ операції	Назва	Назва та модель верстату	Пристосування
005	Операція: Фрезерно-центрувальна	Фрезерно-центрувальний напівавтомат моделі МР-71М	Спеціальне приспособлення із базуванням деталі по циліндру з упором в торець
010	Операція: Токарна з ЧПК	Токарний верстат з ЧПК мод. 16К20Ф3	Центр передній плаваючий. Центр задній
015	Операція: Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний верстат мод. 2Н135	Спеціальне із базуванням в призмі із затиском
020	Операція: Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний верстат мод. 2Н135	Спеціальне із базуванням в призмі із затиском

## Продовження таблиці 2.8.

025	Операція: Шліцефрезерна	Шліцефрезерний верстат мод. 5530А	Центр, напівцентр та хомутик
030	Операція: Круглошліфуваль- на з ЧПК	Круглошліфувальни й верстат з ЧПК мод. 3М151Ф2	Центр, напівцентр та хомутик
035	Операція: Обкатна	Токарний верстат мод. 16К20	Центр передній плаваючий. Центр задній
040	Операція: Вертикально- свердлильна	Вертикально- свердлильний верстат мод. 2Н135	Спеціальне із базуванням в призмі із затиском
050	Операція: Круглошліфуваль- на з ЧПК	Круглошліфувальни й верстат з ЧПК мод. 3М151Ф2	Центр, напівцентр та хомутик

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		34

## 2.5,2 Визначення між операційних припусків і проміжних розмірів

Відповідно до завдання визначення припусків потрібно зробити табличним методом для всіх оброблюваних поверхонь які не отримуються безпосередньо від конструктивного розміру різального інструменту зводимо всі дані в таблицю 2.9.

Таблиця 2.9 - Розрахунок проміжних припусків і розмірів на обробку за табличним методом

Технологічні операції і переходи обробки поверхні	Точність (квалітет, ступінь)	Шорсткість, мкм	Допуск, мм	Припуск, мм	Проміжні розміри з граничними відхиленнями
1	2	3	4	5	6
Оброблення циліндричної поверхні в розмір $\varnothing 71h14$					
напівчистове точіння	14	Ra6,3	0,740	0,2x2=0,40	$\varnothing 71_{-0,740}$
чорнове точіння	15	Ra12,5	1,20	3,60	$\varnothing 71_{4-1,20}$
заготовка прокат круг $\varnothing 75$	Звичайна	Rz160	0,620	2,0	$\varnothing 75_{-1,10}$
Оброблення циліндричної поверхні в розмір $\varnothing 60js6$					
остаточне шліфування	6	Ra0,8	$\pm 0,009$	0,450	$\varnothing 60_{\pm 0,009}$
попереднє шліфування	8	Ra2,5	0,046	0,450	$\varnothing 60_{450-0,046}$
чистове точіння	10	Ra3,2	0,120	0,20	$\varnothing 60_{90-0,120}$

Продовження таблиці 2.9

1	2	3	4	5	6
напівчистове точіння	11	Ra6,3	0,190	0,45	Ø61,35-0,190
попереднє точіння	14	Ra25	0,740	13,2	Ø61,80-0,740
заготовка прокат круг Ø75	Звичайна	Rz160	0,620	2	Ø75,0- <sub>1,10</sub>
Оброблення циліндричної поверхні в розмір Ø60x8					
чистове точіння	8	Ra3,2	0,122	0,1x2=0,20	Ø60,0-0,12
напівчистове точіння	11	Ra6,3	0,190	0,40	Ø60,20-0,190
чорнове точіння	14	Ra12,5	0,740	14,40	Ø60,60-0,740
загот. прокат круг Ø75	Звичайна	Rz160	0,620	2,00	Ø75,0- <sub>1,10</sub>
Оброблення циліндричної поверхні в розмір Ø60d9					
чистове точіння	9	Ra1,6	0,100	0,1x2=0,20	Ø60-0,100
напівчистове точіння	11	Ra6,3	0,190	0,40	Ø60,20-0,190
чорнове точіння	14	Ra25	0,130	14,40	Ø60,60-0,130
Загот. прок. круг Ø75	Звичайна	Rz160	0,62	2,0	Ø75,0- <sub>1,1</sub>

					<b>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Продовження таблиці 2.9

1	2	3	4	5	6
Оброблення циліндричної поверхні в розмір $\varnothing 60d11$					
напівчистове точіння	11	Ra6,3	0,190	0,40	$\varnothing 60_{-0,1390}$
чорнове точіння	14	Ra25	0,740	14,60	$\varnothing 60_{,4-0,130}$
заготовка круг $\varnothing 75$	Звичайна	Rz160	0,620	2,0	$\varnothing 75_{,0-1,10}$
Оброблення циліндричної поверхні в розмір $\varnothing 45g6$					
завершальне шліфування	6	Ra0,8	0,025	0,40	$\varnothing 45_{,0-0,025}$
попереднє шліфування	8	Ra2,5	0,039	0,40	$\varnothing 45_{,40-0,039}$
чистове точіння	10	Ra3,2	0,100	0,20	$\varnothing 45_{,80-0,10}$
напівчистове точіння	11	Ra6,3	0,160	0,450	$\varnothing 46_{,0-0,160}$
чорнове точіння	14	Ra12,5	0,620	28,550	$\varnothing 46_{,450-0,620}$
загот. прокат круг $\varnothing 75$	Звичайна	Rz160	0,62	2,0	$\varnothing 75_{,0-1,10}$

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

### 2.5.3 Розробка операційної технології

В даному параграфі розробляємо операційні технології для ряду операцій.

Операційна технологія на операцію 005 – фрезерно-центрувальна.

Для забезпечення виконання даної операції запропоновано використовувати фрезерно-центрувальний капівавтомат мод. МР-71М. Як технологічні бази використовуємо на даній операції циліндричні поверхні заготовки.

В якості при способи використовуємо спеціальне пристосування із базуванням заготовки на призми по циліндричній поверхню з упором в торець.

Дана операція має наступні переходи:

1. Встановлення заготовки в приспособу.
2. Фрезерування торцевих поверхонь 1, 2 в розмір 288,0-1,30.
3. Свердління центрових отворів.
4. Зняття обробленої заготовки.
5. Контроль розміру 288,0-1,30.

Як інструмента використовуємо фрезу торцева з твердосплавними пластинами  $\varnothing 80,0$ ;  $z=7$ ,  $B=50,0$ , F75AP1-D81-27 DIN18355, свердло центрувальне 2318-0009. Контрольний інструмент – штангенциркуль, тип СРІ 2033 250,0 - 0,05 DIN863.

Операційна технологія на операцію 010 – токарна з ЧПК.

На даній операції запропоновано використовувати токарний верстат з ЧПК мод. 16K20Ф3. В якості технологічних баз на даній операції використовуємо центровочні отвори на торцях заготовки. В якості пристосування запропоновано використовувати передній і задній обертові центри.

Дана операція містить наступні переходи:

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

1. встановлення заготовки.
2. точити начорно пов. 6 в розмір  $\varnothing 71,0_{-0,740}$ .
3. точити напівчисто пов. 6 в розмір  $\varnothing 71,40_{-1,20}$ .
4. точити начорно пов. 7 в розмір  $\varnothing 61,80_{-0,740}$ .
5. точити напівчисто пов. 7 в розмір  $\varnothing 61,350_{-0,190}$ .
6. точити начисто пов. 7 в розмір  $\varnothing 60,90_{-0,120}$ .
7. точити напівчисто пов. 8 в розмір  $\varnothing 60,20_{-0,190}$ .
8. точити начисто пов. 8 в розмір  $\varnothing 60,0_{-0,101}$ . Нарізати фаску 16.
9. точити начорно пов. 9  $\varnothing 53,40_{-1,0}$ .
10. точити напівчисто пов. 9 в розмір  $\varnothing 53,0_{-0,740}$ .
11. точити начорно пов. 22 в розмір  $\varnothing 46,450_{-0,62}$ .
12. точити напівчисто пов. 22 в розмір  $\varnothing 46,0_{-0,160}$ .
13. точити начисто пов. 22 в розмір  $\varnothing 45,80_{-0,10}$ . Нарізати фаску 17.
14. точити начорно пов. 3, 4, 5 в розмір  $\varnothing 61,80_{-0,740}$ .
15. точити напівчисто пов. 3, 4, 5 в розмір  $\varnothing 61,350_{-0,190}$ .
16. точити начисто пов. 3 в розмір  $\varnothing 60,90_{-0,120}$ . Нарізати фаску 3.
17. точити напівчисто пов. 4 і 5 в розмір  $\varnothing 60,6_{-0,740}$ .
18. точити напівчисто пов. 5 в розмір  $\varnothing 60,02_{-0,190}$ .
19. точити начисто пов. 5 в розмір  $\varnothing 60,0_{-0,12}$ .
20. точити начисто пов. 4 в розмір  $\varnothing 60,0_{-0,139}$ .
21. зняти оброблену детальдеталь.
22. контролювати розміри:  $\varnothing 71,40_{-1,20}$ ,  $\varnothing 61,350_{-0,190}$ ,  $\varnothing 53,40_{-0,740}$ ,  $\varnothing 46,0_{-0,160}$ ,  $105,0_{-1}$   $217,0_{-1,15}$ ,  $88,0_{-0,81}$ ,  $38,0_{-0,620}$ ,  $28,0_{-0,520}$ ,  $100,0_{-1,0}$ .

Різець токарний ISO SCFLCRE/R 2525 M14 (правий, чорновий).

Різальна пластина ISO CNAMG121408-MP1

Контрольний інструмент штангенциркуль, тип CR 2033 250-0,05 DIN863.

Для інших операції опис робимо в маршрутній формі, в п.2.3.

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

## 2.5.4 Вибір різального, допоміжного та контрольно-вимірювального інструментів

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 2.5.

Таблиця 2.10 — Вибір різального, допоміжного і вимірного інструменту

Номер, назва операції та переходу	Інструмент		
	Різальний	Допоміжний	Контрольно-вимірювальний
1	2	3	4
Операція 005 Фрезерно-центрувальна			
Перехід 2 Фрезерування торців 1 і 2	Фреза торцева з твердоспл. пластинами Ø80,0; z=7, B=50,0, F76AP-D81-27 DIN1836	Оправка зі шпонкою і конічним хвостовиком DIN 2081	Лінійка NIRO 300, DIN 867B
Перехід 3 Свердління центрувального отвіру	Свердло центрувальне 2314-0009	Патрон з комплекту верстату, 2шт	Шаблон
Операція 010 Токарна з ЧПК			
Перехід 2. Чорнове точіння поверхні 6 в розмір Ø71,40 <sup>-1,20</sup> .	Різець токарний ISO SCLACR/R 2525 M14 (чорновий правий).	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль Тип CRI 2033 250-0,05 DIN863

1	2	3	4
Перехід 3. Напівчистове точіння поверхні 6 в розмір $\varnothing 71,0_{-0,740}$ .	Різець ISO СКJNR/R 2525 M16 (правий, чистовий). Різальна пластина KNUX1604	Різетримач із комплекту верстату	Штангенциркуль Тип CRI 2033 250-0,05 DIN863
Перехід 4. Чорнове точіння поверхні 7 в розмір $\varnothing 61,80_{-0,740}$ .	Різець токарний ISO SCLACR/R 2525 M14 (правий, чорновий). Різальна пластина ISO CNMG121408-MP		
Перехід 5. Напівчистове точіння поверхні 7 в розмір $\varnothing 61,35_{-0,190}$ .	Різець ISO СКJNR/R 2525 M16 (чистовий правий). Різальна пластина KNUX1604		
Перехід 6. Чистове точіння поверхні 7 в розмір $\varnothing 60,90_{-0,120}$ .	Різець ISO СКАJNR/R 2525 M16 (чистовий правий). Різальна пластина KNUX1104		
Перехід 7. Напівчистове точіння поверхні 8 в роз. $\varnothing 60,20_{-0,190}$ .	Різець ISO СКАJNR/R 2525 M11 (чистовий правий). Різальна пластина KNX1104		

1	2	3	4
Перехід 8. Чистове точіння поверхні 8 в розмір Ø60-0,100. Нарізання фаски 16	Різець ISO СКJNR/R 2525 M16 (правий, чистовий). Різальна пластина KNUX1604	Різетримач із комплекту верстату	Штангенциркуль Тип СRI 2033 250-0,05 DIN863
Перехід 9. Чорнове точіння поверхні 9 Ø53,40-1,0	Різець токарний ISO SCLACR/R 2525 M14 (правий, чорновий). Різальна пластина ISO CNMG121408-MP		
Перехід 10. Напівчистове точіння поверхні 9 в розмір Ø53,0-0,740	Різець ISO СКJNR/R 2525 M16 (чистовий правий). Різальна пластина KNUX1604		
Перехід 11. Чорнове точіння поверхні 22 в розмір Ø46,45-0,620	Різець ISO СКАJNR/R 2525 M16 (чистовий правий). Різальна пластина KNUX1104		
Перехід 12. Напівчистове точіння поверхні 22 в розм.. Ø46,0-0,160.	Різець ISO СКАJNR/R 2525 M11 (чистовий правий). Різальна пластина KNX1104		

Продовження таблиці 2.10.

1	2	3	4
Перехід 13. Чистове точіння поверхню 22 в розмір $\varnothing 45,80_{-0,10}$ . Нарізання фаск 17.	Різець ISO СКJNR/R 2525 M16 (правий, чистовий). Різальна пластина KNUX1604	Різетримач із комплекту верстату	Штангенциркуль Тип СRІ 2033 250-0,05 DIN863
Перехід 14. Чорнове точіння поверхні 3, 4, 5 в розм.. $\varnothing 61,80_{-0,740}$	Різець токарний ISO SCLACR/R 2525 M14 (правий). Різальна пластина ISO CNMG121408		
Перехід 15. Напівчистове точіння поверхні 3, 4, 5 в розм.. $\varnothing 61,35_{-0,190}$ .	Різець ISO СКJNR/R 2525 M16 (чистовий правий). Різальна пластина KNUX1604		
Перехід 16. Чистове точіння поверхні 3 в розмір $\varnothing 60,90_{-0,120}$ . Нарізання фаски 3.	Різець ISO СКАJNR/R 2525 M16 (чистовий правий). Різальна пласт. KNUX1104		
Перехід 17. Напівчистове точіння поверхонь 4 і 5 в розмір $\varnothing 60,60_{-0,740}$ .	Різець ISO СКАJNR/R 2525 M11 (чистовий правий). Різальна пластина KNX1104		

1	2	3	4
Перехід 18. Напівчисто точити поверхню 5 в розмір $\varnothing 60,2_{-0,190}$ .	Різець ISO СКJNR/R 2525 M16 (чистовий правий). Різальна пластина KNUX1604	Різетримач із комплекту верстату	Штангенциркуль Тип СRІ 2033 250-0,05 DIN863
Перехід 19. Начисто точити поверхню 5 в розмір $\varnothing 60_{-0,12}$ .	Різець ISO СКАJNR/R 2525 M16 (чистовий правий). Різальна пласт. KNUX1104		
Перехід 20. Начисто точити поверхню 4 в розмір $\varnothing 60_{-0,139}$	Різець ISO СКАJNR/R 2525 M11 (чистовий правий). Різальна пластина KNX1104		
Операція 015 Вертикально-свердлильна			
Свердління отвіру 11 в розмір $\varnothing 6,0$ .	Сверло спіральне $\varnothing 6, L=135, \text{DIN } 339$	Патрон з комплекту	Штангенциркуль 250-0,05 DIN862
Зенкування фаски в розмір 17.	Зенківка конічна ISO DIN 336	Патрон з комплекту	Штангенциркуль 250-0,05 DIN862
Операція 020 Вертикально-свердлильна			
Свердління отвору 10 в розмір $\varnothing 4,0$ .	Сверло спіральне $\varnothing 4 L=105, \text{DIN } 338$ тип N	Патрон комплекту	Штангенциркуль 250-0,05 DIN862
Операція 025 Шліцнарізна			
Нарізання шліців в розмір 22.	Червячна шліцева шліцева P6M5K5	Оправка з компл. верстата	Штангенциркуль 250-0,05 DIN862

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

1	2	3	4
Операція 030 Круглошліфувальна з ЧПК			
Шліфування поверхні 7 в розмір Ø60,4-0,0460.	Круг абразивний ППІ 600х30х305 25А25ПСМ 5К5 50м/с А1кл	Оправка верстатна з комплекту	Штангенциркуль Тип СRІ 2033 250-0,05 DIN863
Шліфування поверхні 3 в розмір Ø60,450-0,0460.	Круг абразивний ППІ 600х30х305 25А25ПСМ 5К5 50м/с А1кл	Оправка верстатна з комплекту	Штангенциркуль Тип СRІ 2033 250-0,05 DIN863
Шліфування поверхонь шліців 22 в розмір Ø45,40-0,0390.	Круг абразивний ППІ 600х30х305 25А25ПСМ 5К5 50м/с А1кл	Оправка верстатна з комплекту	Штангенциркуль Тип СRІ 2033 250-0,05 DIN863
Операція 035 Обкатна			
Обкатування роликом пов. Г до твердості 45,0-50,0 HRC.	Пристосування спеціальна	Різцетримач	Штангенциркуль Тип СRІ 2033 250-0,05 DIN863
Операція 040 Різьбонарізна			
Нарізання різі М6 в отворі 11.	Мітчик різьбовий М6 ТАЕ1571А6 ISO DIN 373	Патрон з комплекту верстата	Штангенциркуль Тип СRІ 2033 250-0,05 DIN863

1	2	3	4
Операція 050 Круглошліфувальна з ЧПК			
Кінцеває шліфування поверхні 7	Круг абразивний ПП 600x35x305 25AA25ПСМ 5K5 55м/с А1кл	Оправка верстатна з комплекту	Калібр-скоба одностороння двохгранична Ø60js6 DIN 2230 Биттемір ПБ-500 DIN 889 Зразки шорсткості DIN 7269
Кінцеває шліфування поверхні 3	Круг абразивний ПП 600x35x305 25AA25ПСМ 5K5 55м/с А1кл	Оправка верстатна з комплекту	Калібр-скоба одностороння двохгранична Ø60js6 DIN 2230 Биттемір ПБ-500 DIN 889 Зразки шорсткості DIN 7269
Кінцеве шліфування поверхонь шліців 22	Круг абразивний ПП 600x35x305 25AA25ПСМ 5K5 55м/с А1кл	Оправка верстатна з комплекту	Калібр-скоба одностороння двохгранична Ø45g6 DIN 2230 Биттемір ПБ-500 DIN 889 Зразки шорсткості DIN 7269

## 2.5,5 Вибір режимів різання.

Для операції 010 токарна з ЧПК, визначимо режими різання при точінні табличним методом, *перехід 2* – Точіння поверхні 6 попередньо витримуючи розмір  $\varnothing 71,40_{-0,740}$ .

Різець токарний ISO SCALCR/L 2525 M14 (правий чорновий, з геометричними параметрами  $\varphi=93,0^\circ$ ,  $\gamma=0,0^\circ$ ,  $\alpha=10,0^\circ$ ,  $\lambda=5,0^\circ$ ,  $r=1,0$ , ) різальна пластина ISO CNEMG140408-MP1.

Довжину робочого ходу визначаємо за формулою:

$$L_{p.x.} = l_{piz} + y + l_{dod} \quad (2.6)$$

Де  $L_{p.x.} = 105$  мм – довжина різання відповідно до креслення деталі;  
 $y$  – величина підводу, врізання і перебігу різця, згідно [29] становить  $y=4$  мм;

$l_{dod} = 0$  - величина пов'язана з налагодженням верстату.

Отже буде рівне  $L_{p.x.} = 109$  мм

Глибина різання:

$$t = \frac{D - d}{2} = \frac{75 - 71,4}{2} = 1,80, \text{ мм} \quad (2.7)$$

де  $D$  – діаметр оброблюваної заготовки, мм;

$d$  – діаметр оброблюваної деталі, мм

$$t = 1,80 \text{ мм.}$$

Подача інструменту:

$S_o=0.60$  мм/об згідно [29].

Швидкість різання

$$V = V_{табл} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \text{ м/хв,} \quad (2.8)$$

де  $V_{табл} = 110,0$  м/хв - табличне значення швидкості різання виbrane відповідно до [29];

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

$K_1 = 0,750$  - поправочний коефіцієнт [29];

$K_2 = 1,00$  - поправочний коефіцієнт [29];

$K_3 = 0,810$ -поправочний коефіцієнт [29].

Отже  $V = 110,0 \cdot 0,750 \cdot 1,00 \cdot 1,550 = 127,870$  м/хв.

Величина частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \text{ об/хв.} \quad (2.9)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 122,06}{3,14 \cdot 71,4} = 570,0 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо  $n = 570,0$  об/хв.

Дійсна швидкість різання головного руху:

$$V_d = \frac{\pi D n_d}{1000}, \text{ м/хв.} \quad (2.10)$$

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 71,4 \cdot 570}{1000} = 127,790 \text{ м/хв.}$$

Швидкість подачі визначаємо за формулою:

$$V_s = S_0 \cdot n_d, \text{ мм/хв.} \quad (2.11)$$

$$V_s = 0,6 \cdot 570 = 343,0, \text{ мм/хв.}$$

Сила різання відповідно до [29] складає 3257 Н.

Потужність  $N = 6,110$  кВт [29].

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Основний (машинний) час на обробку:

$$T_o = \frac{L_{p.x.}}{V_s}, \text{ хв.} \quad (2.12)$$

$$T_o = \frac{109}{342} = 0,310, \text{ хв.}$$

Далі для операції 005 фрезерно-центрувальна визначаємо (розраховуємо) режими різання табличним методом згідно [29], перехід 2 – фрезерування торців 1 і 2.

Для виконання даної операції використовуємо інструмент – фреза торцева з твердо-сплавними пластинами  $\varnothing 120,0$ ;  $z=7$ ,  $B=50,0$ , F75AAP-D81-28 DIN1839.

Довжина робочого ходу визначається згідно формули:

$$L_{p.x.} = l_{piz} + y + l_{\text{доо}} \quad (2.13)$$

Де  $L_{p.x.} = 82,0$  мм – довжина різання відповідно до креслення деталі;  
 $y$  – величина підводу, врізання і перебігу різця, згідно [29] складає  $y=14,0$  мм;

$l_{\text{доо}} = 0$  - величина пов'язана з налагодженням верстату.

Отже отримаємо  $L_{p.x.} = 96$  мм

Подача інструменту:

$S_o=0.12$  мм/об відповідно [29].

Швидкість різання

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

де  $V_{\text{табл}} = 130,0$  м/хв - значення швидкості різання табличне, відповідно до [29];

$K_1 = 1,00$  - поправочний коефіцієнт [29];

					<b>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

$K_2 = 1,00$  - поправочний коефіцієнт [29];

$K_3 = 1,20$ -поправочний коефіцієнт [29].

Отже  $V = 130,0 \cdot 1,0 \cdot 1,00 \cdot 1,20 = 156,0$  м/хв.

Частота обертання шпинделя:

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

$$n = \frac{1000 \cdot 156}{3,14 \cdot 80} = 584,0 \text{ об/хв.}$$

Згідно паспорту верстату прийmemo частоту обертання  $n = 712$  об/хв.

Реальна швидкість різання головного руху:

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

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 80 \cdot 712}{1000} = 190,0 \text{ м/хв.}$$

Швидкість подачі визначиться за формулою:

$$V_s = S_0 \cdot n_d, \text{ мм/хв.}$$

$$V_s = 0,120 \cdot 712,0 = 85,440, \text{ мм/хв}$$

Сила різання згідно [29] складає 5657 Н.

Потужність  $N = 4,71$  кВт [29].

Основний (машинний) час на обробку:

$$T_o = \frac{L_{p,x.}}{V_s}, \text{ хв.}$$

$$T_o = \frac{45}{190} = 0,230, \text{ хв.}$$

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.11 - Зведена таблиця режимів різання

Номер, назва операції, зміст переходу	$t$ , мм	$L$ , мм	$i$	$T_m$ , хв	$S_0$ , мм/об	$V$ , м/хв	$n$ , об/хв	$S_{хв}$ мм/х в	$T_0$ , хв	$N$ , 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. Начорно точити поверхню 6 в розмір $\varnothing 71,4_{-1,2}$ .	1,8	107	1	60	0,6	127	570	342	0,31	6,11
Перехід 3. Напівчисто точити поверхню 6 в розмір $\varnothing 71_{-0,74}$ .	0,2	107	1	60	0,3	120	530	190	0,39	0,51
Перехід 4. Начорно точити поверхню 7 в розмір $\varnothing 61,8_{-0,740}$ .	4,6	90	1	60	0,6	125	560	336	0,31	11,2
Перехід 5. Напівчисто точити поверхню 7 в розмір $\varnothing 61,35_{-0,190}$ .	0,2	90	1	60	0,3	120	630	188	0,46	0,31
Перехід 6. Начисто точити поверхню 7 в розмір $\varnothing 60,9_{-0,120}$ .	0,2	90	1	60	0,3	100	540	156	0,57	0,25
Перехід 7. Напівчисто точити поверхню 8 в розмір $\varnothing 60,2_{-0,190}$ .	0,25	60	1	60	0,3	120	640	191	0,3	0,31

					<b>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</b>					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						51

Продовження таблиці 2.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перехід 8. Начисто точити поверхню 8 в розмір $\varnothing 60_{-0,100}$ . Нарізати фаску 16	0,1	60	1	60	0,3	100	530	159	0,35	0,13
Перехід 9. Начорно точити поверхню 9 $\varnothing 53_{,4-1}$	3,3	38	1	60	0,6	125	670	318	0,11	7,07
Перехід 10. Напівчисто точити поверхню 9 в розмір $\varnothing 53_{-0,74}$	0,2	38	1	60	0,3	120	720	218	0,18	0,30
Перехід 11. Начорно точити поверхню 22 в розмір $\varnothing 46_{,45-0,62}$	4	28	1	60	0,6	125	750	225	0,12	5,9
Перехід 12. Напівчисто точити поверхню 22 в розмір $\varnothing 46_{-0,160}$ .	0,2	28	1	60	0,3	120	830	249	0,1	0,3
Перехід 13. Начисто точити поверхню 22 в розмір $\varnothing 45_{,8-0,10}$ . Нарізати фаску 17.	0,1	28	1	60	0,3	100	700	208	0,1	0,13
Перехід 14. Начорно точити поверхні 3, 4, 5 в розмір $\varnothing 61_{,8-0,740}$	6,8	112	2	60	0,6	125	560	336	0,33	8,68
Перехід 15. Напівчисто точити поверхні 3, 4, 5 в розмір $\varnothing 61_{,35-0,190}$ .	0,25	112	1	60	0,3	120	630	188	0,6	0,37
Перехід 16. Начисто точити поверхню 3 в розмір $\varnothing 60_{,9-0,120}$ . Нарізати фаску 3.	0,2	24	1	60	0,3	100	530	159	0,15	0,25
Перехід 17. Напівчисто точити поверхні 4 і 5 в розмір $\varnothing 60_{,6-0,74}$ .	0,15	90	1	60	0,3	120	630	191	0,45	0,31
Перехід 18. Напівчисто точити поверхню 5 в розмір $\varnothing 60_{,2-0,190}$ .	0,2	62	1	60	0,3	120	630	191	0,33	0,31

Продовження таблиці 2.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перехід 19. Начисто точити поверхню 5 в розмір $\varnothing 60_{-0,12}$ .	0,1	62	1	60	0,3	100	530	159	0,4	0,25
Перехід 20. Начисто точити поверхню 4 в розмір $\varnothing 60_{-0,139}$	0,1	26	1	60	0,3	100	530	159	0,16	0,25
015. Вертикально-свердлильна										
Свердлити отвір 11 в розмір $\varnothing 6$ .	3	18	1	30	0,1	10	530	53	0,12	0,08
Зенкувати фаску 17.	0,1	0,1	1	30	0,1	10	500	53	0,05	0,08
020. Вертикально-свердлильна										
Свердлити отвір 10 в розмір $\varnothing 4$ .	2	12	1	30	0,1	10	530	53	0,12	0,08
025. Шліценарізна										
Нарізати шліци 22.	3	28	-	60	2,4	35	250	158	0,8	2,20
035. Круглошліфувальна з ЧПК										
Шліфувати поверхню 7 попередньо в розмір $\varnothing 60,45_{-0,046}$ .	0,2	33	-	-	0,3	18	125	0,3	0,24	0,38
Шліфувати поверхню 3 попередньо в розмір $\varnothing 60,45_{-0,046}$ .	0,2	24	-	-	0,3	18	125	0,3	0,21	0,38
Шліфувати поверхні шліців 22 попередньо в розмір $\varnothing 45,4_{-0,039}$ .	0,2	28	-	-	0,3	18	125	0,3	0,22	0,38
040. Різьбонарізна										
Нарізати різь М6 в отворі 11.	0,5	18	1	30	1	8	350	424	0,05	0,38
050. Круглошліфувальна з ЧПК										
Шліфувати поверхню 7 остаточно.	0,2	33	-	-	0,3	18	125	0,3	0,24	0,38
Шліфувати поверхню 3 остаточно.	0,2	24	-	-	0,3	18	125	0,3	0,21	0,38
Шліфувати поверхні шліців 22 остаточно.	0,2	28	-	-	0,3	18	125	0,3	0,22	0,38

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

КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ

Арк.

53

## 2.5.6 Розрахунок технічних норм часу.

Згідно завдання необхідно розрахувати норми часу для операцій, розроблених в попередніх розділах.

Операція 010 токарна з ЧПК.

Норма штучного часу при роботі на верстатах з ЧПК визначається за формулою згідно [29] С.5 за формулою:

$$T_{шт} = (T_{ц.а.} + T_{\delta}) \cdot \left( 1 + \frac{\alpha_{м.о.} + \alpha_{о.о.} + \alpha_{в.}}{100} \right), \text{ хв} \quad (2.14)$$

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

$T_{\delta}$  – допоміжний час, який не перекривається допоміжним автоматичним часом;

$\alpha_{м.о.} + \alpha_{о.о.} + \alpha_{в.}$  – час на технічне та організаційне обслуговування робочого місця і час на відпочинок. Визначається у відсотках від оперативного часу. Становить 7% від оперативного [29] - 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:

$$T_{ц.а.} = T_0 + T_{х.р.} + T_{з.і.}, \text{ хв} \quad (2.15)$$

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 5інструментів,  $T_{з.і.} = 0,015 \cdot 5 = 0,075$  хв.

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Врахувавши переміщення по осях

$$X = 4 + 4 + 20 = 28 \text{ мм}$$

$$T_{x,px} = 28/2400 = 0,01.$$

Врахувавши переміщення по осях

$$Z = 10 + 10,5 + 2 + 26,5 = 49 \text{ мм.}$$

$$T_{x,pz} = 49/4800 = 0,01.$$

$$\text{Отже, } T_{ц.а.} = 0,67 + 0,01 + 0,01 = 0,69, \text{ хв.}$$

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

$$T_{\delta} = T_o + T_y + T_{вим}, \text{ хв} \quad (2.16)$$

де

$T_y = 0,13$  хв – час на встановлення і зняття деталі [29];

$T_o = 0,39$  хв – час пов'язаний з виконанням операції [29];

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

Тоді

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

Оперативний час визначаємо за формулою:

$$T_{оп.} = T_{ц.а.} + T_{\delta}, \text{ хв} \quad (2.17)$$

$$\text{Отже } T_{оп.} = 5,6 + 0,52 = 6,12, \text{ хв.}$$

$$\text{Тоді } \alpha_{т.о.} + \alpha_{о.о.} + \alpha_{в.} = 6,12 \frac{7\%}{100\%} = 0,42 \text{ хв.}$$

Штучний час на виконання операції становить:

$$T_{шт} = (5,6 + 0,52) \cdot (1 + 0,42) = 8,6 \text{ хв.}$$

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

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

$$T_{ум.к.} = T_{ум} + \frac{T_{н.з.}}{n}, \text{ хв} \quad (2.18)$$

де  $T_{н.з.}$  – підготовчо заключний час на налагодження і настроювання верстату, визначаємо за формулою згідно [29]:

$$T_{нз} = T_{нз1} + T_{нз2} + T_{пр.обр}, \text{ хв} \quad (2.19)$$

де

$T_{нз1}$  – норма часу на організаційну підготовку, хв;

$T_{нз2}$  – норма часу на налагодження верстату, хв;

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

$T_{нз1} = 4 + 9 + 2 + 2 = 17 \text{ хв}$  [29];

$T_{нз2} = 0,8 + 0,3 + 0,154 + 0,5 - 6 + 1,0 + 2,0 + 0,2 = 7,9 \text{ хв}$  [29];

$T_{пробр} = 16 \text{ хв}$  [29].

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

Відповідно

$$T_{ум.к.} = 8,6 + \frac{40,9}{622} = 8,89 \text{ хв}.$$

Операція 005 – фрезерно-центрувальна.

Норма штучного часу при роботі визначається за формулою згідно [29] за формулою:

Норма штучного часу визначається за формулою:

$$T_{ум} = T_o + T_d + T_{тех.обсл.} + T_{орг.обсл.} + T_{відп.}$$

де:

$T_{ум}$  – норма штучного часу;

$T_o$  – основний час;

$T_d$  – допоміжний час;

$T_{тех.обсл.}$  – час технічного обслуговування робочого місця;

					<b>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

$T_{орг.обсл}$  – час організаційного обслуговування робочого місця;

$T_{відп.}$  – час на відпочинок.

Допоміжний час на операцію:

Допоміжний час на встановлення деталі в пристосуванні:

$$T_{дон1}=0,08 \text{ хв [29].}$$

Допоміжний час на керування верстатом:

$$T_{дон2}=0,03 \text{ хв [29].}$$

Допоміжний час на вимірювання:

$$T_{дон3}=0,18 \text{ хв [29].}$$

$$T_{д} = T_{дон1} + T_{дон2} + T_{дон3} = 0,08 + 0,03 + 0,18 = 0,29 \text{ хв.}$$

Оперативний час:

$$T_{оп} = T_o + T_{д} = 0,43 + 0,29 = 0,72 \text{ хв.}$$

Час технічного обслуговування робочого місця:

$$T_{тех.обсл.} = 0,07 \cdot 0,72 = 0,05 \text{ хв.}$$

Час організаційного обслуговування робочого місця:

$$T_{тех.обсл.} = 0,014 \cdot 0,72 = 0,02 \text{ хв.}$$

Час на відпочинок:

$$T_{відп.} = 0,04 \cdot 0,72 = 0,03 \text{ хв.}$$

Штучний час на виконання операції становить:

$$T_{шт} = 0,43 + 0,08 + 0,03 + 0,18 + 0,05 + 0,02 + 0,03 = 0,82 \text{ хв.}$$

Норма часу на виконання операції на одному верстаті з визначається:

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		57

$$T_{\text{ум.к.}} = T_{\text{ум}} + \frac{T_{\text{н.з.}}}{n}, \text{ хв} \quad (2.20)$$

де  $T_{\text{н.з.}}$  – підготовчо заключний час на налагодження і настроювання верстату, визначаємо згідно [12]:

Тоді  $T_{\text{нз}} = 16$  хв.

Відповідно

$$T_{\text{ум.к.}} = 0,82 + \frac{16}{100} = 0,98 \text{ хв}$$

Операція 015. Вертикально-свердлильна.

$\Psi_{\text{к}}=2,1$  [29].  $T_{\text{o}}=0,17$  хв.

$T_{\text{ум.к.}}=2,1 \cdot 0,17=0,35$  хв.

Операція 020. Вертикально-свердлильна.

$\Psi_{\text{к}}=2,1$  [29].  $T_{\text{o}}=0,12$  хв.

$T_{\text{ум.к.}}=2,1 \cdot 0,12=0,25$  хв.

Операція 025. Шліценарізна.

$\Psi_{\text{к}}=1,75$  [29].  $T_{\text{o}}=0,6$  хв.

$T_{\text{ум.к.}}=1,75 \cdot 0,6=1,05$  хв.

Операція 030. Обкатна.

$\Psi_{\text{к}}=2,14$  [29].  $T_{\text{o}}=0,6$  хв.

$T_{\text{ум.к.}}=2,14 \cdot 0,15=0,32$  хв.

Операція 035. Круглошліфувальна з ЧПК.

$\Psi_{\text{к}}=2,1$  [29].  $T_{\text{o}}=0,67$  хв.

$T_{\text{ум.к.}}=2,1 \cdot 0,67=1,4$  хв.

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Операція 040. Різьбонарізна.

$\Psi_k=1,72$  [29].  $T_o=0,05$  хв.

$T_{шт.к.}=1,72 \cdot 0,05=0,08$  хв.

Операція 050. Круглошліфувальна з ЧПК.

$\Psi_k=2,1$  [29].  $T_o=0,67$  хв.

$T_{шт.к.}=2,1 \cdot 0,67=1,4$  хв.

Таблиця 2.12 – 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	0,43	0,08	0,03	0,18	0,72	0,8	16	0,98
010 Токарна з ЧПК	0,43	0,13	0,39	0,25	6,12	8,6	49	8,89
015 Вертикально-свердлильна	0,17							0,35
020 Вертикально-свердлильна	0,12							0,25
025 Шліценарізна	0,6							1,05
030 Обкатна	0,15							0,32
035 Круглошліфувальна з ЧПК	0,67							1,4
040 Різьбонарізна	0,05							0,08
050 Круглошліфувальна з ЧПК	0,67							1,4

## 2.6 Обґрунтування вибраного оснащення на операцію

### 2.6.1 Призначення, будова і принцип роботи пристосування

Аналіз технологічного процесу виробництва деталі показав, що модернізація вертикально-свердлильної операції потребує впровадження високопродуктивного технологічного оснащення. Головними вимогами до нього є скорочення допоміжного часу, підвищення продуктивності праці та забезпечення жорсткого та надійного фіксування заготовки. Конструкція розробленого пристрою представлена на кресленні графічної частини проєкту.

Основою запропонованого оснащення є опорна плита, на якій змонтовано центральну вісь. Конструкція також включає два диски, один з яких оснащений спеціальними конусами для базування заготовки по її центровим отворам. Передбачено кондукторну плиту з відповідними втулками, яка паралельно виконує функцію базування деталі за торцевими центрувальними отворами. Можливість переналагодження цього пристрою є вагомою перевагою в умовах серійного типу виробництва.

Практичне застосування цієї конструкції дозволяє оперативно та із заданою точністю позиціонувати деталь для її подальшої комплексної механічної обробки. Технологічний процес установки відбувається так: заготовка базується на опорні конуси 5, а її бічна поверхня контактує з циліндричними поверхнями отворів, що розташовані у диску 24. Фіксація вузла виконується за допомогою гайки 20, яка розміщена на центральній осі 4. Після завершення чергового етапу обробки диски повертаються на кут 90°. Необхідне зусилля фіксації генерується затискною планкою 19, яка надійно притискає кондукторну плиту.

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		60

## 2.6.2 Вибір схеми базування і розрахунок похибки базування

Для забезпечення точного позиціонування заготовки обрано схему базування у двох центрах, які спрягаються з відповідними отворами на обох її торцях. При цьому роль упорної бази виконує конічна поверхня одного з центрувальних отворів. Під час фіксації деталі в технологічному пристрої верхній конус забезпечує її притискання власною робочою поверхнею із заданим зусиллям затиску. Графічне зображення обраної схеми базування наведено на рис. 2.3.

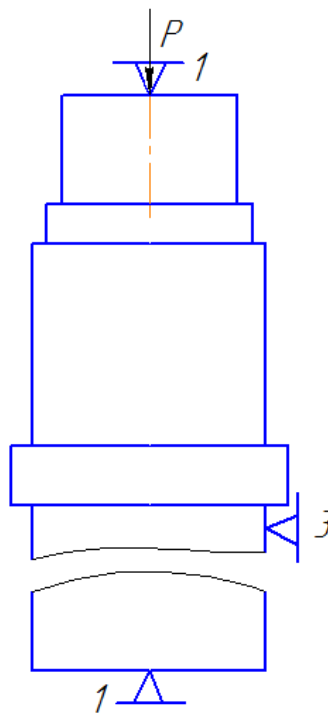


Рис. 2.3. Схема базування деталі.

Вибір схеми установки в основному визначається величиною похибки базування в пристосуванні  $\varepsilon_6$ , яка відповідно до вимог не повинна перевищувати половину допуску на розмір отвору. Головним чинником виникнення похибки установки є точність виготовлення центрів, на які базується та встановлюється деталь.

Похибка розраховується відповідно до формули:

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

$$\varepsilon_B = \frac{T_{дицентр}}{2} \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (2.17)$$

де:  $T_{дицентра}$  – допуск діаметра конуса, яким вал базується на пристосуванні,

$\alpha$  – робочий кута центрувального конуса, кут стандартного конуса становить  $60^\circ$ .

допуск діаметра конуса, яким вал базується на пристосуванні становить  $T_d=0,058$  мм.

Таким чином:

$$\varepsilon_B = \frac{0,058}{2} \cdot \frac{1}{0,32} = 0,090 \text{ мм}$$

Отже похибка  $\varepsilon_B$  є менше ніж допуск на свердління отвору (0,30 мм). Можна ствердно сказати щодо правильності вибору схеми базування деталі в пристосуванні.

### 2.6.3 Розрахунок сили затиску деталі

Крутний момент в процесі свердління отвору рівний:

$$M_{кр} = C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p$$

де:

$D$  – діаметр сверда;

$S$  – величина подачі;

$C_M=0,03460$ ;

$q=2,0$  відповідно до [29].

$$M_{кр} = 0.03460 \cdot 4,0^{2,0} \cdot 0.60^{0.80} \cdot 0.750 = 3,04 \text{ Нм}$$

Зусилля затиску:

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

$$W = \frac{K \cdot M_{кр}}{f \cdot R},$$

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

$$K_3 = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6$$

де

$K_0 = 1,50$  – коефіцієнт запасу (гарантований);

$K_1 = 1,0$  – коефіцієнт врахування базування заготовки;

$K_2 = 1,30$  – коефіцієнт врахування затуплення інструменту;

$K_3 = 1,20$  – коефіцієнт врахування переривчастість різання;

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

$K_5 = 1,0$  – коефіцієнт ергономіки затискного пристрою.

$K_6 = 1$ , – коефіцієнт установки заготовки.

Звідси зусилля затиску становить:

$$W = \frac{2,50 \cdot 3,04}{0,10 \cdot 2,0} = 20,0 \text{ Н}$$

Таке незначна величина зусилля затиску може створюватися затягуванням центральної гайки на приспособлення. Необхідність використання гідроциліндра відсутня.

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

## 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 3.1 Аналіз формоутворення поверхонь

#### 3.1.1 Аналіз оброблюваних поверхонь на деталях

Специфіка формоутворення на верстатах вертикально-свердлильної групи полягає в тому, що траєкторія обробки формується виключно поєднанням обертового руху інструменту та його переміщення вздовж осі, тоді як заготовка залишається нерухомою.

Функціональні можливості обладнання передбачають виконання технологічних операцій для отримання таких поверхонь:

- свердління та розсвердлювання отворів циліндричної форми;
- остаточне чистове доведення (розвертання, зенкерування) внутрішніх поверхонь;
- формування та фінішна обробка конічних отворів;
- зняття внутрішніх фасок;
- нарізання внутрішніх різьб різного кроку.

Конструкція верстата, адаптована для ефективного базування та обробки широкого спектра деталей, зокрема корпусних елементів, фланців, кришок, а також зубчастих коліс.

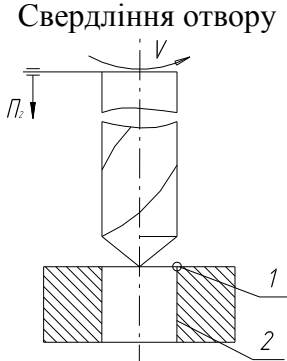
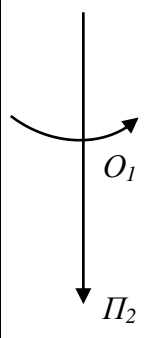
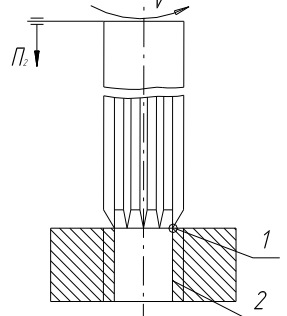
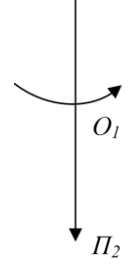
#### Вибір комплексу рухів по забезпеченню виробничого циклу на верстаті

Щоб обґрунтувати необхідний набір виконавчих рухів, проаналізуємо кінематичні схеми формування поверхонь під час механічної обробки на проєктованому верстаті.

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Дрозд О.</i>			<i>Конструкторська частина</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Крук В.</i>					64	45
<i>Перевір.</i>		<i>Кобельник В.</i>				<i>ТНТУ, гр. МВс-41 м. Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крупа В.</i>						

Узгоджені відносні переміщення заготовки та різального інструменту, які забезпечують безперервне генерування твірних ліній і, як наслідок, отримання заданої геометрії деталі, визначаються як формоутворюючі. Суть отримання поверхонь різанням полягає в тому, що завдяки тандему взаємопов'язаних рухів робочих органів верстата одночасно створюються дві базові лінії (напрямна та твірна) за умови їх постійного відносного зміщення.

Таблиця 3.1 – Порядок визначення комплексу необхідних виконавчих рухів верстата

Схеми обробки та оброблювані поверхні	Методи утворення формоутворюючих ліній	Формоутворюючі рухи	Інші рухи	Необхідні рухи
1	2	3	4	5
<p>Свердління отвору</p> 	твірна 1 – сліду	$\Phi_v(O_1)$		
	напрямна 2 – сліду	$\Phi_3(O_2)$		
<p>Зенкерування отвору</p> 	тірна 1 – копіювання	O	$V_p(P_2)$	
	напрямна 2 – сліду	$\Phi_v(O_1)$		

1	2	3	4	5
<p>Нарізання внутрішньї рїзі мїтчиком</p>	<p>твїрна 1 - копіювання</p>	<p>0</p>	<p><math>V_p(\Pi_3)</math></p>	
	<p>напрямна 2 - слїду</p>	<p><math>\Phi_v(O_1)</math></p>		
<p>Пїдрїзання внутрішньїх фасок</p>	<p>твїрна 1 - копіювання</p>	<p>0</p>	<p><math>V_p(\Pi_2)</math></p>	
	<p>напрямна 2 слїду</p>	<p><math>\Phi_v(O_1)</math></p>		
<p>Розточування отвору</p>	<p>тїврна 1 - слїду</p>	<p><math>\Phi_v(O_1)</math></p>	<p>-</p>	
	<p>напрямна 2 - слїду</p>	<p><math>\Phi_s(\Pi_2)</math></p>		

**Примїтка:**

1. Відтворюючі формоутворюючі лїнії оброблюваної поверхнї:

1 - твїрна;

2 - напрямна;

2. Позначення рухів на схемах обробки;

$V$  - головний рух різання;

$\Pi$  – рух подачі вузлів.

Провівши аналіз схеми та методів формоутворення, котрі наведені в табл. 3.1. можна зробити висновки, що для того щоб забезпечити виробничий цикл на розглядуваному верстаті необхідно мати такі рухи:

1. головний рух - обертовий рух шпинделя (інструменту) ( $O_1$ );

2. рух подачі – рух інструменту ( $\Pi_2$ ).

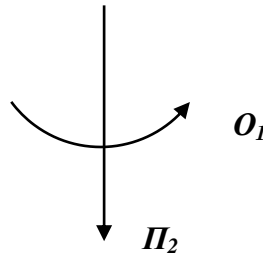


Рисунок 3.1. . Схема необхідних рухів на верстаті

### 3.1.2 Визначення комплексу виконавчих рухів верстата

Визначення комплексу потрібних виконавчих рухів на верстаті наведено в таблиці, формоутворюючі лінії, схеми обробки, методи формоутворення поверхонь та необхідні для цього виконавчі рухи

З проведеного аналізу необхідних рухів формоутворення слід зазначити що:

- 1) Рух різання – це формоутворюючий обертовий рух інструменту  $\Phi_v(O_1)$ .
- 2) Рух подачі  $\Phi_s(\Pi_2)$  в нашому випадку співпадає з рухами врізання  $V_p(\Pi_2)$  і  $V_p(\Pi_3)$  і для цього використовується один і той же кінематичний ланцюг.

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

- 3) При здійсненні нарізання різі рух  $\Pi_2$ , а саме подача на крок забезпечується самозагвинчуванням різального інструменту (плашки).

### 3.2. Кінематичний розрахунок приводів.

#### 3.2.1 Вибір структури приводів

##### 3.2.1 Привід головного руху верстата

- 1) Визначаємо загальний діапазон регулювання приводу верстата:

$$R_n = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{1985,0}{60,0} = 33,0$$

- 2) Вибираємо в нашому випадку асинхронний двигун (негульований):

$$R_n = R_{\text{мех.}} \cdot R_{\text{ел.}} = R_{\text{мех.}}$$

- 3) Для забезпечення широкого діапазону швидкостей необхідно використати безступеневе регулювання, а саме варіатор:

$$R_n = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = 6, - \text{таке значення й приймаємо.}$$

$$R_n = \gamma \cdot R_{\text{в}} \cdot R_{\text{ст}}$$

Звідси можемо визначити :

$$R_{\text{ст}} = \frac{R_n}{R_{\text{в}} \cdot \gamma} = \frac{33,0}{6,0 \cdot 0,9850} = 5,580$$

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Для верстату приймаємо знаменник  $\varphi_{\Phi}=1,260$ .

Визначимо фіктивне значення передач у варіаторі :

$$P_{\Phi.B.} = \frac{\lg \gamma \cdot R_{\Phi.}}{\lg \varphi_{\Phi.}} + 1,0 = \frac{\lg 0,950 \cdot 6,0}{\lg 1,26} + 1 = 8,0$$

$$Z_{cm} = \frac{\lg R_n}{\lg \gamma \cdot R_{\Phi.}} = \frac{\lg 33,0}{\lg 0,950 \cdot 6} = 2,0$$

$$Z_{ум} = \frac{\lg R_n}{\lg \varphi_{ум.}} + 1,0 = \frac{\lg 33,0}{\lg 1,26} + 1 = 16$$

Звідси отримаємо:  $Z_{ум.} = 8_{(1)} \cdot 2_{(7)}$

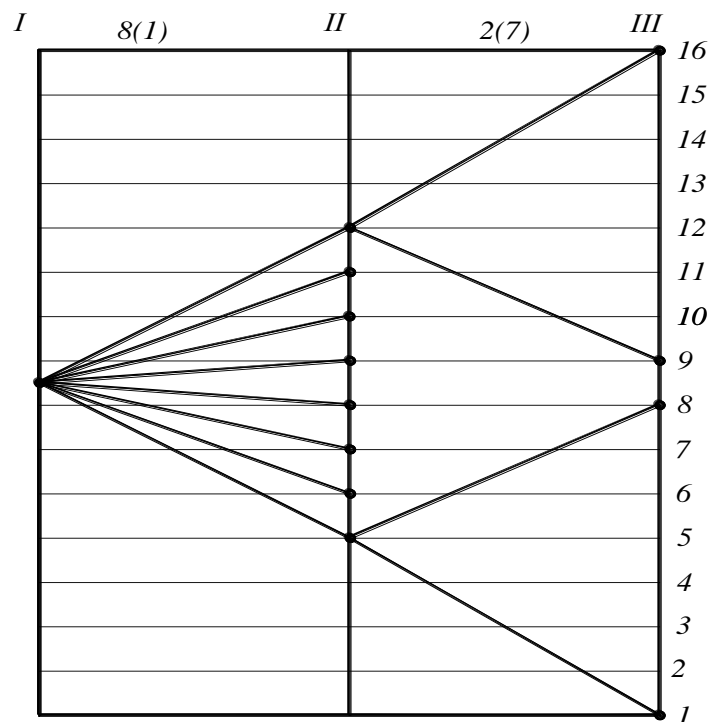


Рисунок 3.2 – Структурна сітка приводу

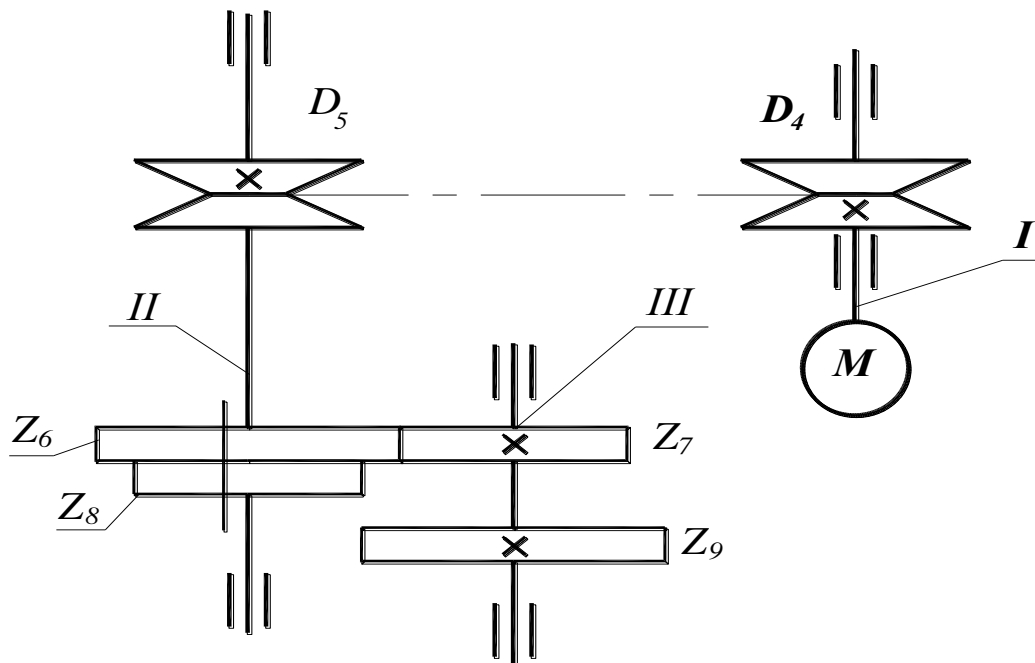


Рисунок 3.3 – Кінематична схема головного приводу верстата

### 3.2.2 Привід подач верстата

Визначимо діапазон регулювання приводу подач. Так як на вертикально свердлильних верстатах використовується і механічна подача і ручна, тому для верстата вибираємо границі регулювання механічної подачі  $S_{\min} = 0,070$  і  $S_{\max} = 0,40$ . Таке рішення зумовлено думкою, що при незначних малі значення подачі потребують значних зусиль, так як що вони використовуються при великих глибина різання.

$$R = \frac{S_{\max}}{S_{\min}} = \frac{0,40}{0,070} = 6?0.$$

Приймаємо знаменняк  $\gamma = 1,410$  і визначаємо шукане число ступеней регулювання :

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

$$Z = \frac{\lg R}{\lg \gamma} + 1,0 = \frac{\lg 6,0}{\lg 1,410} = 6,20$$

Приймаємо значення  $Z=6$ , тоді отримуємо  $Z=3_{(1)} \cdot 2_{(3)}$ .

Робимо заміну :

$$Z=2_{(3)} \cdot 3_{(1)}$$

Будуємо структурну сітку коробки подач верстата:

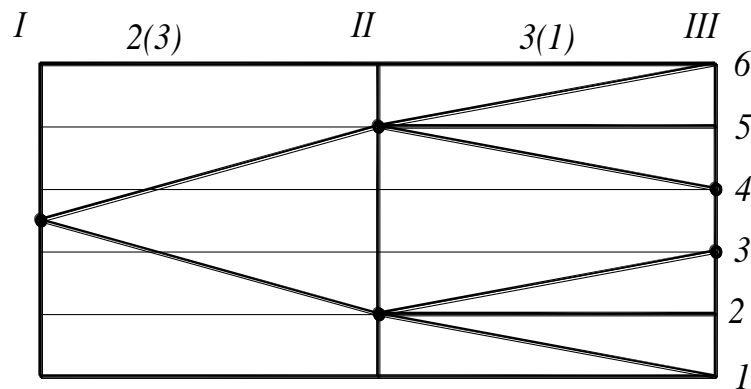


Рисунок 3.4 – Структурна сітка коробки подач верстата

Врахувавши побудовану структурну сітку можемо прикинути розміщення валів і шестерень в в майбутній коробці подач.

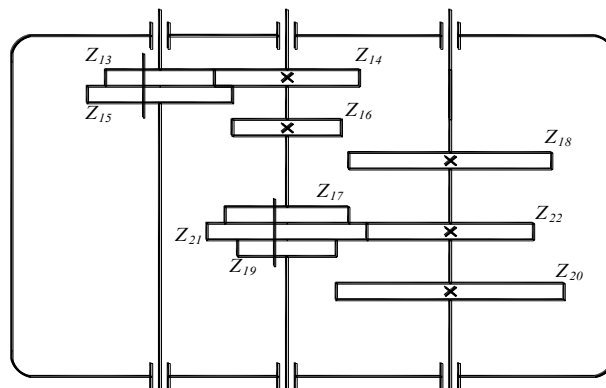


Рисунок 3.5 – Кінематична схема приводу подач верстата

### 3.3 Вибір двигунів приводів верстата

#### 3.3.1 Визначення втрат в кожному переході

Розрахунок необхідної потужності головного приводу верстата, яка гарантує стабільне протікання процесів механічної обробки з урахуванням сумарних енергетичних втрат у кінематичних ланцюгах, здійснюється за такою залежністю::

$$N_d = N_e + N_m = N_e + N_1 + N_2$$

де  $N_e$  - ефективна потужність різання ;

$N_1$  - втрати на холостий хід, незалежні від навантажень ;

$N_2$  - додаткові втрати

$$N_m = N_1 = 0,14 \text{ кВт.}$$

Ефективна потужність різання при механічній обробці розраховується з врахуванням режимів різання :

$$N_e = \frac{P_{oc} \cdot V_c}{60 \cdot 10^3},$$

де  $P_{oc} = 10,0 C_p D^\partial S^y K_p$  - середнє значення осьової сили, Н;

$V_c = 17.470 \text{ м/хв.}$  – швидкість різання при свердлінні;

$C_p = 68,0$ ;  $\partial = 1,00$ ;  $y = 0,70$  [36];

$K_{mp} = K_p = 0,810$  [369].

Розрахуємо осьову силу для ряду операцій :

$$P_{o1} = 10,0 \cdot 68,0 \cdot 10^{1,0} \cdot 0,25^{0,70} \cdot 0,810 = 2087,140 \text{ Н;}$$

					<b>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

$$P_{o2} = 10,0 \cdot 68,0 \cdot 32^{1,0} \cdot 0,50^{0,70} \cdot 0,810 = 7850,0 \text{ Н};$$

При розвертанні замість D у формулі осьової сили є t (глибина різання):

$$P_{o3} = 10,0 \cdot 68,0 \cdot 0,02^{1,0} \cdot 1,3^{0,70} \cdot 0,81 = 661,80 \text{ Н}.$$

Середнє значення осьової сили  $P_{oc} = 4532,980 \text{ Н}$ .

$$\text{Тоді: } N_c = \frac{P_{oc} \cdot V_c}{60 \cdot 10^3} = 1,320 \text{ кВт}.$$

$$N_d = N_e + N_m = 1,320 + 0,140 = 1,460 \text{ кВт}.$$

Визначаємо коефіцієнт корисної дії. приводу:

$$\eta = \frac{N_e}{N_d} = \frac{1,320}{1,460} = 0,9040.$$

### 3.3.2 Перевірка двигуна

Перевірку потужності двигуна проводимо по методу середніх втрат. Суть методу заключається в тому, що перевищення температури двигуна визначаються середніми втратами за цикл.

По діаграмі навантаження визначаємо середню потужність на валу двигуна для ступінчастого графіка:

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

$$P_{ср.в.} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i^2 \cdot t_i}{t_y}} =$$

$$= \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + P_3^2 \cdot t_3}{t_y}} =$$

$$= \sqrt{\frac{0,790^2 \cdot 0,480 + 2,140^2 \cdot 1,260 + 0,360^2 \cdot 1,60}{t_y}} =$$

$$= 1,150 \text{ кВт.}$$

Підставивши значення перевіряємо правильність виконання умови :

$$P_{ном} \geq k_3 \cdot P_{ср.в.}$$

де  $k_3=1,20 \dots 1,30$  – коефіцієнт запасу,  $k_3=1,03$ .

$0,2,20 \geq 1,30 - 1,150$  - умова виконується .

Враховавши отриману розрахункову потужність згідно каталогу обираємо асинхронний двигун – 4А900L40У3:

$$N=2,20 \text{ кВт}; n_n=1425,0 \text{ хв}^{-1}; J_{ром}=2,240 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

$$\eta=0,90; n_0=1500,0 \text{ хв}^{-1}; \Delta = \frac{M_n}{M_H} = 2,10; \lambda = \frac{M_K}{M_H} = 2,40.$$

Середні втрати визначаємо по формулі :

$$\Delta N_{ср} = \sum_{i=1}^m \Delta N_i \frac{t_i}{t_y}$$

					<b>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

де  $\Delta N_i$  - потужність втрат;

$t_i$  - час інтервалу ;

$t_y$  - час повного циклу;

$$\Delta N_{cp} = 0,140 \cdot \frac{3,360}{4,710} = 0,110 \text{ кВт.}$$

Отримані середні втрати потужності за цикл порівнюється з нормальними :

$$\Delta N_{cp.} \leq \Delta N_{ном.} = \frac{N_{ном.}(1 - \eta_{ном.})}{\eta_{ном.}}.$$

Умова виконується.

### 3.3.3 Кінематичний розрахунок приводів

#### 3.3.3.1 Привід головного руху верстата

По структурній стінці коробки швидкостей будуюмо графік чисел обертів  
( рисунок 3.5)

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

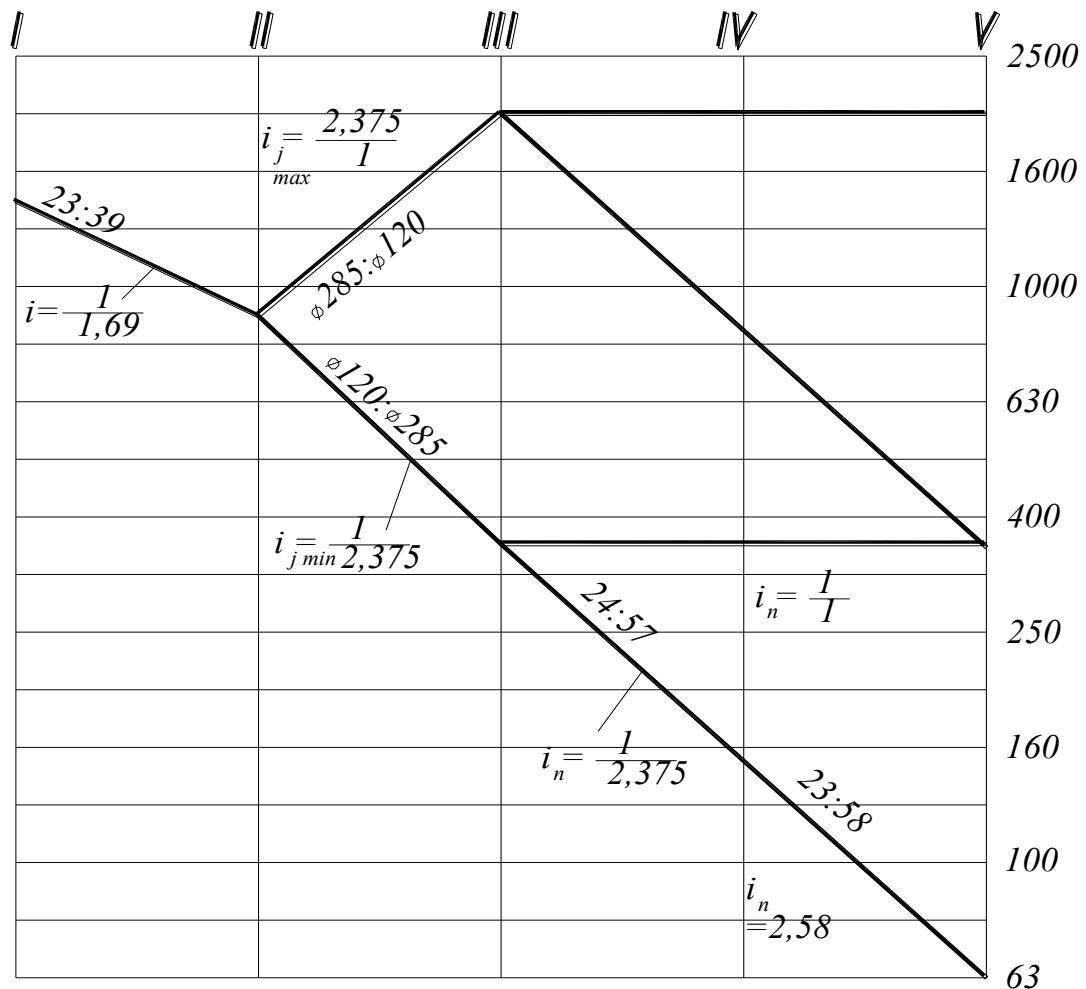


Рисунок 3.6 - Графік чисел обертів шпинделя

Згідно цього графіку здійснюємо розрахунок чисел зубів зубчастих коліс. Приймаємо кількість зубів шестерні рівною  $Z=23$ .

Далі визначаємо сумарну кількість зубів зубчастого колеса і шестерні :

$$i_1 = \varphi^{-2,20} = 0,60;$$

$$\sum Z = 23 \cdot \frac{1 + 0,60}{0,60} = 62;$$

Значить кількість зубів зубчастого колеса:

$$Z_1 = \Sigma Z - Z_2 = 62 - 23 = 39$$

Для другої пари коліс розрахунки здійснюємо аналогічно :

$$i_1 = \varphi^{-3,0} = \frac{Z_6}{Z_7} = 0,420; \quad Z_6 = 24;$$

$$\Sigma Z = 24 \cdot \frac{1 + 0,420}{0,420} = 81 .$$

$$Z_7 = \Sigma Z - Z_6 = 81 - 24 = 57 .$$

Прийmemo :  $Z_{в.} = 23$ ;  $Z_{в.} = 23$ ;  $Z_{д.} = 58$ ;

Частоти обертання шпинделя :

$$n_{шп} = n_{e.д} \cdot \frac{Z_2}{Z_3} \cdot \frac{Z_4}{Z_5} \cdot \gamma \left| \frac{Z_6}{Z_7} \frac{Z_8}{Z_9} \right| = 1425 \cdot \frac{23}{39} \cdot \left| \frac{120 \dots 285}{285 \dots 120} \right| \cdot 0,985 \cdot \left| \frac{\frac{24}{57} \cdot \frac{24}{58}}{\frac{24}{24}} \right| = 58,20 \dots 1985 \text{ хв}^{-1} \quad (3.9)$$

### 3.3.3.2 Привід подач верстата

По аналогії побудуємо графік чисел обертів для приводу подач і розраховуємо числа зубів коліс передач:

$$i_0 = \varphi^{-3,40} = \frac{Z_{11}}{Z_{12}} = 0,310$$

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

$$\text{Приймаємо } Z_{11}=29. \sum Z = 29 \cdot \frac{1+0,310}{0,310} = 122; Z_{12} = \sum Z. - Z_{11} = 122 - 29 = 93$$

.

Визначимо передаточне відношення для пари шестерень  $Z_{13}$  і  $Z_{14}$ .

$$i_1 = \varphi^{-4,0} = 1,410 = \frac{Z_{13}}{Z_{14}} = 0,25630.$$

$$\text{Приймаємо : } Z_{13} = 18$$

$$\sum Z = 18 \cdot \frac{1+0,25630}{0,25630} = 90.$$

$$Z_{14} = \sum Z. - Z_{13} = 90 - 18 = 72.$$

Зубчасте колеса  $Z_{16}$  і шестерня  $Z_{15}$  знаходяться на тих же валах що і  $Z_{14}$ , і  $Z_{15}$ , а це дозволяє стверджувати, що для цих пар коліс сума зубів рівна, так як модуль зубів однаковий.

$$\text{Звідси вибираємо } Z_{15} = 37 \text{ і } Z_{16} = 53.$$

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

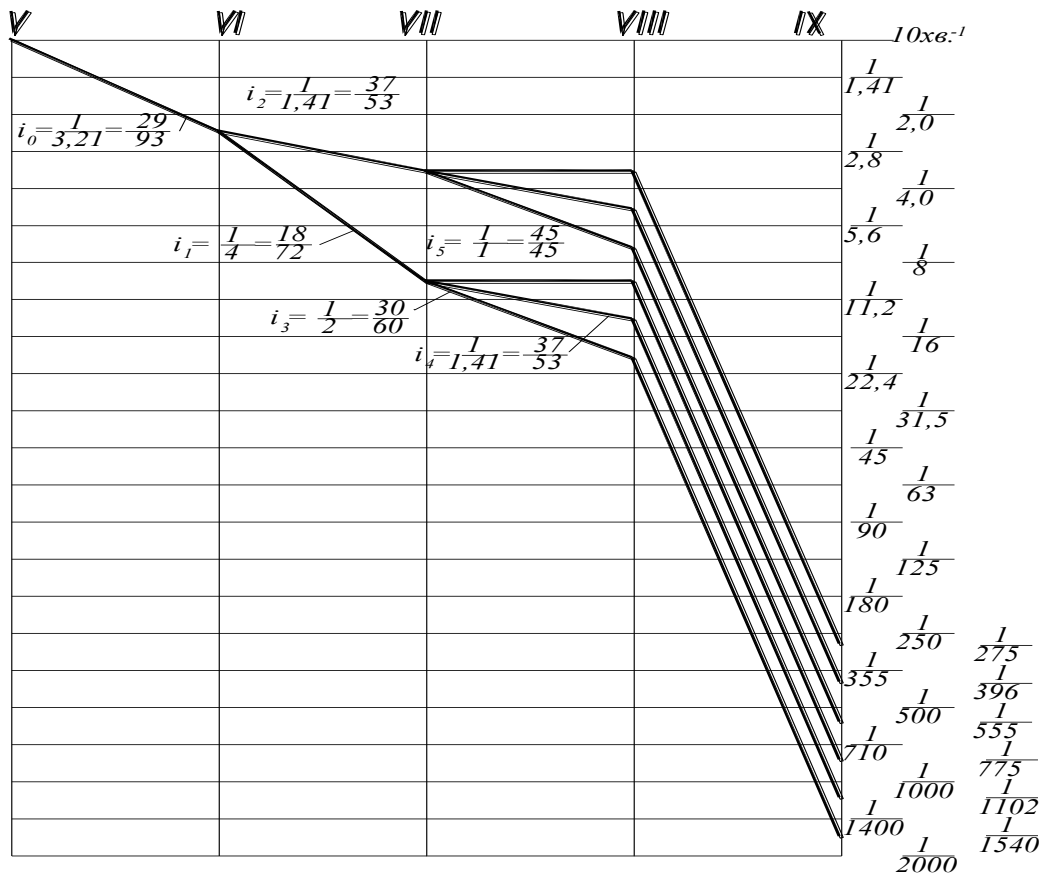


Рисунок 3.7 – Графік чисел обертів приводу подач

Визначаємо передаточне відношення для шестерні  $Z_{17}$  і  $Z_{22}$ .

$$i_2 = \varphi^{-2} = 1,41^{-2} = \frac{Z_{17}}{Z_{18}} = 0,5;$$

Приймаємо  $Z_{17}=30$ .

$$\Sigma Z = 30 \cdot \frac{1+0,5}{0,5} = 90. \quad Z_{18} = \Sigma Z - Z_{17} = 90 - 30 = 60.$$

Для коліс  $Z_{21}$  і  $Z_{22}$ , а також  $Z_{19}$  і  $Z_{20}$  на основі того, що вони

розміщені на тих самих валах вибираємо :

$$Z_{21} = 45, \quad Z_{22} = 45.$$

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

$$Z_{19} = 37, Z_{20} = 53.$$

Залежно від розрахунку приводу, має бути шість значень подач в діапазоні 0,070...0,40 мм/об.

$$S = 1_{об.} \cdot \frac{Z_{11}}{Z_{12}} \cdot \left\{ \begin{array}{c} \frac{Z_{13}}{Z_{14}} \\ \frac{Z_{15}}{Z_{16}} \end{array} \right\} \cdot \left\{ \begin{array}{c} \frac{Z_{21}}{Z_{22}} \\ \frac{Z_{19}}{Z_{20}} \\ \frac{Z_{17}}{Z_{18}} \end{array} \right\} \cdot \frac{Z_{23}}{Z_{24}} \cdot \pi \cdot m \cdot Z_{р.ш.}$$

$$S = 1 \cdot \frac{29}{93} \cdot \left\{ \begin{array}{c} \frac{18}{72} \\ \frac{37}{53} \end{array} \right\} \cdot \left\{ \begin{array}{c} \frac{45}{45} \\ \frac{37}{53} \\ \frac{30}{60} \end{array} \right\} \cdot \frac{1}{60} \cdot \pi \cdot 2,514 = 0,070; 0,1; 0,140; 0,2; 0,280; 0,4 \text{ мм / об.}$$

де  $Z_i$  – кількість зубів зубчастих коліс;  $Z_{р.ш.}$  - кількість зубів реєчної шестерні;  $m=2,50\text{мм}$  – модуль зуба реєчної шестерні;

$$i_{p1} = \left\{ \frac{Z_{13}}{Z_{13}}; \frac{Z_{15}}{Z_{16}} \right\}, \quad i_{p2} = \left\{ \frac{Z_{18}}{Z_{21}}; \frac{Z_{19}}{Z_{20}}; \frac{Z_{17}}{Z_{22}} \right\} - \text{передаточні відношення першої і}$$

другої груп коробки подач.

Число ступеней подач  $Z=6$  забезпечиться при послідовному увімкненні груп передач  $p_1$  і  $p_2$ .

Частота обертання рейкової шестерні приводу пінолі верстата :

$$n_{р.ш.} = \frac{S}{\pi \cdot m \cdot Z_{р.ш.}}$$

					<b>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

Результати проведених розрахунків зводимо в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – частоти обертання реєчної шестерні

<i>S</i> , мм/об	0,070	0,10	0,140	0,20	0,280	0,40
<i>n<sub>p.ш.</sub></i>	$\frac{1}{1540}$	$\frac{1}{1102}$	$\frac{1}{775}$	$\frac{1}{555}$	$\frac{1}{396}$	$\frac{1}{275}$

### 3.4 Конструкція і розрахунок коробки швидкостей верстата

#### 3.4.1 Опис конструкції і принципу роботи коробки швидкостей верстата

Конструктивно коробка швидкостей інтегрована всередину корпусу свердлильної головки і виконана у вигляді двовального механізму. Особливість кінематичного зв'язку полягає в тому, що вал шпинделя безпосередньо сполучається з валом варіатора. Це дозволяє за допомогою розташованого на них зубчастого зачеплення транслювати обертовий момент безпосередньо від варіатора, минаючи механізм перебору. Керування частотою обертання та зміна ступенів швидкостей реалізуються шляхом осьового переміщення блоків шестерень через систему важелів, яка контролюється за допомогою єдиної фіксуєчої рукоятки.

#### 3.4.2 Розрахунок конструктивних параметрів зубчастих коліс

Розрахунок проводимо на низьких частотах обертання шпинделя (до 160 об/хв.).

Крутний момент на валах визначається по максимально - допустимому моменту на шпинделі  $M_{шп.}=200,0 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

$$M_{кр} = M_{шп} \cdot \frac{Z_i}{Z_k} \cdot \frac{1}{\eta}$$

де  $Z_i, Z_k$  – кількість зубів зубчастих коліс коробки швидкостей верстата;

$$\eta = \eta_{зк}^n \cdot \eta_{нк}^n - \text{к.к.д приводу.}$$

Крутний момент на валу електродвигуна буде :

$$M_{кр} = 9750,0 \cdot \frac{N}{n} = 9750,0 \cdot \frac{2.200}{1425} = 15,0 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де  $N=2,20$  кВт – потужність електродвигуна ;

$n=1425,0$  хв<sup>-1</sup>. – частота обертання електродвигуна.

Крутний момент на валу другому II :

$$M_{II} = 9750,0 \cdot \frac{N}{n} \cdot \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \eta$$

де  $Z_1, Z_2$  – кількість зубів зубчастої передачі.

$$\eta = \eta_{зк}^n \cdot \eta_{нк}^n = 0,980 \cdot 0,9950 = 0,9750 - \text{к.к.д. даної передачі.}$$

$$M_{II} = 9750,0 \cdot \frac{2,20}{1425} \cdot \frac{39}{23} \cdot 0,9750 = 25,0 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Крутний момент на четвертому валу IV

$$M_{IV} = M_V \cdot \frac{Z_8}{Z_9} \cdot \frac{1}{\eta}$$

де  $M_V=200,0$  Н·м – крутний момент на шпинделі верстат;

$$\eta = \eta_{зк}^3 \cdot \eta_{нк}^3 = 0,980 \cdot 0,9950^3 = 0,9750 - \text{к.к.д. даної передачі.}$$

$$M_{IV} = 200,0 \cdot \frac{23}{58} \cdot \frac{1}{0,9750} = 82,0 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Частота обертання на четвертому валі IV:

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

$$n_{IV} = n_V \cdot \frac{Z_9}{Z_8} = 200,0 \cdot \frac{58}{23} = 475 \text{ об/хв.}$$

Крутний момент на тругьому валу III:

$$M_{III} = M_{IV} \cdot \frac{Z_6}{Z_7} \cdot \frac{1}{\eta} = 87,0 \cdot \frac{24}{57} \cdot \frac{1}{0,970} = 38H \cdot м$$

Частота обертання третього вала III:

$$n_{III} = n_{IV} \cdot \frac{Z_7}{Z_6} = 475,0 \cdot \frac{57}{24} = 1128 \text{ об/хв.}$$

Передаточне відношення :

$$U = \frac{Z_i}{Z_k}$$

де  $Z_i$  ,  $Z_k$  – кількість зубів шестерні і колеса відповідно до кінематичної схеми.

Колова швидкість буде рівна :

$$V = \frac{\pi \cdot m \cdot Z \cdot n}{60000}$$

де  $m$  – модуль зубчастого зачеплення ;

$n$  – частота обертання вала.

Коефіцієнт нерівномірності буде рівний :

$$K_{np/} = 1 + K_{n/} \cdot \frac{b_1}{m \cdot Z}$$

де  $K_n$  - коефіцієнт, що залежить від розміщення коліс;

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

$b_1$  - ширина зубчастого вінця зубчастого колеса.

Коефіцієнт навантаження :

$$K = K_p \cdot K_{np} \cdot K_\partial$$

де  $K_p$  - коефіцієнт використовуваного обладнання.

Коефіцієнт форми зуба зубчастого колеса:

$$y_1 = 0,520 \cdot \left(1 - \frac{5,60}{Z_1}\right) \cdot \left[1 + 1,710 \cdot (2,0 - x_i^{2,0}) \cdot \frac{x_1}{Z_i - 8,0}\right]$$

$$y_1 = 0,520 \cdot \left(1 - \frac{5,60}{Z_1}\right) \cdot \left[1 + 1,710 \cdot (2,0 - x_i^{2,0}) \cdot \frac{x_1}{Z_i - 8,0}\right]$$

де  $x_1 = x_2 = 0$  - коефіцієнти зміщення.

Напруження згину у ніжки зуба буде:

$$\sigma_{U_1} = \frac{2 \cdot K \cdot M_{кр.} \cdot 10,0^{03}}{m^{2,0} \cdot Z_i \cdot b_i \cdot y_1}$$

$$\sigma_{U_2} = \sigma_{U_1} \cdot \frac{y_1}{y_2} \cdot \frac{b_1}{b_2}$$

Контактні напруження в зачепленні :

$$\sigma_K = \frac{C}{m \cdot Z_1} \cdot \sqrt{\frac{U+1}{U} \cdot \frac{M_{кр.} \cdot K \cdot \operatorname{tg} 20^\circ}{b_{\min.} \cdot \operatorname{tg} \alpha}}$$

де  $C$  – коефіцієнт, який враховує матеріал виготовлення зубчастих коліс.

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

Результати розрахунку зведені в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 - Результати розрахунку параметрів зубчастих коліс.

$\frac{Z_i}{Z_k}$	Матеріал коліс	$M_{sp}, H \cdot m$	$n, об/хв.$	$C$	$K_v$	$K_m$	$b_1, мм$	$b_2, мм$	$\sigma_{U_1}, МПа$	$\sigma_{U_2}, МПа$	$\sigma_K, МПа$
$\frac{23}{39}$	Ст.-текст.	15	1426	5700	0,04	0,25	28	30	40,8	33,6	134
	Ст. – поліам.	25	840								
$\frac{23}{58}$	Ст. – ст.	83	476	21300	0,04	0,25	15	19	178	195	100
$\frac{24}{57}$	Ст. – ст.	38	1128	21300	0,04	0,25	17	14	96	110	790

Модуль для пари зубчастих коліс  $\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{23}{39}$  буде  $m=2,0$  мм.

Модуль зачеплення зубчастих коліс коробки швидкостей буде рівний  $m=3$  мм.

В якості матеріалу для виготовлення зубчастих коліс коробки швидкостей вибираємо сталь 40Х із наступним загартуванням.

Допустимі напруження в парах:

$$[\sigma_U] = 380,0 МПа > \sigma_U = 280,0 МПа;$$

$$[\sigma_K] = 1300,0 МПа > \sigma_K = 912,0 МПа.$$

Як зазначалося, що матеріал коліс  $Z_1=23$  і  $Z_2=39$  : сталь 40Х, термообробка покращення.

Допустимі напруження :

$$[\sigma_U] = 140,0 МПа;$$

$$[\sigma_K] = 450,0 МПа.$$

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

$$\text{Розрахунок пари зубчастого зачеплення : } \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{23}{39}.$$

Зубчасте колесо з числом зубів  $Z_2 = 39$  у випадку виготовлення з поліаміду.

Момент на колесі  $Z_2 = 39$ :

$$M_{кр} = 9750,0 \cdot \frac{N}{n} \cdot \frac{Z_2}{Z_1} = 9750,0 \cdot \frac{2,20}{1425} \cdot \frac{39}{23} = 25,520 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$N=2,20 \text{ кВт}$  – потужність;

$n=1425 \text{ хв}^{-1}$ . – частота обертання електродвигуна;

Колова швидкість :

$$V = \frac{\pi \cdot m \cdot Z \cdot n}{60000} = \frac{3,14 \cdot 2,0 \cdot 23 \cdot 1425,0}{60000} = 3,430 \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

де  $m=2,0 \text{ мм}$  – модуль зубчастого зачеплення ;

$Z=23 \text{ мм}$  – кількість зубів шестерні.

Частота обертання зубчастого колеса :

$$n = n_{ел} \cdot \frac{Z_1}{Z_2} = 1425 \frac{23}{39} = 804,40 \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

Напруження згину :

$$\sigma_U = \frac{1670,0 \cdot M_K}{m^{2,0} \cdot Z_2 \cdot b_2 \cdot y_2} = \frac{1670 \cdot 25,5240}{2^2,0 \cdot 39 \cdot 28 \cdot 0,5970} = 16,3450 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2},$$

де  $b_2 = 28,0 \text{ мм}$  - ширина вінця зубчастого колеса ;

$y_2 = 0,5970$  - коефіцієнт форми зуба зубчастого колеса.

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

Розрахунок числа циклів навантажень :

$$N_4 = 60 \cdot n \cdot T = 60 \cdot 840,40 \cdot 40000 = 2,0 \cdot 10^9$$

де  $T=40000$  год. – необхідний ресурс.

Допустимі напруження :

$$[\sigma_U] = 4200 \cdot 1 \cdot 0,20 \cdot 1 = 17,640$$

де  $K_e=0,420$  – експлуатаційний коефіцієнт пари;

$K_y$  – коефіцієнт, що враховує ресурс ресурсу;

$K_T$  – коефіцієнт, що враховує температуру;

$$[\sigma_{\cdot U.}] = 4200 \cdot 1,0 \cdot 0,20 \cdot 1,0 = 17,640 \text{ Н/мм}^2$$

Умова міцності :

$$\sigma_{\cdot U.} = 16,3450 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} < [\sigma_{\cdot U.}] = 17,640 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} .$$

### 3.4.3 Розрахунок валів приводу

В роботі зробимо розрахунок на міцність для IV вала. Визначимо колоне зусилля, яке діє на вал від зубчастих коліс зубчастої пари:

$$P_{01} = \frac{20,0 \cdot M_{кр.III}}{m \cdot Z_6} = \frac{20,0 \cdot 3800}{3 \cdot 24} = 1056,0 \text{ Н}$$

Радіальне навантаження буде:

$$R_1 = 0,48 \cdot P_{01} = 0,480 \cdot 1056 = 507 \text{ Н}$$

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

Колове зусилля, яке діє на валу:

$$P_{02} = \frac{20,0 \cdot M_{кр.III}}{m \cdot Z_6} = \frac{20,0 \cdot 20000}{3 \cdot 57} = 2339H$$

Радіальне навантаження :

$$R_2 = 0,480 \cdot P_{02} = 0,480 \cdot 2339 = 1123,0H$$

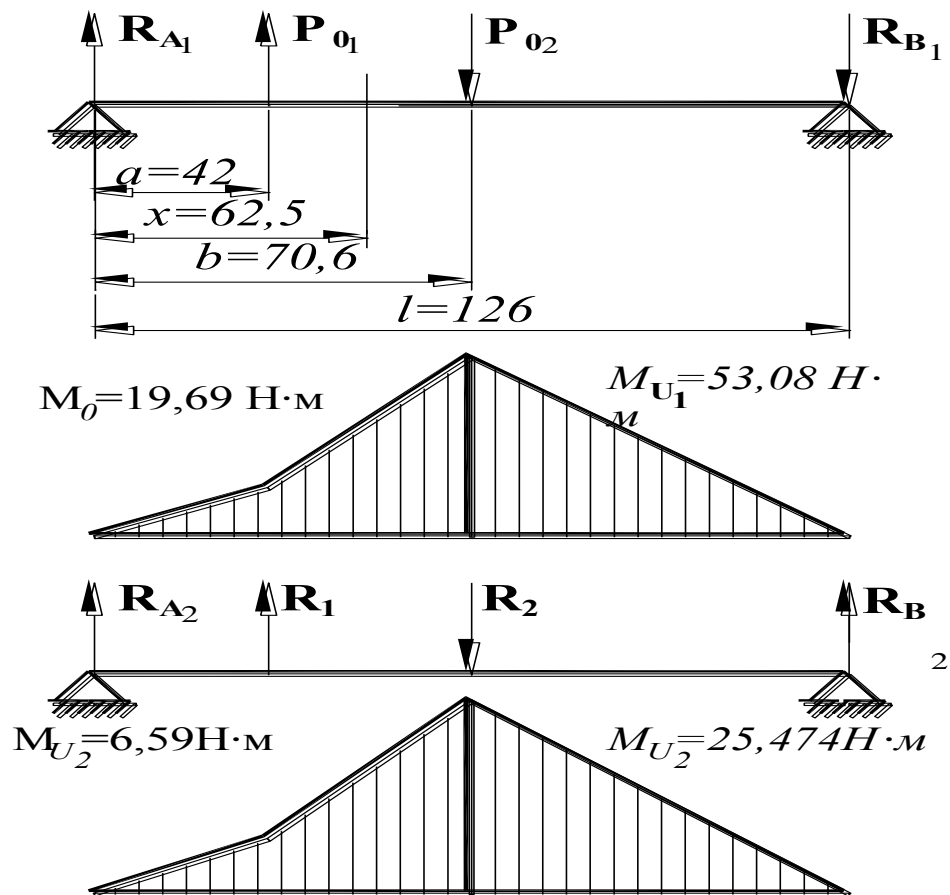


Рисунок 3.8 – Розрахункова схема вала

Опорні реакції :

$$R_{A1} = \frac{P_{02} \cdot (l - b) - P_{01} \cdot (l - a)}{l} = \frac{2339,0 \cdot (126 - 70,50) - 1056 \cdot (126 - 42)}{126} = 326,0H$$

;

$$R_{B1} = \frac{P_{02} \cdot b - P_{01} \cdot a}{l} = \frac{2339,0 \cdot 70,50 - 1056,0 \cdot 42}{126} = 957,0H ;$$

$$R_{A2} = \frac{R_2 \cdot (l - b) - R_1 \cdot (l - a)}{l} = \frac{2339,0 \cdot (126 - 70,50) - 507,0 \cdot (126 - 42)}{126} = 157H ;$$

$$R_{B2} = \frac{R_2 \cdot b - R_1 \cdot a}{l} = \frac{1123,0 \cdot 70,50 - 507,0 \cdot 42}{126} = 459,0H ;$$

Згинальний момент в шуканому січені:

$$M_{зг} = \sqrt{M_{зг1}^2 + M_{зг2}^2} = \sqrt{53,080^2 + 25,4740^2} = 58,880H$$

Напруження згину в січені :

$$\sigma_{зг} = \frac{\sqrt{M_{зг}^2 + 0,60M_{кр}^2}}{W_{зг}} = \frac{\sqrt{58,880^2 + 0,60 \cdot 87,0^2}}{1,370 \cdot 10^3} = 5,380 \frac{H}{мм^2} ;$$

де  $W_{зг}$  – момент опору шліцьового вала.

Матеріал вала : сталь 45..

Допустиме напруження :

$$[\sigma_{зг}] = 80,0 \frac{H}{мм^2} < \sigma_{зг} = 65,380 \frac{H}{мм^2} .$$

					КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

### 3.4.4 Розрахунок опор приводу на довговічність

Вал III.

Частота обертання на валу III  $n=45,0$  об/хв.

Реакції в опорах :

$$R_A = \sqrt{R_{A1}^2 + R_{A2}^2} = \sqrt{326,0^2 + 157,0^2} = 362H ;$$

$$R_B = \sqrt{R_{B1}^2 + R_{B2}^2} = \sqrt{957,0^2 + 459,0^2} = 1060H .$$

В опорах валів встановлені кулькові радіально-упорні підшипники. В опорі позначеній „А” встановлено підшипник № 58203, який має динамічну вантажопідйомність  $C=9560,0$  Н, навантаження становить  $R_A = 362,0H$ .

В опорі позначеній „В” встановлено підшипник №56203, який має динамічну вантажопідйомність  $C=9560,0$  Н, статична вантажопідйомність  $C_0=4500$  Н. Навантаження на підшипник становить  $R_B = 1060H$ .

Приведене динамічне навантаження :

$$Q = R_B \cdot K_k \cdot K_\sigma \cdot K_T$$

де  $K_k = 1,0$  - коефіцієнт, що враховує обертання кільця ;

$K_\sigma = 1,2,0$  - коефіцієнт, що враховує безпеку ;

$K_T = 1,0$  - коефіцієнт, що враховує температуру.

$$Q = 1060 \cdot 1,0 \cdot 1,20 \cdot 1,0 = 1272H .$$

Тепер визначимо довговічність опор (підшипників) :

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

$$L = \frac{10^{4,0}}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{Q}\right)^\alpha = \frac{10^{4,0}}{60 \cdot 475,0} \cdot \left(\frac{9760}{1272}\right)^3 = 14900 \text{ год.}$$

Очікувана довговічність складе:

$$[L] = 5000,0 \text{ год.}$$

### 3.5 Конструкція та розрахунок шпindelного вузла (ШВ) верстата

#### 3.5.1 Опис конструкції ШВ та принцип його роботи.

Базування шпindelа здійснюється за допомогою підшипників кочення 46 всередині пінолі 1. На зовнішньому контурі пінолі сформовано зубчасту рейку, яка кінематично пов'язана з рейковою шестірнею приводу подач, а також із зубчастим колесом системи зрівноваження.

Конструкція нижнього опорного вузла 50 сформована з трьох прецизійних кулькових підшипників, змонтованих за конфігурацією «триплекс». Цей блок включає спарені радіально-упорні підшипники, основним завданням яких є компенсація осьових зусиль під час виконання свердлильних чи розточувальних операцій, та додатковий одинарний радіально-упорний підшипник.

Фіксація хвостовика інструментальної оправки у внутрішньому конусі шпindelа реалізується за допомогою трьох кульок 58, які контактують із відповідними лисками на самій оправці. Ці фіксуючі елементи розміщені в радіальних свердліннях шпindelа з кутовим кроком 120°. Профіль отворів спроектовано таким чином, щоб унеможливити випадання кульок у центральний конічний отвір. Блокування кульок у робочому положенні забезпечує підпружинена обойма 11, оснащена внутрішнім самогальмівним профілем. Зусилля від пружин 67 передається на опорний диск 13, жорстко зафіксований на шпindelі за допомогою двох напівкілець 19, встановлених у спеціальну канавку. Обойма обертається синхронно зі шпindelем завдяки шпонковому з'єднанню. Поверх обойми через радіальний підшипник

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		91

змонтовано стакан 12, розташований на зовнішній частині пінолі. Стакан має можливість осьового переміщення вздовж гільзи, при цьому від провертання його утримує стопорний гвинт 26. Безпосередня передача крутного моменту на інструмент відбувається через спеціальний торцевий зуб шпинделя.

Процес екстракції (вилучення) інструменту відбувається за таким алгоритмом. Під час переміщення пінолі 1 у верхнє крайнє положення стакан 12 досягає торця нерухомої напрямної втулки, розташованої в корпусі свердлильної головки. Внаслідок цього рух стакана 12 та обойми 11 припиняється, тоді як шпиндель продовжує підійматися. Це призводить до суміщення фіксуючих кульок із розточкою в обоймі, що дозволяє оправці розсунути їх та вільно вийти з отвору.

Як альтернативу запропоновано модернізований варіант шпиндельного вузла, де використовується аналогічний кульковий принцип затиску оправки. Однак оптимізована конструкція механізму значно пришвидшує і спрощує процес розфіксації інструменту. Такий ефект досягається за рахунок того, що для звільнення оправки достатньо підняти підпружинену обойму вгору відносно нерухомого шпинделя, доки внутрішня проточка не опиниться на одному рівні з кульками.

### 3.5.2 Вимоги до шпиндельного вузла.

Шпиндельний вузол (ШВ) має відповідати ряду вимог та забезпечувати наступне:

характеристика точності обертового руху визначається показниками радіального та осьового відхилень робочого торця шпинделя. У проектуваному обладнанні ці параметри суворо регламентуються технологічними вимогами до кінцевої прецизійності оброблюваних деталей

$$\Delta = \frac{\Delta}{3} = \frac{21}{3} = 7,0 \text{ мкм},$$

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

де  $\Delta$  - радіальне биття вала шпинделя, мкм;  
 $\Delta_{\partial}$  - мінімальний допуск на розмір деталі;

жорсткість верстатів:

$$\frac{N}{j} = 0,250 \dots 0,350 \frac{\text{кВт} \cdot \text{мкм}}{\text{даН}}$$

Так, як  $N=2,20$  кВт, тому з відси жорсткість буде:

$$j = \frac{N}{0,250 \dots 0,350} = \frac{2,20}{0,250 \dots 0,350} = 8,80 \dots 6,30 \frac{\text{даН}}{\text{мкм}},$$

$$\text{тобто } j = 8,80 \dots 6,30 \frac{\text{Н}}{\text{мкм}} ;$$

вібростійкість та динамічні характеристики. Ці показники є критично важливими і визначаються амплітудними значеннями коливань робочого торця шпинделя, а також параметрами його власної частоти. Наявність вібраційних процесів у шпиндельній групі призводить до погіршення показників шорсткості та прецизійності обробки, прискорює знос різального інструменту та знижує загальну ефективність роботи обладнання. Для подальших розрахунків значення частоти власних коливань фіксується на рівні 550 Гц.

теплостійкість. Надмірне виділення тепла та подальші температурні деформації вузла є вкрай небажаними факторами, оскільки вони порушують кінематичну точність верстата і різко погіршують умови експлуатації опорних елементів. Тому теплові навантаження суворо лімітуються максимально допустимим нагріванням підшипникових вузлів. Відповідно до нормативно-довідкової бази, для металорізального обладнання класу точності «П», температурний режим зовнішнього кільця підшипника має підтримуватися в межах 50...55°C.

швидкохідність ( $d \cdot n$ ) :

$$n_{\max} = 1985 \text{ об/хв.}, \text{ відповідно до режимів різання (п.3.2.2);}$$

$d_{\max}$  - шпиндельний вузол:

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

$$\frac{N}{d} = 0,020 \dots 0,0350 \frac{\text{кВт}}{\text{мм}}$$

де  $N$  – потужність електродвигуна,  $N=2,20$  кВт;

$d$  – шуканий діаметр вала шпинделя, мм

Звідси :

$$d = \frac{N}{0,020 \dots 0,0350} = \frac{2,20}{0,020 \dots 0,0350} = 11,0 \dots 62,90 \text{ мм}$$

Отже  $d$  на  $n=19850$

### 3.5.3 Вибір компоувальної схеми та геометричних характеристик

#### ШВ.

Врахувавши швидкохідність обираємо №3:

$$dn < (1,60 \dots 2,0) \cdot 10^5 \text{ мм/хв.}$$

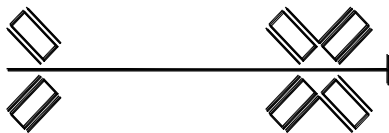


Рисунок 3.9 – Схема ШВ №3

Для оптимального навантаження підшипників опор ШВ обираємо шосту

схему, що реалізувати поставлене

завдання.



$$dn < (4,0 \dots 5,0) \cdot 10^5 \text{ мм/хв.}$$

Рисунок 3.10 – Схема за №6

Підбір геометричних параметрів ШВ:

а. Діаметр шпинделя.

Врахувавши конструктивні особливості та існуючі практики, відповідно до аналогів верстатів свердлильної групи діаметр вала шпинделя в передній опорі приймемо рівним 40 мм, що дасть змогу зменшити габаритні розміри

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		94

шпиндельного вузла та коробки швидкостей зі збереженням точності та робото здатності верстатаі.

б. Міжопорна відстань буде  $l=3d=120$  мм. Так як шпиндель здійснює поступальний рух і на пінолі передбачається рейка, тому приймаємо  $l=370$  мм.

в. Діаметр переднього кінця шпинделя  $d_k=(1,0\dots1,20)\cdot d=1,20\cdot 40,0=48$  мм.

Приймаємо  $d_k=65,0$  мм – тому, що передбачаємо виконання конусного отвору для встановлення інструмента чи конусних оправок.

г. Діаметр вала шпинделя між опорами  $d_M=(1,0\dots0,90)\cdot d=0,90\cdot 40,0=37$  мм.

д. Діаметр шпинделя заданій опорі  $d_3=(1,0\dots0,700)\cdot d=0,70\cdot 40,0=30$  мм.

е. Величина вильоту шпинделя  $c=(1,0\dots2,10)\cdot d=2,0\cdot 40,0=80$  мм.

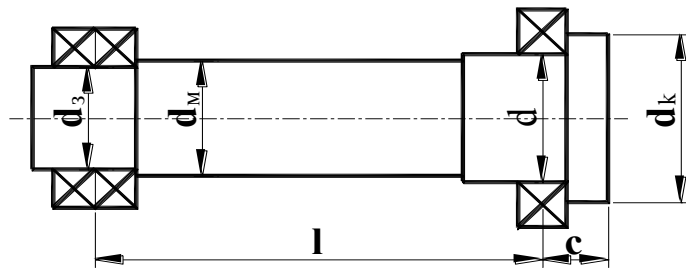


Рисунок 3.11 –Схема позначень на ШВ

### 3.5.4 Розрахунок статичної осьової жорсткості ШВ

#### 3.5.4.1 Розрахункова схема ШВ

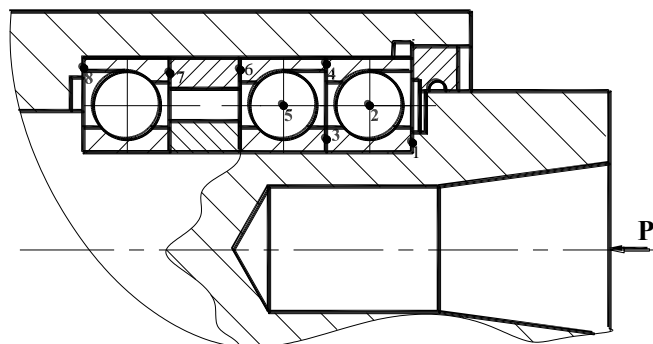


Рисунок 3.12 – Конструктивна схема ШВ

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		95

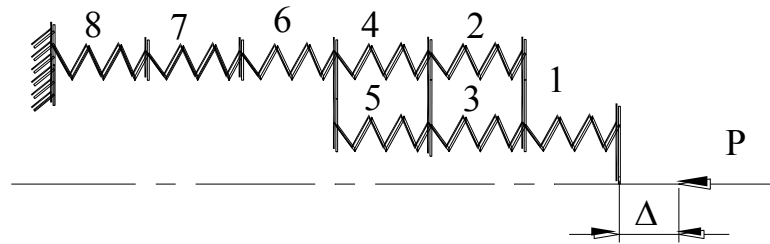


Рисунок 3.13 – Розрахункова схема ШВ

Стикові з'єднання

$j_{1,3,4,6,7,8}$  - це стики плоскі нерухомі ;

$j_{2,5}$  - це опри - підшипники ;

Приведення розрахункової схеми:

$$j_{2,4} = \frac{j_2 \cdot j_4}{j_2 + j_4}, \quad j_{3,5} = \frac{j_3 \cdot j_5}{j_3 + j_5}, \quad j_{6,7} = \frac{j_6 \cdot j_7}{j_6 + j_7}, \quad j_{(6,7),8} = \frac{j_{6,7} \cdot j_8}{j_{6,7} + j_8}$$

з'єднання стиків послідовне ;

Враховавши вище зазначене вийде схема:

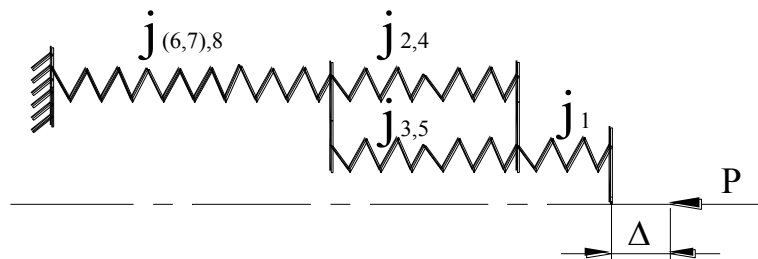


Рисунок 3.14 – Приведена розрахункова схема

Тоді

$$j_{(2,4),(3,5)} = j_{2,4} + j_{3,5} = j_{2-5} \text{ - з'єднання стиків паралельне ;}$$

$$j_{1,(2-5)} = \frac{j_1 \cdot j_{(2-5)}}{j_1 + j_{(2-5)}} \text{ - з'єднання стиків послідовне ;}$$

$$j_{(1-8)} = \frac{j_{(1-5)} \cdot j_{(6-8)}}{j_{(1-5)} + j_{(6-8)}} - \text{з'єднання стиків послідовне};$$

### 3.5.4.2 Розрахунок податливості з'єднань стиків

Розрахунок контактних деформацій в стиках в залежить від видів з'єднання та здійснюється за формулами:

1) плоскі нерухомі стики ( $m=0,5$ )

$$C_{\Delta} = m \cdot c \cdot p^{m-1} = \frac{1}{2} \cdot c \cdot p^{0,50} = \frac{C_{\sigma}}{2 \cdot F^{0,50} \cdot p^{0,50}}$$

де  $C_{\sigma} = 1,90 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2 \text{ Н}^{-\frac{1}{2}}$  для пар  $\left\{ \begin{array}{l} \text{сталь - сталь} \\ \text{сталь - чавун} \end{array} \right\}$ ;

F- площа контакту в стику,  $\text{м}^2$ ;

2) підшипники (опори) кулькові

$$\delta_k = K_{ш} \cdot p^{\frac{2}{3}}; \quad C_{\Delta} = \frac{d\delta}{dp} = \frac{2}{3} \cdot \frac{K_{ш}}{p^{\frac{1}{3}}}$$

де  $K_{ш}$  - коефіцієнт, що враховує контактну податливість.

Для однорядних кулькових підшипників коефіцієнти податливості буде:

$$K_{ш} = 10^{-4} \cdot (0,70 - 0,020 \cdot d), \text{ мм} \cdot \text{Н}^{-\frac{2}{3}};$$

де d – діаметр підшипника, см.

Тоді

$$K_{ш} = 10^{-4} \cdot (0,70 - 0,020 \cdot 4) = 6,20 \cdot 10^{-5}, \text{ мм} \cdot \text{Н}^{-\frac{2}{3}}.$$

Відповідно до розрахованих режимів різання  $P_0=10850 \text{ Н}$ .

Розраховані податливості стиків будуть рівні:

					<b>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97

Плоскі нерухомі

$$1) C_3 = \frac{C_\sigma}{2p^{0,5} \cdot F^{0,5}} = \frac{1,90 \cdot 10^{-9} \cdot 10^6}{2 \cdot 7850,0^{0,5} \cdot 866,640^{0,5}} = 3,0980 \cdot 10^{-7} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

$$\text{де } F = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} = \frac{3,14(52,0^2 - 40,0^2)}{4} = 866,640 \text{мм}^2;$$

D – відповідно максимальний діаметр в стику, мм ;

d – відповідно мінімальний діаметр в стику, мм ;

Значить :

$$j_3 = \frac{1}{C_3} = 3,2280 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}.$$

$$2) C_1 = \frac{1,90 \cdot 10^{-9} \cdot 10^6}{2 \cdot 7850,0^{0,50} \cdot 552,640^{0,50}} = 3,8790 \cdot 10^{-7} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

$$F = \frac{3,14(48,0^2 - 40,0^2)}{4} = 552,640 \text{мм}^2.$$

$$\text{Звідси : } j_1 = \frac{1}{C_1} = 2,5507 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

$$3) C_4 = C_8 = \frac{1,9 \cdot 10^{-9} \cdot 10^6}{2 \cdot 7850,0^{0,50} \cdot 954,260^{0,50}} = 2,9520 \cdot 10^{-7} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}.$$

$$F = \frac{3,14(80,0^2 - 72,0^2)}{4} = 954,560 \text{мм}^2$$

$$\text{Тоді } j_4 = j_8 = \frac{1}{C_4} = 3,3880 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

$$4) C_6 = C_7 = \frac{1,90 \cdot 10^{-9} \cdot 10^6}{2 \cdot 7850,0^{0,50} \cdot 1500,1350^{0,50}} = 2,3550 \cdot 10^{-7} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

$$F = \frac{3,14(80,0^2 - 67,0^2)}{4} = 1500,1305 \text{мм}^2$$

$$\text{Тоді : } j_6 = j_7 = \frac{1}{C_6} = 4,2407 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}.$$

### Підшипники кулькові

$$1) C_2 = C_5 = \frac{2}{3} \cdot \frac{K_{ш}}{p^3} = \frac{2}{3} \cdot \frac{6,20 \cdot 10^5}{785,0^3} = 4,02025 \cdot 10^{-6} \frac{мм}{Н},$$

де  $P=7850,0$   $H=7850,0$   $H$  – осьове зусилля різання при свердлінні.

$$\text{Тоді } j_2 = j_5 = \frac{1}{C_5} = 2,4806 \cdot 10^5 \frac{Н}{мм}.$$

#### 3.5.4.3 Розрахунок статичної осьової жорсткості

Обчислені жорсткості стиків підставляємо у формули приведення розрахункової схеми і отримаємо статичну осьову жорсткість:

$$j_{2,4} = \frac{2,4860 \cdot 10,0^5 \cdot 3,3809 \cdot 10^6}{2,4860 \cdot 10,0^5 + 3,3890 \cdot 10^6} = 2,3160 \cdot 10^5 \frac{Н}{мм};$$

$$j_{3,5} = \frac{3,2880 \cdot 10^6 \cdot 2,4860 \cdot 10^5}{3,2880 \cdot 10^6 + 2,4860 \cdot 10^5} = 2,3080 \cdot 10^5 \frac{Н}{мм};$$

$$j_{6,7} = \frac{4,2470 \cdot 10^6 \cdot 4,2470 \cdot 10^6}{4,2470 \cdot 10,0^6 + 4,2470 \cdot 10^6} = 2,12350 \cdot 10^6 \frac{Н}{мм};$$

$$j_{(6-7),8} = \frac{2,1240 \cdot 10,0^6 \cdot 3,3880 \cdot 10,0^6}{2,1240 \cdot 10,0^6 + 3,3880 \cdot 10,0^6} = 1,3050 \cdot 10^6 \frac{Н}{мм};$$

$$j_{(6-7),8} = \frac{2,1240 \cdot 10,0^6 \cdot 3,3880 \cdot 10,0^6}{2,1240 \cdot 10,0^6 + 3,3880 \cdot 10,0^6} = 1,3050 \cdot 10^6 \frac{Н}{мм};$$

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		99

$$j_{(2,4),(3,5)} = 2,3160 \cdot 10^5 + 2,3080 \cdot 10^5 = 4,6240 \cdot 10^5 \frac{H}{мм};$$

$$j_{1,(2-5)} = \frac{2,5770 \cdot 10,0^6 \cdot 4,6204 \cdot 10^5}{2,5770 \cdot 10,0^6 + 4,6204 \cdot 10^5} = 3,92008 \cdot 10^5 \frac{H}{мм};$$

$$j_{1-8} = \frac{3,92008 \cdot 10^5 \cdot 1,3005 \cdot 10^6}{3,92008 \cdot 10^5 + 1,3005 \cdot 10^6} = 3,0105 \cdot 10^5 \frac{H}{мм};$$

Отже статична жорсткість буде рівна :

$$j_8 = 3,0105 \cdot 10^5 \frac{H}{мм}.$$

#### 3.5.4.4 Вибір класу точності шпиндельних підшипників

Відповідно з технічними вимогами до верстата, величина радіального биття у шпинделя для верстатів класу точності II має бути не більше  $[R_{r1}] = 0,0060 мм$  і  $[R_{r2}] = 0,010 мм$  відповідно, а осьове биття не більше  $[A_r] = 0,0060 мм$ .

В опорах шпинделя встановлено радіально-упорні здвоєні кулькові підшипники 246106, триплекс підшипників 460208.

Підшипники встановлюємо за другим класом точності, які мають радіальне биття доріжок внутрішнього кільця не більше  $R_i = 0,00250 мм$  і осьове биття доріжки не більше  $A_r = 0,00250 мм$ . Підшипники встановлюються в опорах по різних сторонах від осі шпинделя.

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		100

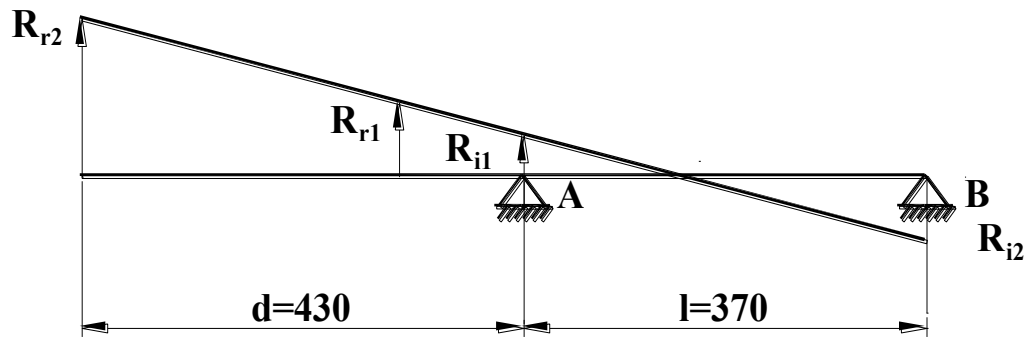


Рисунок 3.15 – Розрахункова схема

Радіальне биття торця шпинделя :

$$R_{r1} = 1,5 \left[ k \cdot R_{i1} \cdot \frac{b}{l} \cdot (k_1 \cdot R_{i1} + k_2 \cdot R_{i2}) \right] =$$

$$= 1,5 \left[ 0,580 \cdot 0,00250 + \frac{130}{370} \cdot (0,580 \cdot 0,00250 + 0,710 \cdot 0,00250) \right] = 0,004 \text{ мм}$$

де  $k_1 = \frac{1}{\sqrt{m_1}} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,580;$

$m_1$  – кількість підшипників в опорі позначеній  $A$ ;

$$k_2 = \frac{1}{\sqrt{m_2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,710;$$

$m_2$  – кількість підшипників в опорі позначеній  $B$ ;

$R_{i1} = R_{i2} = 0,00250 \text{ мм}$  - допустиме биття підшипників.

Радіальне биття шпинделя на відстані 300 мм від його торця :

					<b>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		101

$$R_{r2} = 1,5 \left[ k_1 \cdot R_{i1} + \frac{d}{l} \cdot (k_1 \cdot R_{i1} + k_2 \cdot R_{i2}) \right] =$$

$$= 1,50 \cdot \left[ 0,580 \cdot 0,00250 + \frac{430}{370} \cdot (0,580 \cdot 0,00250 + 0,710 \cdot 0,00250) \right] = 0,0881 \text{ мм}$$

Осьове биття :  $A_i = A_r \cdot k = 0,00250 \cdot 0,710 = 0,00181 \text{ мм}$ .

Для підшипників які відносяться 4-го класу точності :  $[R_i] = 0,0041 \text{ мм}$  ;  
 $[A_r] = 0,0041 \text{ мм}$ .

Підшипники встановлені в опорах по різні сторони від осі шпинделя :

$$R_{r1} = 1,50 \cdot \left[ 0,580 \cdot 0,0040 + \frac{130}{370} \cdot (0,580 \cdot 0,0040 + 0,710 \cdot 0,0040) \right] = 0,00671 \text{ мм} ;$$

$$R_{r2} = 1,50 \cdot \left[ 0,580 \cdot 0,0040 + \frac{430}{370} \cdot (0,580 \cdot 0,0040 + 0,710 \cdot 0,0040) \right] = 0,01401 \text{ мм} .$$

$$A_i = 0,0040 \cdot 0,710 = 0,00281 \text{ мм} .$$

Підшипники встановлені в опорах биттям по одну сторону від осі шпинделя.

Підшипники селективно підбирають та, щоб їх биття відрізнялося не більше ніж на 1 мкм. Биття в місцях контролю буде максимальне тоді, коли биття доріжки підшипників передньої опори  $[R_{i1}] = 0,0041 \text{ мм}$ , а задньої  $[R_{i2}] = 0,0030 \text{ мм}$ .

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		102

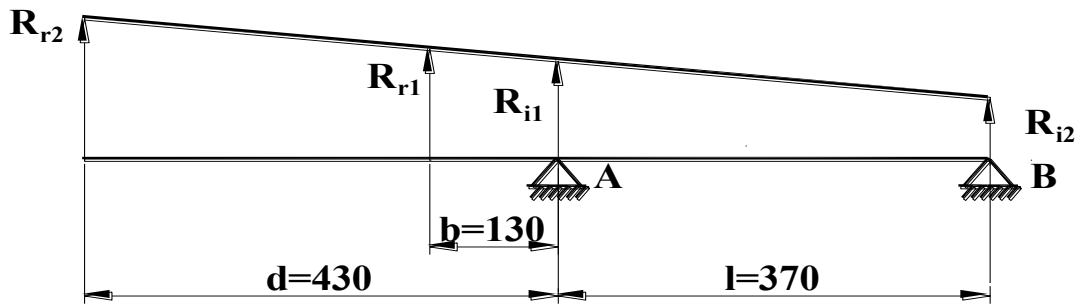


Рисунок 3.16 – Розрахункова схема

Радіальне биття біля торця шпинделя :

$$R_{r1} = 1,5 \left[ k_1 \cdot R_{i1} + \frac{b}{l} \cdot (k_1 \cdot R_{i1} - k_2 \cdot R_{i2}) \right] =$$

$$= 1,50 \cdot \left[ 0,580 \cdot 0,0040 + \frac{130}{370} \cdot (0,580 \cdot 0,0040 - 0,710 \cdot 0,0030) \right] = 0,00361 \text{ мм}$$

Радіальне биття 300 мм :

$$R_{r2} = 1,5 \left[ k_1 \cdot R_{i1} + \frac{d}{l} \cdot (k_1 \cdot R_{i1} - k_2 \cdot R_{i2}) \right] =$$

$$= 1,50 \cdot \left[ 0,580 \cdot 0,00250 + \frac{430}{370} \cdot (0,580 \cdot 0,0040 - 0,710 \cdot 0,0030) \right] = 0,00391 \text{ мм}$$

Осьове биття шпинделя становитиме:

$$A_i = A_r \cdot k_1 = 0,0040 \cdot 0,580 = 0,002321 \text{ мм.}$$

Для підшипників 5-го класу точності радіальне биття  $R_{i1} = 5 \text{ мкм}$  і  $R_{i2} = 4 \text{ мкм}$ . Осьове биття доріжки кочення не більше  $A_r = 8 \text{ мкм}$ .

					<b>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		103

Радіальне биття безпосередньо біля торця шпинделя :

$$\begin{aligned} R_{r1} &= 1,5 \left[ k_1 \cdot R_{i1} + \frac{b}{l} \cdot (k_1 \cdot R_{i1} - k_2 \cdot R_{i2}) \right] = \\ &= 1,50 \cdot \left[ 0,580 \cdot 0,0050 + \frac{130}{370} \cdot (0,580 \cdot 0,0050 - 0,710 \cdot 0,0040) \right] = 0,00441 \text{ мм} \end{aligned}$$

Радіальне биття:

$$\begin{aligned} R_{r2} &= 1,5 \left[ k_1 \cdot R_{i1} + \frac{d}{l} \cdot (k_1 \cdot R_{i1} - k_2 \cdot R_{i2}) \right] = \\ &= 1,50 \cdot \left[ 0,580 \cdot 0,0050 + \frac{430}{370} \cdot (0,580 \cdot 0,0050 - 0,710 \cdot 0,0040) \right] = 0,00405 \text{ мм} \end{aligned}$$

Осьове биття шпинделя :

$$A_i = A_r \cdot k_1 = 0,0080 \cdot 0,580 = 0,004641 \text{ мм}.$$

З огляду на це, технологія складання шпиндельного вузла допускає монтаж підшипникових опор другого класу точності з просторовою орієнтацією векторів биття у протилежних напрямках відносно центральної осі обертання. Натомість для підшипників п'ятого класу точності обов'язковою конструктивною вимогою є одностороння фіксація — їхні максимуми радіального биття мають бути спрямовані строго в один бік щодо осі шпинделя.

Підшипники 5-го класу точності :

$$R_{r1} = 0,00440 \text{ мм} < [R_{r1}] = 0,0060 \text{ мм};$$

$$R_{r2} = 0,00450 \text{ мм} < [R_{r2}] = 0,010 \text{ мм};$$

$$A_r = 0,004640 \text{ мм} < [A_r] = 0,0050 \text{ мм}.$$

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		104

### 3.5.4.5 Розрахунок оптимальної міжопорної відстані ШВ



Рисунок 3. 17- Розрахункова схема

#### Математична модель розрахунку

Точність шпинделя безпосередньо залежить від його базових конструктивних характеристик, тому їх грамотне обґрунтування гарантує максимальну просторову жорсткість. Під час проведення попередніх інженерних розрахунків застосовується класична розрахункова модель, де вал розглядається як балка на двох шарнірних опорах. Зосереджене навантаження  $F$  у такій схемі прикладається до консольної ділянки на віддалі  $c$  від геометричного центру передньої опори.

Радіальну деформацію переднього (робочого) кінця шпинделя може бути подана як :

$$y = y_{шп.} + y_{оп.} + y_{зм.}$$

де  $y_{шп.}$  - величина, що залежить згином тіла шпинделя ;

$y_{оп.}$  - деформація шпинделя, обумовлена податливістю опор;

$y_{зм.}$  - зміщення, викликане зсувом від дії поперечних сил.

Нехтуючи зсувними деформаціями  $y_{зм.}$ , не перевищуючими  $(0,03...0,06)y$ , використовуючи відомі залежності можна записати :



Виходячи з умови досягнення максимальної жорсткості шпиндельного вузла, рівняння загальної податливості ШВ, диференціюють прирівнюють до нуля. І як наслідок отримуємо рівняння третього порядку для розрахунку  $l_{opt}$  :

$$l - \left\{ \frac{6 \cdot E \cdot I_1 \cdot k_1}{e} l + \sigma \cdot E \cdot I_1 \cdot [k_1 \cdot (1 - \xi_3) + k_2] \right\} = 0$$

На базі запропонованої розрахункової моделі було сформовано алгоритмічну структуру комп'ютерної програми, що дозволяє знаходити оптимальні геометричні параметри (відстані) шпиндельного вузла. Початкові числові значення, необхідні для роботи алгоритму, зведені у таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Вихідні дані для розрахунку

Позначення величин	Одиниця	Числове значення
$D$	мм	37
$d_{opt}$	мм	0
$D_k$	мм	65
$E$	Н·мм <sup>2</sup>	2·Е5
$k_1$	мм/Н	1,753·10 <sup>-6</sup>
$k_2$	мм/Н	4,55·10 <sup>-6</sup>
$c$	мм	80
$\xi_3$	-	0,2

Визначення податливості підшипників:

$$k_1 = \frac{1,0}{n_1 \cdot j_1} = \frac{1,0}{3 \cdot 0,190 \cdot 10^6} = 1,7503 \cdot 10^{-6} \frac{\text{мм}}{\text{Н}};$$

$$k_2 = \frac{1,0}{n_2 \cdot j_2} = \frac{1}{2 \cdot 0,101 \cdot 10^6} = 4,5505 \cdot 10^{-6} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}.$$

де  $n$  – кількість підшипників;  
 $j$  – жорсткість підшипника.

Результати розрахунку

Розрахункова міжопорна відстань, мм : 196, 526073;

Міжопорна відстань (оптимальна), мм : 200,00.

Жорсткість ШВ : 0,20259E+05.

Приймаємо  $l_{opt} = 370$  мм.

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		108

## 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1 Характеристика виробничої дільниці з точки зору охорони праці та заходи по покращенню умов праці.

Безпечність виробничого процесу - це властивість виробничого процесу відповідати вимогам безпеки праці під час проведення його в умовах, установлених нормативною документацією. У відповідності з нормативами безпечність виробничих процесів забезпечується: правильним вибором технологічних процесів, робочих операцій та порядку обслуговування виробничого устаткування. Вибором виробничих приміщень чи зовнішніх майданчиків; вибором вихідних матеріалів, заготовок, напівфабрикатів вибором виробничого устаткування; розташуванням виробничого устаткування та організацією робочих місць; вибором способів зберігання та транспортування вихідних матеріалів, заготовок, напівфабрикатів, готової продукції та відходів виробництва розподілом функцій між людиною та устаткуванням з метою зменшення важкості праці; професійним відбором та навчанням працівників; застосуванням засобів захисту працівників; включенням вимог безпеки в нормативно технічну та технологічну документацію.

Виробничі процеси не повинні забруднювати навколишнє середовище викидами шкідливих та небезпечних речовин, а також спричинювати вибухи та пожежі. Якщо в процесі проведення технологічного процесу проявляються певні небезпеки, то це зазвичай, наслідки помилок, які були допущені ще на стадії його розробки та проектування. Тому при проектуванні, організації та проведенні технологічних процесів необхідно передбачати:

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Дрозд О.</i>			<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Крук В.</i>					109	12
<i>Перевір.</i>		<i>Кобельник В.</i>				<i>ТНТУ, гр. МВс-41 м. Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крупа В.</i>						

- усунення безпосереднього контакту працівників з вихідними матеріалами та відходами виробництва, які мають на них небезпечний та шкідливий вплив;
- заміну технологічних процесів та операцій, пов'язаних з виникненням небезпечних та шкідливих виробничих чинників, процесами та операціями, при виконанні яких ці чинники відсутні або мають меншу інтенсивність .
- застосування комплексної механізації, автоматизації: та комп'ютеризації виробництва;
- застосування дистанційного керування технологічними процесами та операціями при наявності небезпечних і шкідливих виробничих чинників.
- використання засобів колективного захисту працівників;
- раціональну організацію праці та відпочинку з метою профілактики, та зниження важкості праці;
- своєчасне отримання інформації про виникнення небезпечних та шкідливих виробничих чинників на окремих технологічних операціях;
- своєчасне видалення та знешкодження відходів виробництва, які є джерелами небезпечних і шкідливих виробничих чинників;
- забезпечення пожежо та вибухо безпеки.

У відповідності з нормами безпечність виробничого процесу забезпечується: правильним вибором технологічних процесів, робочих операцій та порядку обслуговування виробничого устаткування; вибрано виробниче приміщення; вибрано матеріали; організовано робочі місця; забезпечено вимоги безпеки в нормативно-технічній і технологічній документації. При організації технологічних процесів забезпечено:

- усунення безпосереднього контакту працівників з вихідними матеріалами;
- забезпечено автоматизацію виробничих процесів;

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		110

- застосовано засоби колективного захисту;
- забезпечено пожежо та вибухобезпеку.

Раціональне розташування основного та допоміжного устаткування, виробничих меблів, а також правильна організація робочих місць мають важливе значення для здорових та безпечних умов праці. Столи, шафи, стелажі та інші виробничі меблі поставлені впритул до конструктивних елементів будівлі. До складу дільниці також ще входять допоміжні приміщення: гардероб, умивальні, туалети, їдальня.

Вимоги техніки безпеки до виробничого обладнання дільниці:

- виробниче устаткування, пристрої та інструменти протягом усього періоду експлуатації повинні відповідати вимогам безпеки згідно норм;
- небезпечні місця на дільниці огорожуються;
- конструкція устаткування виключає можливість їх падіння, опускання, перекидання та довільного зміщення при усіх передбачених умовах експлуатації і монтажу;
- кабелі повинні бути захищені від випадкового їх пошкодження;
- пристрої для зупинки та пуску устаткування розміщені так, щоб ними було зручно користуватися з робочого місця;
- поверхні пристроїв і елементи виробничого устаткування, які служать елементами небезпеки для працюючих, пофарбовані згідно вимог;
- устаткування на дільниці в процесі експлуатації не забруднює виробниче середовище викидами шкідливих речовин у кількості більшій гранично допустимих значень, встановлених вимогами;
- устаткування, яке є джерелом шуму, ультразвуку, вібрації, повинно відповідати нормам;
- контрольно вимірювальні прилади, що утримуються у справному стані, необхідно періодично перевіряти;
- на несправне обладнання керівник дільниці вивішує таблицю, на якій вказано, що працювати на даному устаткуванні заборонено;

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		111

- устаткування гідравлічне і пневматичне повинно бути виконано так, щоб будь-яка небезпека, що викликана цими видами енергії була виключена;
- електричний інструмент підлягає періодичні перевірки не менше одного разу в 6 місяців згідно з вимог;
- у конструкціях ручного механізованого інструменту є пристрої для його підвішування.

Всі робочі місця на дільниці атестовані. Умови праці відносяться до категорії допустимих, тобто не шкодять здоров'ю.

Навчання з питань охорони праці на підприємстві здійснюється наступним чином: кожен працівник раз в три роки проходить навчання з техніки безпеки та ОП а саме, прослуховує лекції, консультації, семінарські і практичні заняття, здає іспит і отримує посвідчення про допуск до відповідних видів робіт.

В даному відділенні проводяться роботи середньої важкості – типу Пб.

Для цієї категорії робіт створені по можливості найбільш оптимальні умови:

- температура навколишнього середовища: в теплу пору - 18...20°C і 20...22 в холодну пору року;
- відносна вологість повітря: 40..60 % у теплу і холодну пори року;
- швидкість руху повітря: не більше 0,3 м/с в теплу пору року і не більше 0,2 м/с в холодну пору року;

На дільниці передбачена організована природна вентиляція. Крім того, на окремих робочих місцях організовано місцеву витяжну вентиляцію і спеціальну витяжку для видалення шкідливих речовин всередині дільниці. Необхідну температуру в холодну пору року забезпечує загальнозаводське парове опалення низького тиску.

Необхідна освітленість дільниці забезпечується використанням суміщеного освітлення, яке складається з природного бокового двостороннього і штучного комбінованого. В склад штучного комбінованого освітлення входить загальне локалізоване (люмінесцентні лампи з робочою напругою 220 В) і місцеве освітлення (лампи розжарювання з робочою

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		112

напругою 36 В). Освітленість дільниці складає: робоче – 300 лк, аварійне – 2 лк, евакуаційне – 0,5 лк, охоронне – 0,5 лк, чергове – 0,5 лк.

Джерелами шуму на дільниці є вентиляція і механічне обладнання і, в окремих випадках – додаткові засоби автоматизації. Захист від шуму здійснюється за рахунок надійного закріплення обладнання і його частин. Оскільки рівень шуму не перевищує 80 дБ, то індивідуальні засоби захисту працюючих від шуму не використовуються.

Основними джерелами вібрації на дільниці є вентиляція і електромеханічне обладнання. Джерела вібрацій ізолюються за рахунок встановлення їх на гумових або пружинних ізоляторах, внаслідок чого рівень вібрації не перевищує допустимих норм.

Сильні електромагнітні поля на дільниці відсутні. Тому засоби захисту від електромагнітного випромінювання не застосовуються.

Захист від враження електричним струмом здійснюється за рахунок під'єднання всього обладнання, що працює під напругою до захисного заземлення. Вертикальні заземлювачі розміщені по периметру будівлі.

Для запобігання виникненню пожеж на дільниці проводиться пожежна профілактика регламентована відповідно до норм. На підприємстві створені спеціальні місця для паління. Там встановлені урни для недопалків, вивішені вогнегасники. У таких місцях є оголошення "Місце для куріння". В найбільшпо-жежонебезпечних місцях вивішені оголошення "Не курити". Дільниця згідно норм належить до категорії Д за вибухо- та пожежною небезпекою; ступінь вогнестійкості ШБ. Для гасіння пожежі на дільниці розміщено два пожежні гідранти низького тиску, сполучені з загальнозаводським водогоном. Крім того у відділенні передбаченні індивідуальні засоби пожежегасіння: вогнегасники ВПП-10 – 2 шт. і ВП 5-02 – 2 шт. Також на території дільниці розміщено два пожежних стенди на яких розміщений пожежний інвентар (бочка з водою, вогнегасники - 3 шт., пожежні відра, ящик з піском) та пожежний інструмент (гаки - 3 шт., лопати – 2 шт., сокири – 2 шт., совкові лопати – 2 шт. )..

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		113

Для покращення стану ОП та умов роботи на дільниці пропоную:

- пофарбувати обладнання та інвентар наступним чином: зовнішні поверхні огорожі небезпечних місць в жовтий колір; частини машин, зіткнення з якими може призвести до травм – в червоний колір із білими смугами; поверхні кожухів – пунктирами із жовтого кольору;
- періодично проводити очищення систем вентиляції від виробничого пилу;
- проводити очищення світильників освітлення від бруду та запилення;
- періодично проводити перевірку опору заземлення обладнання;
- постійно здійснювати контроль за станом обладнання і його відповідністю до вимог охорони праці і пожежної безпеки.

#### 4.2. Розрахунок заземлення

Мета розрахунку заземлення – визначити кількість електродів заземлювача і заземлювальних провідників, їхніх розмірів і схеми розміщення в землі, при яких опір заземлюючого пристрою розтіканню струму або напруга дотику замиканні фази на заземлені частини електроустановок не перевищують допустимих значень. Площа дільниці 51 кв.м. Верстати (5 одиниць), які розміщені на дільниці: МР-71М, 16К20Ф3С32, ЗМ151Ф2, 2Н135, 5530А.

Вихідні дані:

1. Захищений об'єкт - обладнання дільниці, кількість верстатів – 5, виробнича площа 52 кв.м.
2. Захищений об'єкт - стаціонарний.
3. Напруга мережі - 380 В.
4. Виконання мережі - з глухо заземленою нейтраллю.
5. Тип заземлювального пристрою - вертикальний .
6. Розміри вертикальних заземлювачів: довжина  $l_{в} = 4,5$  м; діаметр

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		114

$d = 0,03\text{м}$ , кутник 40x40. Відношення відстані між трубами до їх довжини

$$\frac{L_b}{l_b} = 1.$$

7. Розміри горизонтального заземлювача (з'єднувальної стрічки):  $L_c=L_{з.с.}$   
– згідно з розрахунком, м; ширина стрічки  $b_c=0.04$ .

8. Глибина закладання вертикальних заземлювачів  $h_v=0,5$  м,  
горизонтальних  $h_г=0,5$ .

9. Ґрунт – супісок, склад однорідний, вологість мала.

10. Кліматична зона – II.

Визначаємо характеристику навколишнього середовища в механічному цеху: за пожежною небезпекою згідно з ПУЕ воно відноситься до класу II–II; за вибухонебезпекою згідно з ПУЕ - до класу В–I.

1. Визначаємо  $R_d$  - допустиме значення опору розтіканню струму в заземлювальному пристрої  $R_d \leq 4$  Ом.

2. Визначаємо  $\rho_{табл}$  – приблизне значення питомого опору ґрунту, що рекомендується приймаємо  $\rho_{табл} = 300$  Ом·м, [9, 11].

3. Визначаємо  $K_{с.в.}$  - коефіцієнт сезонності для вертикальних заземлювачів, для даної кліматичної зони II. приймаємо  $K_{с.в.} = 1,5$  [9, 11].

4. Визначаємо значення  $K_{с.г.}$  – коефіцієнт сезонності для горизонтального заземлювача згідно з кліматичною зоною II, приймаємо  $K_{с.г.} = 3,5$ , [9, 11].

5. Визначаємо  $\rho_{розр.в}$  – розрахунковий питомий опір ґрунту для вертикальних заземлювачів

$$\rho_{розр.в} = \rho_{табл} \cdot K_{с.в.}; \quad (4.1)$$

де  $\rho_{табл}$  – приблизне значення питомого опору,

$K_{с.в.}$  – коефіцієнт сезонності для вертикальних заземлювачів.

					<b>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		115

$$\rho_{розр.в.} = 300 \cdot 1,5 = 450 \text{ Ом.}$$

6. Визначаємо  $\rho_{розр.г.}$  – розрахунковий питомий опір ґрунту для горизонтальних заземлювачів.

$$\rho_{розр.г.} = \rho_{розр.в.} \cdot K_{с.г.}; \quad (4.2)$$

де  $\rho_{розр.г.}$  – приблизне значення питомого опору;  $K_{с.г.}$  – коефіцієнт сезонності для горизонтального заземлювача;

$$\rho_{розр.г.} = 300 \cdot 3,5 = 1050 \text{ Ом.}$$

7. Визначаємо  $t$

$$t = h_b + \frac{l_b}{2} = 0,5 + \frac{4,5}{2} = 2,75$$

8. Визначаємо  $R_{в}$  – опір розтікання струму в одному вертикальному заземлювачі.

$$R_{в} = \frac{\rho_{розр.в.}}{2\pi \cdot l_B} \left( \ln \frac{2,1l_b}{b} + \frac{1}{2} \ln \frac{4,2t + l_b}{4,2t - l_b} \right); \quad (4.3)$$

$$R_{в} = \frac{450}{3,14 \cdot 4,5} \left( \ln \frac{2,1 \cdot 4,5}{0,04} + \frac{1}{2} \ln \frac{4,2 \cdot 2,75 + 4,5}{4,2 \cdot 2,75 - 4,5} \right) = 18,31 \text{ Ом.}$$

9. Визначаємо  $n_{т.в.}$  теоретичну кількість вертикальних заземлювачів без врахування коефіцієнта використання, тобто  $\eta_{в.в.} = 1$

$$n_{т.в.} = \frac{R_{в}}{R_0 \cdot \eta_{в.в.}}; \quad (4.4)$$

де  $R_{в}$  – опір розтікання струму в вертикальних заземлювачах;

					<b>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		116

$R_{\partial}$  – допустиме значення опору розтікання струму в заземлювальному пристрої.

$$n_{т.в.} = \frac{18,31}{4 \cdot 1} \approx 4 \text{ шт.}$$

10. Визначаємо  $n_{в.в.}$  – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів при розташуванні їх по контуру при числі заземлювачів  $n_{т.в.}=4$  шт. та при відношенні  $\frac{L_b}{l_b} = 1$ .

За [9, 11] приймаємо  $\eta_{в.в.} = 0,41$ .

11. Визначаємо  $n_{н.в.}$  – необхідна кількість штук вертикальних однакових заземлювачів з врахуванням коефіцієнта використання

$$n_{н.в.} = \frac{R_{\partial}}{R_{в.в.} \cdot \eta_{в.в.}} \quad (4.5)$$

$$n_{н.в.} = \frac{18,6}{4 \cdot 0,41} \approx 5 \text{ шт.}$$

12. Визначаємо  $R_{розр.в.}$  – розрахунковий опір розтікання струму у вертикальних заземлювачах при  $n_{н.в.} = 5$  шт без врахування з'єднувальної стрічки

$$R_{розр.в.} = \frac{R_{в.в.}}{n_{н.в.} \cdot \eta_{в.в.}}; \quad (4.6)$$

де  $n_{н.в.}$  – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів;

$R_{в.в.}$  – опір розтікання струму в вертикальних заземлювачах;

$$R_{розр.в.} = \frac{186}{114 \cdot 0,41} = 3,97 \text{ Ом.}$$

					<b>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		117

13. Визначаємо  $L_{\text{в}}$  – відстань між вертикальними заземлювачами за відношенням  $L_{\text{в}}/l_{\text{в}} = 1$ , звідси :

$$L_{\text{в}} = 1 \cdot l_{\text{в}}; \quad (4.7)$$

де  $l_{\text{в}}$  – довжина вертикального електрода;

$$L_{\text{в}} = 1 \cdot 1,5 = 1,5 \text{ м.}$$

14. Визначаємо  $L_{\text{з.с.}}$  – довжина з'єднувальної стрічки горизонтального заземлення.

$$L_{\text{з.с.}} = 1,05 \cdot L_{\text{в}} \cdot n_{\text{н.в.}} \quad (4.8)$$

де  $n_{\text{н.в.}}$  – необхідна кількість штук вертикальних заземлювачів;  $L_{\text{в}}$  – відстань між вертикальними заземлювачами;

$$L_{\text{з.с.}} = 1,05 \cdot 1,5 \cdot 5 = 7,87 \text{ м.}$$

15. Визначаємо  $R_{\text{з.з.с.}}$  – опір розтікання струму в горизонтальному заземлювачі (з'єднувальній стрічці).

$$R_{\text{з.з.с.}} = \frac{\rho_{\text{розр.}}}{2\pi \cdot L_{\text{з.с.}}} \ln \frac{L_{\text{з.с.}}^2}{d \cdot t}; \quad (4.9)$$

$$R_{\text{з.з.с.}} = \frac{1050}{2 \cdot 3,14 \cdot 538} \ln \frac{61,9}{0,03 \cdot 2,75} = 4,19 \text{ Ом}$$

16. Визначаємо  $\eta_{\text{в.з.}}$  – коефіцієнт використання горизонтальних заземлювачів при розташуванні вертикальних заземлювачів згідно з вихідними значеннями або за чотирикутним контуром при відношенні  $L_{\text{в}}/l_{\text{в}} = 1$  та необхідної кількості вертикальних заземлювачів  $n_{\text{н.в.}} = 5$  шт приймаємо  $\eta_{\text{в.з.}} = 0,19$  [9, 11]. При паралельно включених горизонтальних заземлювачах  $\eta_{\text{в.з.}}$  визначають [9, 11].

17. Визначаємо  $R_{\text{розр.з.}}$  – розрахунковий опір розтікання струму в горизонтальних заземлювачах (з'єднуючій стрічці) при числі електродів що дорівнює 1.

					<b>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		118

$$R_{розр.г.} = \frac{R_{г.з.с.}}{n_г \cdot \eta_{в.г.}} ; \quad (4.10)$$

де  $R_{г.з.с.}$  – опір розтікання струму в горизонтальному заземлювачі;

$\eta_{в.г.}$  – коефіцієнт використання горизонтальних заземлювачів;

$$R_{розр.г.} = \frac{4,19}{1 \cdot 0,19} = 22 \text{ Ом}$$

18. Визначаємо  $R_{розр.в.г.}$  – розрахунковий теоретичний опір розтікання струму у вертикальних та горизонтальних заземлювачах

$$R_{розр.в.г.} = \frac{R_{розр.в.} \cdot R_{розр.г.}}{R_{розр.в.} + R_{розр.г.}} ; \quad (4.11)$$

де  $R_{розр.в.}$  – розрахунковий опір розтікання струму у вертикальних заземлювачах;

$$R_{розр.в.г.} = \frac{3,97 \cdot 22}{3,97 + 22} \approx 3,96 \text{ Ом}$$

19. Вибираємо матеріал та поперечний перетин з'єднувальних провідників За [9, 11] вибираємо голі мідні  $S_m=4 \text{ мм}^2$  або алюмінієві провідники  $S_a=6 \text{ мм}^2$

20. Вибираємо матеріал та поперечний перетин магістральної шини За [9, 11] приймаємо сталеву шину товщиною  $\delta_c=4 \text{ мм}$  і перетином не менше  $\sigma = 100 \text{ мм}^2$ .

21. Наводиться схема з'єднання обладнання з магістральною шиною та з'єднання магістральної шини з заземлювальним пристроєм (з'єднувальною стрічкою).

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		119

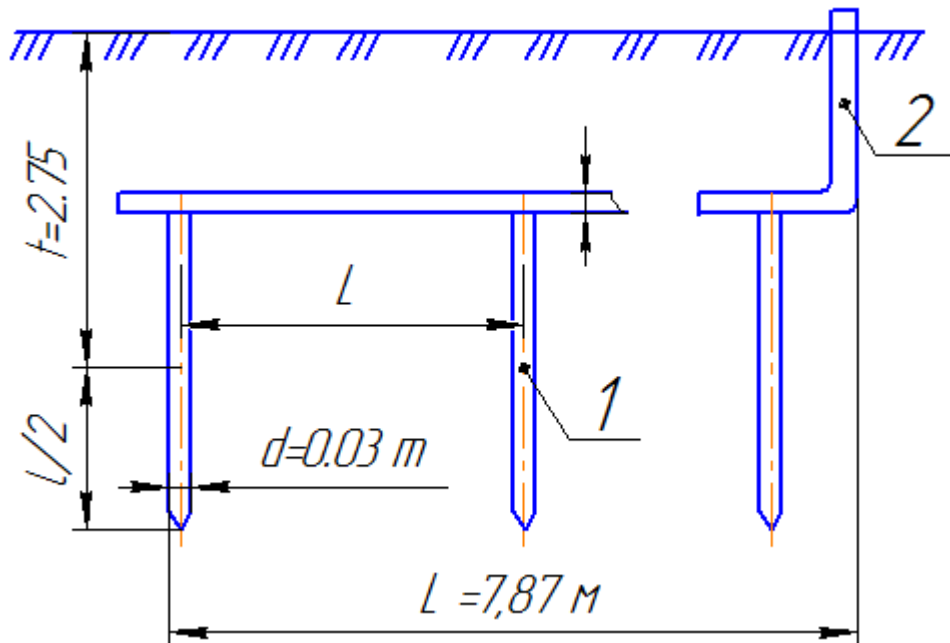


Рисунок 4.1 Схема з'єднання обладнання з магістральною шиною та з'єднання магістральної шини з заземлювальним пристроєм

#### Висновок до розділу.

У розділі охорона праці подано вимоги щодо дотримання вимог охорони праці, виробничої безпеки та пожежної безпеки. Описано влаштування ділянки з точки зору охорони праці, освітлення, вентиляції, мікроклімату робочої зони, температури повітря. Вказано вимоги до виробничого обладнання.

Здійснено розрахунок заземлення для виробничої ділянки. Спроектвано схему з'єднання обладнання з магістральною шиною та з'єднання магістральної шини з заземлювальним пристроєм.

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		120

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано комплексне проектування технологічного процесу виготовлення деталі «Вал редуктора двоступінчатого», а також проведено розрахунок та конструювання основних вузлів і приводів вертикально-свердлильного верстата. За результатами виконання роботи можна сформулювати такі науково-технічні висновки:

1. На основі аналізу службового призначення об'єкта виробництва та його технічних умов розроблено раціональну технологічну схему складання вузла. Визначений тип виробництва та величина партії деталей дозволили зорієнтувати технологічний процес на використання сучасного високопродуктивного обладнання. Проведено техніко-економічне обґрунтування вибору заготовки, при якому за критерієм коефіцієнта використання матеріалу обрано найбільш прогресивний метод її одержання, що забезпечує значне зниження матеріаломісткості та обсягів подальшої механічної обробки.

2. Розроблено оптимальний маршрутний та операційний технологічний процес механічної обробки вала редуктора. Розраховано міжопераційні припуски, проміжні розміри, режими різання та технічні норми часу для всіх технологічних переходів. Здійснено обґрунтований вибір сучасного обладнання, різального, допоміжного та контрольно-вимірювального інструменту. Запропоновано конструкцію верстатного пристосування, для якого визначено раціональну схему базування, розраховано похибку базування та необхідну силу затиску деталі, що повністю гарантує безпеку роботи й досягнення заданої точності обробки поверхонь.

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Дрозд О.</i>			<i>Загальні висновки</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Крук В.</i>					121	1
<i>Перевір.</i>		<i>Кобельник В.</i>				<i>ТНТУ, гр. МВс-41 м. Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крупа В.</i>						

3. У конструкторській частині проведено детальний аналіз формоутворення поверхонь та визначено комплекс виконавчих рухів верстата. Виконано кінематичний розрахунок приводів головного руху та подач, здійснено вибір і перевірку електродвигунів з урахуванням втрат потужності в переходах. Спроектовано коробку швидкостей верстата, розраховано конструктивні параметри зубчастих коліс та приводних валів. Розробка та розрахунок шпиндельного вузла верстата, зокрема перевірка його статичної осьової жорсткості, підтвердили відповідність конструкції жорстким експлуатаційним вимогам щодо точності та вібростійкості під час різання.

4. Обґрунтовано заходи з безпеки життєдіяльності та охорони праці на проєктованій виробничій ділянці. Запропоновано рішення щодо покращення умов праці та зниження впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Виконаний розрахунок основного показника з техніки безпеки підтвердив надійність та відповідність спроектованого процесу чинним нормативним стандартам.

Запропоновані у кваліфікаційній роботі технологічні та конструкторські рішення мають практичну цінність, є взаємопов'язаними, технічно й економічно обґрунтованими.

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		122

## 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. 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>.
3. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок.: Львів: Світ, 1996. 368 с.
4. Бочков В. М., Сілін Р. І., Гаврильченко О. В. Металорізальні верстати : навч. посіб.: Львів Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2009. 268 с.
5. Бочков В.М., Сілін Р.І., Гаврильченко О.В. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів: підручник. Львів: Бескд Бі, 2008. 448 с.
6. 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.
7. Голінько В. І. Охорона праці : підручник. Київ : Алерта, 2014. 264 с.

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Дрозд О.			<i>Перелік посилань</i>	Лім.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Крук В.					122	6
Перевір.		Кобельник В.				<i>ТНТУ, гр. МВс-41 м. Тернопіль</i>		
Н. Контр.		Кобельник В.						
Затверд.		Крупа В.						

8. 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.
9. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці: навчальний посібник.: Львів: Афіша, 2000. 350 с.
10. Залога В. О. Розрахунок режимів різання при точінні, свердлінні, фрезеруванні : навчальний посібник. Київ : ІСІ, 1994. 176 с.
11. Запорожець О. І., Протосрейський О. С., Франчук Г. М., Боровик І. М. Основи охорони праці : підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2009. 264 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 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		123

*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 :*

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		124

*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 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		125

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. Равська Н. С. та ін. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці: навчальний посібник.: Житомир: ЖІТІ, 2000. 332 с.
39. 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.
40. 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.
41. 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.
42. Крупа В., Кобельник В., Гагалюк А. Обґрунтування параметрів спеціального трикулачкового патрона для затиску тонкостінних циліндричних заготовок. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National*

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		126

University. 2023. № 4. С. 128–137. URL: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.4.16>.

43. 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>

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

45. 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.

46. Стискін Г.М. Технологічні основи програмування обробки деталей на верстатах з числовим програмним керуванням. Львів: Видавництво “Оріяна Нова”, 2002. 208 с.

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

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		127

# ДОДАТКИ

					<i>КРБ 23-352/356.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		128