

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня
бакалавра

(назва освітнього ступеня)

на тему: Верстатне та інструментальне забезпечення обробки деталі
«Вал - КС6В 055.4432495»

Виконав: студент 4 курсу групи МВ-41
спеціальності _____

133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Якубів В.П.
(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Лещук Р.Я.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Кобельник В.Р.
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Крупа В.В.
(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Довбуш Т.А.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Завдання на кваліфікаційну роботу.....	2
ВСТУП.....	5
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	6
1.1 Огляд верстатів-аналогів.....	6
1.2 Огляд модернізованого верстата 1604.....	9
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	13
2.1 Призначення і характеристика заданого виробу.	13
2.2 Аналіз конструкції заданого виробу на технологічність.....	15
2.3 Обґрунтування програми випуску і типу виробництва.....	18
2.4 Проектування маршрутного технологічного процесу.....	19
2.5 Розрахунок припусків і міжопераційних розмірів.....	21
2.6 Розрахунок режимів різання.....	30
2.7 Техніко-економічне обґрунтування технологічного процесу.....	35
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	39
3.1 Кінематичний розрахунок головного приводу з двигуном постійного току.....	39
3.2 Вибір електромагнітних муфт.....	54
3.3 Розрахунок тягового пристрою.....	54
3.4 Вибір і розрахунок шарико-гвинтової передачі.....	58
3.5. Розрахунок затискного пристосування.....	70
3.6. Розрахунок і проектування контрольного пристосування.....	71
3.7. Конструювання та розрахунок спеціального різального інструменту.....	72
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	79
ВИСНОВКИ.....	84
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	85
ДОДАТКИ.....	87

					<i>КРБ 20-045.00.00.000</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Якудів				Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Лещук						
Консульт.					ЗМІСТ ТНТУ, зр. МВ-41		
Н. Контр.	Кобельник						
Зав.каф.	Крупа						

ВСТУП

В даний час токарні верстати знаходять застосування в багатьох галузях промисловості. При проектуванні верстатів токарної групи найбільш актуальними питаннями є підвищення продуктивності, універсальності і точності таких верстатів.

У переважній більшості випадків верстати використовуються як для чорнової обробки, так і для чистової. Це обумовлено умовами роботи верстатів, високою вартістю і нераціональністю змісту окремих верстатів для чорнової і для чистової обробки. Ці умови сприяють посиленню вимог до точності, продуктивності та універсальності обладнання.

Основні завдання, що стоять перед верстатобудуванням - значне підвищення продуктивності праці і рівня автоматизації в машинобудуванні, задоволення безперервно зростаючих вимог до точності обробки, підвищення надійності верстатів.

До числа тенденцій розвитку верстатів з ЧПК відносять: концентрацію операцій при одному встановленні, автоматичну зміну інструментів, скорочення числа розточувальних інструментів за рахунок введення поперечного переміщення супортів і перетворення верстатів в контурні, перехід на системи управління на інтегральних елементах, розширення можливостей корекції програми на радіус і довжину інструменту, на швидкість і подачу без переробки програми, застосування центральної системи управління для групи верстатів.

					<i>КРБ 20-045.00.00.000</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Якудів</i>			<i>ВСТУП</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Лещук</i>						
<i>Консульт.</i>								
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник</i>						
<i>Зав.каф.</i>		<i>Крупа</i>						
						<i>ТНТУ, зр. МВ-41</i>		

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Огляд верстатів-аналогів

Аналізуючи ринок продаж верстатів, аналогічних верстату мод.1604, можна зробити висновок, що основним виробником верстатів даного напрямку є Китай. Наведемо деякі варіанти верстатів і їх характеристики.

Токарний верстат моделі КАТ250М

Особливостями даного верстата є регулювання необхідної швидкості обертання шпинделя, нарізування різьблення, установка необхідної подачі виконується ручками перемикавання на передній бабці, змінні шестірні відсутні. Верстат має автоматичну поперечну подачу. Швидкозатискне кріплення задньої бабки. Подвійна напів-гайка зачеплення поздовжнього гвинта. Клинове регулювання люфтів.

Загальний вигляд верстата представлений на рис. 1.1. Технічні характеристики верстата наведено в табл.1.1.



Рисунок 1.1 – Загальний вид верстата мод. КАТ250М

					КРБ 20-045.00.00.000		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Якудів				Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Лещук						
Консульт.					ТНТУ, гр. МВ-41		
Н. Контр.	Кобельник						
Зав.каф.	Крупа						
АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ							

Технічні характеристики верстата наведено в табл.1.2.

Таблиця 1.2– Технічні характеристики верстата мод. BV-20BL

Параметр	Величина
Відстань між центрами, мм	520
Діаметр обробки над станиною, мм	200
Діаметр обробки над супортом, мм	122
Розмір конусного отвору шпинделя, Морзе	№.3
Розмір конусного отвору задньої бабки, Морзе	№.2
Діаметр патрона, мм	100
Діаметр наскрізного отвору шпинделя, мм	20
Крок нарізання метричної різьби, мм	0,25 - 3,0 (через 0,5)
Подача, мм / об	0,04/0,08/0,12/0,16/0,20
Поздовжнє переміщення супорта різцетримача, мм	115
Поперечне переміщення супорта різцетримача, мм	70
Межа чисел оборотів шпинделя, об / хв	170-1950
Потужність електродвигуна, кВт	0,55
Габаритні розміри, мм	1120x610x380
Вага, кг	130

Токарний верстат моделі КАТ180х300В

Особливостями даного верстата є регулювання необхідної швидкості обертання шпинделя безступінчасте за рахунок використання приводу зі змішаним регулюванням - механічної коробки і двигуна постійного струму. Нарізування різьблення, установка необхідної подачі виконується ручками перемикачів на передній бабці, змінні шестірні відсутні. Верстат має автоматичну поперечну подачу. Швидкозатискне кріплення задньої бабки. Подвійна напів-гайка зачеплення поздовжнього гвинта. Клинове регулювання люфтів. Загальний вигляд верстата представлений на рис. 1.3. Технічні характеристики верстата наведено в табл.1.3.

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

план-шайбі і в центрах. Як правило, верстат використовується в рухомих і ремонтних майстернях для отримання невеликих деталей.

Загальний вигляд верстата представлений на рис. 1.4.

Технічні характеристики верстата наведемо в табл. 1.4.



Рисунок 1.4. - Загальний вид верстата мод.1604.

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики верстата мод.1604

Параметр	Величина
Споживана потужність	1 кВт
Діаметр обточування	
- над станиною:	200 мм
- над супортом:	110 мм
Довжина обточування:	350 мм
Поперечна подача:	115 мм
Межа чисел оборотів шпинделя, об / хв	3000-375/375-47
Хід пінолі:	70 мм
Максимальна подача:	
- поперечного супорта:	65 мм
- поздовжнього супорта:	300 мм
Межа величини подачі:	14-190 мм/хв
Вага:	565 кг

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Змащування коробки швидкостей

Змащування коробки швидкостей здійснюється циркуляційно, тобто в верстаті є масло станція, що включає в себе масло насос, бак для масла і системи підведення масла безпосередньо в зачепленні зубчастих коліс. Масло частково розбризкується, частково йде на дно, де є зливний отвір. У цьому отворі встановлений фільтр для очищення масла, а також може бути використаний магніт, який буде зупиняти продукти абразивного зносу (в процесі зносу зубчастих коліс). Далі масло надходить назад в бак і процес повторюється.

Підшипники змащуються «суспензією», шляхом розбризування масла зубами коліс. Як мастильний матеріал застосовують індустріальне масло «И20». Якщо недостатньо змащуються підшипники кочення чи немає доступу маслу, то закладають консистентне мастило (солідол, літол).

Система управління верстатом

За технологічною ознакою (по виду робочих рухів) системи автоматичного управління можуть бути позиційні або контурними. Перші припускають переривчастий рух інструменту або заготовки від точки до точки (при цьому траєкторія руху не має значення). Різновидом позиційних систем є системи з декількома незалежними координатами переміщеннями.

Вибір типу системи управління залежить від типу верстата, ступеня його універсальності, типу виробництва, де він буде використовуватися, необхідного ступеня автоматизації та інших факторів.

Технічні засоби, що використовуються для практичного втілення системи управління, вибираються з урахуванням частоти перемикання, необхідної точності, ступеня автоматизації та інших факторів (наприклад наявність в верстаті гідроприводу).

Перемикання швидкостей і подач за допомогою електромагнітних муфт дозволяє підвищити автоматизацію верстата, наприклад, за рахунок переключення від упорів, при повороті револьверної головки і т.д.

Для верстатів токарної групи характеристика системи ЧПУ -

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контурна. Ця система забезпечує управління переміщенням робочих органів по траєкторії і з контурною швидкістю, заданими програмою управління. Контурною швидкістю є результуюча швидкість подачі робочого органу верстата, напрямком якої збігається з напрямком дотичної, в кожній точці заданого контуру обробки.

Контурна система ЧПК на відміну від позиційних, забезпечує безперервне управління переміщеннями інструменту по черзі або відразу за декількома координатами. В результаті цього може забезпечуватися обробка дуже складних деталей.

За наявності зворотного зв'язку, систему управління верстатом приймаємо замкненою зі зворотним зв'язком по положенню робочих органів. Застосування кулько-гвинтової пари (ШВП) в приводах подач і створенні в них попереднього натягу, для усунення зазорів і збільшення жорсткості, дозволяє широко застосовувати замкнену систему цього типу. У свою чергу система цього типу, при якій проводиться непряма зміна положення робочих органів за допомогою кругового датчика зворотного зв'язку (ДЗЗ), встановленого на ходовому гвинті. Схема дуже проста і зручна з точки зору ДЗЗ. Габаритні розміри застосовуваного датчика не залежать від величини вимірюваного переміщення.

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Призначення і характеристика виробу

Габаритні розміри деталі «Вал - КС6В 055.4432495» \varnothing 183,31 × 631, сталь 40Х ГОСТ 4543-71, маса деталі 62.13 кг.

Як деталі для розробки технології виготовлення прийнятий вал-шестерня. Вал-шестерня є деталлю редуктора, він призначений для передачі крутного моменту від шестерні до колеса за допомогою косозубого зачеплення. За класифікацією вал-шестерня відноситься до ступінчастим валів, двостороннім, з центровими отворами, середніх розмірів, середньої точності, високої жорсткості $L / D 631 / 183.3 = 3.4$.

Розглянемо всі оброблювані поверхні вала з метою встановлення точності розмірів, якості оброблюваних поверхонь.

Ступінь $\varnothing 100k6$ мм, довжиною 95 мм, виготовляється з 6 квалітету, шорсткість поверхні $Ra = 0,8$ мкм. Щодо бази А радіальне биття 0,015 мм, відхилення від прямолінійності 0,01 мм, відхилення від округлості 0,01 На ній розташовані шпонкові пази, висота паза 10 мм. ширина 28P9 мм, $Ra = 3,2$ мкм.

Ступінь $\varnothing 110k6$ мм, довжиною 120 мм, виготовляється з 6 квалітету, шорсткість поверхні $Ra = 0,8$ мкм. Щодо бази А радіальне биття 0,02 мм. На ній розташовані шпонкові пази, висота паза $11 + 0.2$, ширина 32P9 мм, шорсткість $Ra = 3,2$ мкм.

Ступінь $\varnothing 183,31$ мм розташований косозубий вінець, виконаний з кутом нахилу зубів $\beta = 17^\circ$, число зубів $z = 20$, модуль $m = 8$, ступінь точності по ГОСТ 1643 - 81 5 - В. Ширина зубчастого вінця 105 мм, шорсткість - $Ra = 1,6$ мкм, радіальне биття щодо бази А - 0,01 мм.

					<i>КРБ 20-045.00.00.000</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Якудів</i>			<i>ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Лещук</i>						
<i>Консульт.</i>								
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник</i>						
<i>Зав.каф.</i>		<i>Крупа</i>						
						<i>ТНТУ, зр. МВ-41</i>		

Маса деталі 62.13кг

Вал виготовляється з легованої сталі 40Х ГОСТ 4543, хімічний склад і механічні властивості приведені в таблицях 2.1 і 2.2.

Таблиця 2.1 - Хімічний склад сталі 40Х ГОСТ 4543-71.

Матеріал	Вуглець, С,%	Кремній, 31,%	Марганець Мп,%	Сера, 5,%	Фосфор, Р,%	Хром, Сг,%
Сталь40	0,36-0,44	0,17-0,37	0,5-0,8	0,035	0,04	0,8-1,1

Таблиця 2.2 - Механічні властивості сталі 40Х ГОСТ 4543-71.

НВ	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	ψ , %
207... 250	1000	800	10	45

2.2 Аналіз конструкції деталі на технологічність

Основні завдання, які вирішуються при аналізі технологічності виробу, зводяться до можливого підвищення продуктивності праці при механічній обробці, до зниження витрат і скорочення часу на технологічну підготовку виробництва при забезпеченні необхідної якості виробу.

1. Даний вал-шестерня є жорстким, тому що $\frac{l}{d} = 631 / 183.3 = 3.4 < 5$, а це є однією з умов технологічності.

2. Деталь складається зі стандартних і уніфікованих конструктивних елементів: діаметральних і лінійних розмірів, зубчастого вінця. Це сприяє використанню стандартних ріжучих і вимірювальних інструментів. Однак мають місце і більш складні у виготовленні поверхні: косозуба шестерня, що вимагає спеціального ріжучого інструменту, але так само стандартизованого. Двосторонній шпонковий паз дещо ускладнює обробку і вимагає застосування спеціалізованого інструменту.

3. Деталь має точність і шорсткість, які можна отримати стандартним уніфікованим інструментом при стандартному технологічному процесі.

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Матеріал заготовки відповідає вимогам технології виготовлення: при виготовленні немає необхідності застосовувати складні технологічні процеси виготовлення деталі; для зберігання матеріалу немає необхідності створювати певні умови зберігання і транспортування. Шорсткість базових поверхонь задовольняє вимогам точності установки деталі, її обробки і контролю. Деталь симетрична відносно своєї вісі.

6. На деталі є канавки для вільного виходу ріжучого інструменту і фаски, причому всі ці елементи є уніфікованими, що сприяє підвищенню технологічності конструкції деталі.

7. Всі оброблювані поверхні мають вільний підведення і відведення різального інструменту, за винятком паза, який є закритим. Для його обробки можна використовувати тільки кінцеву фрезу.

8. Всі шорсткості, позначені на кресленні, відповідають даним квалітетам точності, а це також є однією з умов технологічності.

10. Точність деталі - середня, точними поверхнями є $\varnothing 100k6$ мм, $Ra = 0,8$ мкм, $28P9$ мм, $\varnothing 110k6$ мм, $Ra = 0,8$ мкм; $32P9$ мм; $\varnothing 110js5$ мм, $Ra = 0,8$ мкм; а також бічні і внутрішні поверхні зубів. Для досягнення високого класу точності і низькою шорсткості необхідно задіяти шліфування. Досягнення необхідної точності розмірів, а також необхідної шорсткості і допустимих просторових відхилень і геометричних похибок не викликають труднощів при обробці деталі на стандартному обладнанні.

Визначимо значення відносних показників технологічності, які повинні прийматися в межах $0 < K < 1,0$.

1. Рівень технологічності по точності обробки

$$K_{y.T\check{c}} = \frac{K_{\check{c}.T\check{c}}}{K_{T\check{c}}}$$

де $K_{\check{c}.T\check{c}}$, $K_{T\check{c}}$ - відповідно базовий і досягнутий коефіцієнти обробки

Коефіцієнт точності обробки

$$K_{T\check{c}} = 1 - \frac{1}{T_{cp}} = 1 - \frac{\sum n_i}{\sum T n_i}$$

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $T_{\text{ср}}$ - середній квалітет точності обробки виробу;

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum T n_i}{\sum n_i}$$

n_i - число розмірів відповідного квалітету точності;

T - квалітет точності обробки.

$$T_{\text{ср}} = \frac{14 * 2 + 11 * 1 + 9 * 2 + 6 * 2 + 5 * 1}{8} = \frac{74}{8} = 9,3$$

Тоді $K_{T_3} = 1 - \frac{1}{9,3} = 0,89$

Коефіцієнт точності обробки деталі $k_{m.o.} = 0,91 > 1$, відповідно, деталь є технологічною.

2. Рівень технологічності конструкції по шорсткості поверхні

$$K_{y,ш} = \frac{K_{б,ш}}{K_{ш}}$$

$K_{б,ш} K_{ш}$ - відповідно базовий та досягнутий коефіцієнт шорсткості поверхні

Коефіцієнт шорсткості поверхні:

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{\overline{\text{Ш}}_{\text{ср}}} = 1 - \frac{\sum n_{iш}}{\sum \overline{\text{Ш}} n_{iш}}$$

де $\overline{\text{Ш}}_{\text{ср}}$ – середня шорсткість поверхні виробу

$$\overline{\text{Ш}}_{\text{ср}} = \frac{\sum \overline{\text{Ш}} n_{iш}}{\sum n_{iш}}$$

$\overline{\text{Ш}}$ - шорсткість поверхні;

$n_{iш}$ - число поверхонь відповідної шорсткості.

$$\overline{\text{Ш}}_{\text{ср}} = \frac{6,3 * 6 + 3,2 * 8 + 1,6 * 4 + 0,8 * 4}{22} = 3,32$$

Тоді

$$K_{y,ш} = 0, \frac{698}{1} = 0,698 < 1$$

Рівень технологічності деталі по трудомісткості і технологічної собівартості остаточно визначається після розробки техпроцесу і отримання необхідних для розрахунку даних з урахуванням зниження трудомісткості виготовлення і собівартості деталі, обумовленого тільки зміною конструкції

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

деталі та заготовки, матеріалу і методу отримання.

2.3 Обґрунтування програми випуску і типу виробництва

Річну програму випуску визначають на підставі заданого програмного завдання по формулі:

$$N_r = N_n \times m (1 + a / 100) (1 + b / 100),$$

Де: N_n -програмне завдання випуску виробів на рік;

m - кількість деталей, що йдуть на один виріб;

a - відсоток деталей, що йдуть на запчастини; $a = 0 \dots 10\%$

Приймаємо $a = 3\%$;

b - відсоток технічно неминучих виробничих втрат;

Приймаємо $b = 4\%$.

$$N_r = 5000 \times 1 (1 + 3/100) (1 + 4/100) = 5356 \text{ шт.}$$

Приймаємо $N_r = 5400$ шт.

Тип виробництва на початковому етапі проектування, коли невідомо число обладнання і робочих місць збільшено визначають залежно від програми випуску і маси деталі.

Таблиця 2.3 - Вибір типу виробництва

Тип виробництва	Річна програма випуску $N_B, шт$		
	важкі, $m > 100 \text{ кг}$	середні, $m = 10 \dots 100 \text{ кг}$	легкі, $m < 10 \text{ кг}$
Одиничне	до 5	до 10	до 100
Дрібносерійне	5...100	10...200	100...500
Серійне	100...300	200...500	500...5000
Крупносерійне	300...1000	500...5000	5000...50000
Масове	>1000	>5000	>50000

За таблицею даній річній програмі випуску і масі деталі відповідає масове виробництво.

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Проектування маршрутного технологічного процесу

Розробка технологічного процесу є одним з найважливіших етапів підготовки виробництва, так як від неї в значній мірі залежить якість продукції, трудомісткість виробництва і собівартість кінцевої продукції.

Технологічний процес розділимо на етапи - чорнову і чистову обробку. В процесі чорнової обробки знімається основна величина припуску. Чистова обробка призначена для забезпечення заданої точності і якості оброблюваних поверхонь. Операції технологічного процесу виконуються в наступній послідовності:

Складемо маршрут обробки заданого виробу, дамо загальний план обробки деталі, визначимо зміст операцій технологічного процесу і призначимо тип обладнання.

У таблиці 2.4 показаний базовий і розроблений маршрутний технологічний процес.

Таблиця 2.4 - Маршрутний технологічний процес

№	Базовий маршрут	Обладн	№	Розроблений маршрут	Обладн
005	Розмічувальна		005	Фрезерно-центрувальна	MP71M
010	Відрізна		010	Токарна с ЧПК	16K20Ф3
015	Горизонтально-Розточувальна		015	Токарна с ЧПК	16K20Ф3
020	Токарна	16K20	020	Термообробка	
025	Маркування		025	Токарна с ЧПК	16K20Ф3
030	Термообробка		030	Токарна с ЧПК	16K20Ф3
035	Токарна		035	Кругло-шліфувальна	3M151
040	Токарна		040	Зубо -фрезерна	5K324A

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

045	Токарна		045	Термообробка	
050	Маркування		050	Горизонтально-розточувальна	2637Г
055	Кругло-Шліфувальна		055	Кругло-шліфувальна	3М151
060	Зубо-Фрезерна		060	Зубо-шліфувальна	5А841
065	Слюсарна		065	Маркування	
070	Контроль		070	Контроль ОТК	
075	Термообробка		075	Консервація	
080	Токарна				
085	Кругло-Шліфувальна				
090	Зубо -Шліфувальні				
095	Зубо -Шліфувальні				
100	Розмітка				
105	Горизонтально-Розточна				
110	Слюсарна				
115	Термообробка				
120	Центро -Шліфувальна				
125	Кругло-Шліфувальна				
130	Зубо-Шліфувальна				
135	Зубо-Шліфувальна				

140	Маркування				
145	Контроль				
150	Консервація				

При розробці нового техпроцесу були поєднані деякі токарні операції. Токарська обробка в проєктованому техпроцесі ведеться не на універсальних токарно-гвинторізних верстатах, а на токарних верстатах з ЧПК.

Це пов'язано перш за все з тим, що збільшений обсяг виробництва даної деталі, а також підвищені вимоги до точності виготовлення деталі. У базовому маршрутному процесі при диференціюванні операцій знижувалася точність виготовлення через перевстановлення заготовки.

Заміна технологічного оснащення: для верстатів з ЧПК спостерігається тенденція до автоматизації деяких видів оснастки. Так, наприклад, ручні затискні пристрої замінені механізованими з пневмоприводом і гідроприводом.

Для токарних операцій застосовуються спеціальні різці для верстатів ЧПК з твердосплавними пластинами T5K10 - чорнова обробка; T15K6 - чистове обробка по ГОСТ 20872-80.

2.5. Визначення припусків, операційних розмірів і розмірів вихідної заготовки

При проєктуванні технологічного процесу механічної обробки допустимо встановити оптимальну величину шару металу, який забезпечує задану точність і якість поверхні. Під припуском розуміється шар металу, що видаляється з поверхні заготовки з метою досягнення заданих властивостей і точності обробленої поверхні.

Знання припусків і допусків на розміри встановлює проміжні і операційні розміри, тому правильний вибір припуску грає велику роль при

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 20-045.00.00.000					

розробці технологічного процесу. Збільшення розміру припуску веде до збільшення витрати матеріалу, введення додаткових технологічних переходів - все це збільшує трудомісткість і підвищує собівартість деталі. Зменшення припуску не дає можливості видалити дефектний шар металу, досягти заданої точності, шорсткості.

Розрахунок припусків на 2 операції розрахунково-аналітичним методом

Таблиця 2.5 - Розрахунок припусків ступені $110_{js5(\pm 0.0075)}_{mm}$ $L=45mm$

Технологічний маршрут	Елементи припуску, мм				Розрахунковий припуск, мм			Розміри, допуски та граничні відхилення на деталі, на операціях і на заготовці			
	R_z	h	Δ	ε	z_{min}	z_{max}	z_i	D_i	T_i	es_i	ei_i
00 заготовка	0,2	0,25	1,66	146,7	---	---	---	115,946	2,2	0,6	-1,6
05 Точіння попереднє	0,05	0,05	0,1	3,6	1,67	4,22	3,87	112,074	0,35	0	-0,74
10 Точіння остаточнє	0,025	0,025	0,056	4,1	0,356	0,926	1,096	110,98	0,22	0	-0,22
15 Шліфування попереднє	0,01	0,02	0,00112	1,6	0,217	0,491	0,928	110,051	0,054	0,027	-0,027
20 Шліфування остаточнє	0,0025	0,005	0	6,3	0,017	0,086	0,051	110,015	0,015	0,0075	-0,0075

1) Питоме відхилення визначається за формулою:

$$\varepsilon_{TO} = \frac{T_i}{T_j}$$

$$\varepsilon_{TO} = \frac{T_3}{T_0} = \frac{2,2}{0,015} = 146,7 \text{ мм}$$

					КРБ 20-045.00.00.000					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

$$\varepsilon_4 = \frac{T_3}{T_0} = \frac{0,054}{0,015} = 3,6 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_3 = \frac{T_2}{T_3} = \frac{0,22}{0,054} = 4,1 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{T_1}{T_2} = \frac{0,35}{0,22} = 1,6 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_1 = \frac{T_3}{T_1} = \frac{2,2}{0,35} = 6,3 \text{ мм}$$

2) Просторові відхилення:

$$\Delta_{00} = \sqrt{\Delta_{кор}^2 + \Delta_{см}^2} = \sqrt{0,8834^2 + 1,4^2} = 1,66 \text{ мм}$$

$$\Delta_{кор} = \Delta_k \cdot L = 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 631 = 883,4 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$$

де: Δ_k - кривизна;

$\Delta_{см}$ - відхилення від співвісності;

$$\Delta_{05} = K_y \cdot \Delta_{00} = 0,06 \cdot 1,66 = 0,1 \text{ мм}$$

K_y - коефіцієнт уточнення;

$$\Delta_{10} = (\Delta_{чист}^2 + \Delta_{терм}^2)^{0,5} = (0,004^2 + 0,056^2)^{0,5} = 0,056 \text{ мм}$$

$$\Delta_{терм} = \frac{0,001 \cdot n_k \cdot L}{0,1 \cdot d + 0,3} = \frac{0,001 \cdot 1 \cdot 631}{0,1 \cdot 110 + 0,3} = 0,056 \text{ мм}$$

$$\Delta_{чист} = \Delta_{05} \cdot K_y = 0,1 \cdot 0,04 = 0,004 \text{ мм}$$

$$\Delta_{15} = K_y \cdot \Delta_{10} = 0,02 \cdot 0,056 = 0,00112 \text{ мм}$$

$$\Delta_{20} = K_y \cdot \Delta_{15} = 0,02 \cdot 0,00112 = 0,0000224 \approx 0 \text{ мм}$$

3) Похибка установки:

$$\varepsilon_{05} = (\varepsilon_{рад}^2 + \varepsilon_{ос}^2)^{0,5} = (0,3^2 + 0,2^2)^{0,5} = 0,36 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{10} = 0,25 \cdot T_D = 0,25 \cdot 0,35 = 0,0875 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{15} = 0,25 \cdot 0,22 = 0,055 \text{ мм},$$

$$\varepsilon_{20} = 0$$

4) Мінімальні проміжні припуски визначаються за формулою

$$2 \cdot z_{\min} = 2 \cdot [(R_z + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma_{i-1}}^2 + \varepsilon_i^2}]$$

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$2 \cdot z_{20 \min} = 2 \cdot [(0.0025 + 0.005) + 0.00112] = 0.01724 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z_{15 \min} = 2 \cdot [0.01 + 0.02 + \sqrt{0.056^2 + 0.055^2}] = 0.217 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z_{10 \min} = 2 \cdot [(0.025 + 0.025) + \sqrt{0.1^2 + 0.0875^2}] = 0.356 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z_{05 \min} = 2 \cdot [(0.05 + 0.05) + \sqrt{1.66^2 + 0.169^2}] = 1.67 \text{ мм}$$

5) Максимальні проміжні припуски

$$2 \cdot z_{\max} = 2 \cdot z_{\min} + ITD_{i-1} + ITD_i$$

$$2 \cdot z_{20 \max} = 0.01724 + 0.054 + 0.015 = 0.8624 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z_{15 \max} = 0.217 + 0.22 + 0.054 = 0.491 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z_{10 \max} = 0.356 + 0.35 + 0.022 = 0.926 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z_{05 \max} = 1.67 + 2.2 + 0.35 = 4.22 \text{ мм}$$

6) Номінальні міжопераційні припуски

$$2 \cdot z_i = 2 \cdot z_{i \min} + es_i + ei_{i-1}$$

$$2 \cdot z_{20} = 2 \cdot z_{15 \setminus 20 \min} + es_{20} + ei_{15} = 0.01724 + 0.0075 - 0.027 = 0.5174 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z_{15} = 2 \cdot z_{15 \min} + es_{15} + ei_{10} = 0.217 + 0.027 + 0.22 = 0.928 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z_{10} = 2 \cdot z_{10 \min} + es_{10} + ei_5 = 0.356 + 0 + 0.74 = 1.096 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z_{05} = 2 \cdot z_{05 \min} + es_{05} + ei_{00} = 1.67 + 0 + 2.2 = 3.87 \text{ мм}$$

7) Операційні розміри:

$$D_{20} = D_{\partial} = 110 \pm 0.0075 \text{ мм}$$

$$D_{15} = D_{\partial} + 2 \cdot z_{20} = 110 + 0.05174 = 110.05174 \text{ мм}$$

$$D_{10} = D_{15} + 2 \cdot z_{15} = 110.05174 + 0.928 = 110.98 \text{ мм}$$

$$D_{05} = D_{10} + 2 \cdot z_{10} = 110.98 + 1.096 = 112.076 \text{ мм}$$

$$D_{00} = D_{05} + 2 \cdot z_{05} = 112.076 + 3.87 = 115.946 \text{ мм}$$

$$D_z = 115.946 \begin{matrix} +3.5 \\ -1.7 \end{matrix} \text{ мм}$$

Таблиця 2.6 – Розрахунок припусків ступені 110 k6 $\begin{matrix} +0.025 \\ +0.003 \end{matrix}$ мм ; L=45мм

Технологічний маршрут	Елементи припуска, мм				Розрахунковий припуск, мм			Розміри, допуски і граничні відхилення на деталі, на операціях і заготовці			
	R_z	h	Δ	ϵ	z_{\min}	z_{\max}	z_i	D_i	T_i	es_i	ei_i
00 заготовка	0,2	0,25	1,66	100	∥	∥	∥	115,9733	2,2	0,6	-1,6

					КРБ 20-045.00.00.000					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

05 Точіння попереднє	0,05	0,05	0,1	3,6	1,67	4,22	3,87	112,1033	0,35	0	-0,74
10 Точіння остаточне	0,025	0,025	0,056	0,1	0,356	0,926	1,096	111,0072	0,22	0	-0,22
15 Шліфування попереднє	0,01	0,02	0,00112	1,6	0,217	0,491	0,928	110,0792	0,054	0,027	-0,027
20 Шліфування остаточне	0,0025	0,005	0	6,3	0,02724	0,10324	0,07924	109,973	0,022	0,0025	-0,003

8) Питоме відхилення визначається за формулою:

$$\varepsilon_{\text{то}} = \frac{T_i}{T_j};$$

$$\varepsilon_4 = \frac{T_3}{T_0} = \frac{0,054}{0,022} = 2,455 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_3 = \frac{T_2}{T_3} = \frac{0,22}{0,054} = 4,1 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_2 = \frac{T_1}{T_2} = \frac{0,35}{0,22} = 1,6 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_1 = \frac{T_3}{T_1} = \frac{2,2}{0,35} = 6,3 \text{ мм}.$$

9) Просторові відхилення:

$$\Delta_{00} = \sqrt{\Delta_{\text{кор}}^2 + \Delta_{\text{см}}^2} = \sqrt{0,8834^2 + 1,4^2} = 1,66 \text{ мм};$$

$$\Delta_{\text{кор}} = \Delta_{\kappa} \cdot L = 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 631 = 883,4 \cdot 10^{-3} \text{ мм}.$$

де: Δ_{κ} - кривизна;

$\Delta_{\text{см}}$ - відхилення від співвісності;

Δ_{κ} - кривизна.

$$\Delta_{05} = K_y \cdot \Delta_{00} = 0,06 \cdot 1,66 = 0,1 \text{ мм}$$

K_y - коефіцієнт уточнення.

$$\Delta_{10} = (\Delta_{\text{чист}}^2 + \Delta_{\text{терм}}^2)^{0,5} = (0,004^2 + 0,056^2)^{0,5} = 0,056 \text{ мм}$$

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta_{\text{мерм}} = \frac{0,001 \cdot n_k \cdot L}{0,1 \cdot d + 0,3} = \frac{0,001 \cdot 1 \cdot 631}{0,1 \cdot 110 + 0,3} = 0,056 \text{ мм}$$

$$\Delta_{\text{чист}} = \Delta_{05} \cdot K_y = 0,1 \cdot 0,04 = 0,004 \text{ мм}$$

$$\Delta_{15} = K_y \cdot \Delta_{10} = 0,02 \cdot 0,056 = 0,00112 \text{ мм}$$

$$\Delta_{20} = K_y \cdot \Delta_{15} = 0,02 \cdot 0,0028 = 0,0000224 \approx 0 \text{ мм}$$

10) Похибка установки

$$\varepsilon_{05} = (\varepsilon_{\text{рад}}^2 + \varepsilon_{\text{ос}}^2)^{0,5} = (0,3^2 + 0,2^2)^{0,5} = 0,169 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{10} = 0,25 \cdot T_D = 0,25 \cdot 0,35 = 0,0875 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{15} = 0,25 \cdot 0,22 = 0,055 \text{ мм},$$

$\varepsilon_{20} = 0$, тому що попереднє і чистове шліфування виконується з одного установу

11) Мінімальні проміжні припуски визначаються за формулою

$$2 \cdot z_{\text{min}} = 2 \cdot [(R_z + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma_{i-1}}^2 + \varepsilon_i^2}]$$

$$2 \cdot z_{20 \text{ min}} = 2 \cdot [(0,0025 + 0,005) + 0,00112] = 0,02724 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z_{15 \text{ min}} = 2 \cdot [(0,01 + 0,02 + \sqrt{0,056^2 + 0,055^2})] = 0,217 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z_{10 \text{ min}} = 2 \cdot [(0,025 + 0,025) + \sqrt{0,1^2 + 0,0875^2}] = 0,356 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z_{05 \text{ min}} = 2 \cdot [(0,05 + 0,05) + \sqrt{1,66^2 + 0,169^2}] = 1,67 \text{ мм}$$

12) Максимальні проміжні припуски

$$2 \cdot z_{\text{max}} = 2 \cdot z_{\text{min}} + ITD_{i-1} + ITD_i$$

$$2 \cdot z_{20 \text{ max}} = 0,02724 + 0,025 + 0,027 = 0,10324 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z_{15 \text{ max}} = 0,217 + 0,22 + 0,054 = 0,491 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z_{10 \text{ max}} = 0,356 + 0,35 + 0,22 = 0,926 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z_{05 \text{ max}} = 1,67 + 2,2 + 0,35 = 4,22 \text{ мм}$$

13) Номінальні міжопераційні припуски

$$2 \cdot z_i = 2 \cdot z_{i \text{ min}} + es_i + ei_{i-1}$$

$$2 \cdot z_{20} = 2 \cdot z_{20 \text{ min}} + es_{20} + ei_{15} = 0,01724 + 0,0075 - 0,027 = 0,07924 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z_{15} = 2 \cdot z_{15 \text{ min}} + es_{15} + ei_{10} = 0,217 + 0,027 + 0,22 = 0,928 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z_{10} = 2 \cdot z_{10 \text{ min}} + es_{10} + ei_5 = 0,356 + 0 + 0,74 = 1,106 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z_{05} = 2 \cdot z_{05 \text{ min}} + es_{05} + ei_{00} = 1,67 + 0 + 2,2 = 3,87 \text{ мм}$$

14) Операційні розміри:

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$D_{20} = D_{\phi} = 110 \pm 0,0075 \text{ мм}$$

$$D_{15} = D_{\phi} + 2 \cdot z_{20} = 110 + 0.05174 = 110.05174 \text{ мм}$$

$$D_{10} = D_{15} + 2 \cdot z_{15} = 110.05174 + 0.928 = 111.00724 \text{ мм}$$

$$D_{05} = D_{10} + 2 \cdot z_{10} = 110.98 + 1.096 = 112.1033 \text{ мм}$$

$$D_{00} = D_{05} + 2 \cdot z_{05} = 112.076 + 3.87 = 115.9733 \text{ мм}$$

$$D_{\phi} = 115,973 \begin{matrix} +3,5 \\ -1,7 \end{matrix} \text{ мм}$$

Розрахунок припусків дослідно-статистичним методом

Для визначення припусків на інші поверхні використовуємо дослідно-статистичний метод, який завдяки простоті і наглядності, можливості нормувати припуски на складні поверхні, отримав в машинобудуванні найбільш широке застосування. Результати розрахунків припусків занесемо в таблицю 2.7.

Таблиця 2.7 - Визначення припусків на $\varnothing 100k6$, L = 100 мм.

Найменування операції та вид	Квалітет точності	Шорсткість мкм	Операційний розмір D,мм		Операційний допуск δ ,мм	Припуск Z_i min,мм	
			Розрахунковий	Прийнятий		нормативний	скорегований
20 Шліфування остаточне	6	0,08	100	100	0,022	0,05	0,046
15 Шліфування попереднє	8	1,6	100,1	100.1	0,054	0,2	0,2
10 Точіння остаточне	10	Rz=40	100,44	100.4	0,14	0,6	0,65
05	12	Rz=60	101,39	101.4	0,35	2,0	2,7

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Точіння попереднє							
Заготовка	14	Rz=80	104,26	105	0,87	-	-

Проставляємо допуски на всі технічні операції:

$$\delta_{20} = 0.022 \text{ мм};$$

$$\delta_{15} = 0.054 \text{ мм};$$

$$\delta_{10} = 0.14 \text{ мм};$$

$$\delta_{05} = 0,35 \text{ мм};$$

$$\delta_{\text{заг}} = 0,87 \text{ мм}.$$

Визначаємо міні припуски на кожну операцію:

$$z_{20}^{\text{min}} = 0,05 \text{ мм};$$

$$z_{15}^{\text{min}} = 0,2 \text{ мм};$$

$$z_{10}^{\text{min}} = 0,6 \text{ мм};$$

$$z_{05}^{\text{min}} = 2,0 \text{ мм}.$$

Визначаємо розрахунковий розмір кожної операції за формулами:

$$A_i^{\text{расч}} = A_{i+1}^{\text{расч}} + \delta_i + z_{i+1}^{\text{расч}} ;$$

$$A_{15}^{\text{расч}} = A_{20}^{\text{расч}} + \delta_{15} + z_{20}^{\text{расч}} = 110 + 0.054 + 0.05 = 110.1 \text{ (мм)}$$

$$A_{10}^{\text{расч}} = A_{15}^{\text{расч}} + \delta_{10} + z_{15}^{\text{расч}} = 110.1 + 0.14 + 0.2 = 110.44 \text{ (мм)}$$

$$A_{05}^{\text{расч}} = A_{10}^{\text{расч}} + \delta_{05} + z_{10}^{\text{расч}} = 110.44 + 0.035 + 0.6 = 111.39 \text{ (мм)}$$

$$A_{\text{заг}}^{\text{расч}} = A_{0,5}^{\text{расч}} + \delta_{\text{заг}} + z_{10}^{\text{расч}} = 111.39 + 0.87 + 2.0 = 114.26 \text{ (мм)}.$$

Визначаємо скореговані припуски на кожну операцію за формулою:

$$z_i^{\text{прим}} = A_{i-1}^{\text{прим}} - A_i^{\text{прим}} - \delta_{i-1}$$

$$z_{20}^{\text{прим}} = A_{15}^{\text{прим}} - A_{20}^{\text{прим}} - \delta_{15} = 110,1 - 110 - 0,054 = 0,046 \text{ (мм)}$$

$$z_{15}^{\text{прим}} = A_{10}^{\text{прим}} - A_{15}^{\text{прим}} - \delta_{10} = 110,4 - 110,1 - 0,14 = 0,2 \text{ (мм)}$$

$$z_{10}^{\text{прим}} = A_{05}^{\text{прим}} - A_{10}^{\text{прим}} - \delta_{05} = 101,4 - 110,4 - 0,35 = -0,65 \text{ (мм)}$$

$$z_{05}^{\text{прим}} = A_{\text{заг}}^{\text{прим}} - A_{05}^{\text{прим}} - \delta_{\text{заг}} = 105 - 101,4 - 0,87 = 2,7 \text{ (мм)}.$$

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 20-045.00.00.000				

Таблиця 2.8 - Визначення припусків на $\varnothing 130_{-0,5}$, L = 200 мм.

Найменування операції та вид	Квалітет точності	Шорсткість мкм	Операційний розмір D,мм		Операційний допуск δ ,мм	Припуск $Z_{i \min}$, мм	
			Розрахунковий	Прийнятий		нормативний	скорегований
20 Шліфування остаточне	5	0,08	130	130	0.015	0,05	0,046
15 Шліфування попереднє	7	1,6	130,09	130,1	0,035	0,2	0,2
10 Точіння остаточне	9	Rz=40	130,37	130,4	0,087	0,6	0,68
05 Точіння попереднє	11	Rz=60	131,19	131,3	0,22	2,0	2,8
Заготовка	14	Rz=80	134,06	135	0,87	-	-

Таблиця 2.9 – визначення припусків на $\varnothing 183.31h11$, L = 105 мм.

Найменування операції та вид	Квалітет точності	Шорсткість мкм	Операційний розмір D,мм		Операційний допуск δ ,мм	Припуск $Z_{i \min}$,мм	
			Розрахунковий	Прийнятий		Нормативний	скорегований
20 Шліфування остаточне	6	0,08	183,31	183,31	0,029	0,05	0,046
15 Шліфування попереднє	8	1,6	183,43	183,4	0,072	0,2	0,2
10 Точіння остаточне	10	Rz=40	183,82	183,8	0,185	0,6	0,65
05 Точіння попереднє	12	Rz=60	184,87	184,9	0,46	2,0	2,7
Заготовка	14	Rz=80	188,027	190	1,15	-	-

Арк.

КРБ 20-045.00.00.000

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

2.6 Розрахунок режимів різання

Токарна чорнова обробка $\varnothing 100k6$

Матеріал деталі 40X, металорізальний інструмент - різець з пластинами з твердою сплавом перерізом ВхН 40x25, L - 130 мм, марка матеріалу T15K6, мінімальний припуск на чорнове точіння $z_{\min}^{\text{черн}} = 3500$ мкм=3,5мм. Допуск на заготовку $\delta_s = 7.2$ мм.

1. Визначимо глибину різання:

$$t = \frac{z_{\min}^{\text{черн}}}{2} + \frac{\delta_s}{2} = \frac{3,5}{2} + \frac{7,2}{2} = 5,35 \text{ мм}$$

Подача при чорновому точінні приймається максимально допустимою по потужності обладнання, міцності ріжучої пластини і міцності державки або глибині різання

$t = 5, 35$, перетин різця 25x40 і діаметр деталі ($d = 135$ мм, $S = 1$ мм/об).

2. Визначимо швидкість різання за формулою:

$$V = \frac{C_v}{T_m \cdot t^x \cdot S^y} K_v = \frac{340 \cdot 0.76}{60^{0.2} \cdot 5.35^{0.15} \cdot 1^{0.45}} = 100.9 \text{ м / мин}$$

де C_v , m , x_v , y_v - показники ступеня, залежать від виду обробки, виду матеріалу деталі і ріжучої частини різця, подачі інструменту.

При $S = 1$ мм/об, при зовнішньому поздовжньому точінні прохідним різцем, матеріалу деталі Сталь 40X і різальної частини різця T15K6:

$C_v = 340$; $m = 0,2$; $x_v = 0,15$; $y_v = 0,45$.

K_v - поправочний коефіцієнт;

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} = 0.95 \cdot 0.8 \cdot 1.0 = 0.76$$

Частота обертання:

$$n = \frac{1000 V}{\pi d} = \frac{1000 \cdot 93.9}{3.14 \cdot 110} = 221.52 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо по паспорту верстата:

$$n = 220 \text{ хв}^{-1}$$

Дійсна швидкість різання:

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V = \frac{\pi dn}{1000} = \frac{3.14 * 110 * 220}{1000} = 93,9 \text{ м / хв.}$$

Сила різання:

$$P = 10C_p * t^x * S^y * V^m * K_p;$$

$$C_p = 300; X=1; y=0,75; m= -0,15.$$

$$P_z = 10 * 300 * 5 * 35 * 1^{0,75} * 93,9^{-0,15} = 5931 \text{ (Н)}.$$

Потужність:

$$N = \frac{P_z * V}{1020 * 60} = \frac{5931 * 93,9}{1020 * 60} = 9,099 \text{ кВт} .$$

Основний час:

$$T_o = \frac{L * i}{nS} = \frac{135 * 2}{220 * 1} = 1,25 \text{ хв} .$$

де L –довжина обробки;

де L = 135 - довжина оброблюваної поверхні, яка враховує врізання і перебіг різального інструменту;

i = 2- число проходів

Визначимо норму штучного часу Тшт для токарної чорнової операції виконуваної на верстаті 16К20Ф3. Виробництво масове. Розрахунок ведемо за формулою:

$$\begin{aligned} T_{шт} &= T_o + T_{ус} + T_{зо} + T_{уп} + T_{из} + T_{тех} + T_{орг} + T_{от} = \\ &= 1,25 + 5,3 + 0,27 + 0,01 + 0,7 + 0,1 + 0,3 + 0,6 = 8,52 \text{ хв;} \end{aligned}$$

де T_о – основний час;

T_{ус} = 5,3 час на установку і зняття деталі;

T_{зо} = 0,27 час на закріплення і відкріплення деталі;

T_{уп} = 0,01 час на прийом керування;

T_{из} = 0,7 час на вимірювання деталі;

T_{тех} = 0,1 технічний час на обслуговування робочого місця;

T_{отд} = 4% T_{оп} - (1,25 + 5,3 + 0,27) *4% = 0,3 хв;

T_{орг} = 8% T_{оп} - 0,6.

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок режимів різання на операцію шліфування 183,31h11

Вибираємо верстат 3М151. Розміри шліфувального круга 500x40x203,
n = 1590 потужність головного приводу 10 кВт.

Вибираємо шліфувальний круг ПП500x40x203 22А40 - ПСМ1К6
35м/с.

Абразивний матеріал - електрокорунд білий 22А.

Зернистість круга 40П.

Твердість – середньом'який СМ-1.

Зв'язка - керамічна К6.

Форма - пряма ПП.

Глибина різання при круглому шліфуванні визначається величиною поперечної передачі (Sp) мм/хв. Приймаємо Sp = 0,5 мм / хв. Визначаємо подовжню подачу за формулою:

$$S_{\text{прод}} = (0,2 \dots 0,4)V = 0,3 \cdot 40 = 12 \text{ мм/об}$$

де Sпрод – величина подовжньої подачі, мм/об;

V – товщина круга, мм.

1. Визначимо швидкість різання:

$$V_{\text{кр}} \frac{\pi d n}{1000 \cdot 60} = \frac{3,14 \cdot 183,31 \cdot 1590}{1000 \cdot 60} = 15,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Приймаємо $V_{\text{кр}} = 30 \text{ м/с}$

2. Визначимо частоту обертання заготовки (об/хв) :

$$n_z = \frac{1000 V_z}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 55}{3,14 \cdot 183,31} = 95 :$$

$$St = 0,5/95 = 0,005 \text{ мм /дв.ход};$$

де V_z – швидкість обертання заготовки, $V_z = 55 \text{ м/хв.}$

3. Визначимо потужність:

$$N = C_N \cdot v^r \cdot t^x \cdot S^y \cdot d^q = 1,3 \cdot 30^{0,75} \cdot 0,005^{0,85} \cdot 12^{0,7} \cdot 183,31^0 = 1,05 \text{ кВт}$$

де C_N, x, y, q, r – коефіцієнти і показники ступеня;

d – діаметр шліфування.

$$C_N = 1,3; r = 0,74; x = 0,85; y = 0,7; q=0;$$

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Перевіримо процес різання на достатність потужності привода:

$$N_{CT} = N_{ДВ} \cdot \eta = 10 \cdot 0,85 = 8,5 \text{ кВт}$$

де $N_{ДВ}$ – потужність двигуна верстата

η – КПД

5. Визначимо основний час (хв) :

$$T_0 = \frac{L \cdot h}{n_3 \cdot S \cdot t} K = \frac{110 \cdot 0,151}{95 \cdot 12 \cdot 0,05} \cdot 1,4 = 3,3$$

де L – довжина ходу, мм.

h – припуск на сторону, мм.

K – коефіцієнт виходу $K = 1,4$.

Визначимо норму штучного часу $T_{шт}$ для шліфувальної операції.
Виробництво середньосерійне.

6. Визначимо норму штучного часу:

$$\begin{aligned} T_{шт} &= T_{оп} + T_{взп} + T_{то} + T_{орг} + T_{отд} = \\ &= 5,3 + 3,3 + 0,4 + 0,4 + 0,3 = 9,7 \text{ хв}; \end{aligned}$$

де T_0 – основний час;

$T_{всп} = 3,3$ час на установку і зняття деталі;

$T_{то} = 6\% \cdot T_{оп} = 6\% \cdot 5,3 = 0,4$ хв час на обслуговування верстата,
правка круга;

$T_{оп} = T_0 + T_в = 3,3 + 2 = 5,3$ оперативний час;

$T_{отд} = 4\% \cdot T_{оп} = 4\% \cdot 5,3 = 0,3$ хв час на відпочинок та особисті потреби;

$T_{тех} = 0,1$ технічний час на обслуговування робочого місця;

$T_{орг} = 8\% \cdot T_{оп} = 8\% \cdot 5,3 = 0,4$ хв організація робочого місця,
отримання інструменту.

Результати розрахунків іншого часу занесемо в таблицю 2.10.

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.10 – Режими проектованого процесу.

№	Найменування операції	L,мм	V, м/хв ⁻¹	n, об/хв	T _{осн} , хв	T _{всп} , хв	T _{шт} , хв	Σ T _{шт} , хв
5	Фрезерно-центрувальна	110	145,6	354,6	2,85	0,86	3,4	1,75
		43	117	437,5	1,2	0,23	0,23	
10	Токарна ЧПК	50,00	930	221,56	1 1 07	0,14	1,4	4,23
		51,00	,45	208,23	0,61	0,11	0,9	
		105,00	85,45	133,5	1,57	0,282	1 ,93	
15	Токарна ЧПК	110,00	89,6	285,4	2,5	0,45	3,03	10,37
		130,00	93,9	221,52	1,25	0,23	1,54	
		200,00	85	208,23	4,71	0,85	5,8	
25	Токарна ЧПК	50,00	102,3	278,4	0,74	0,13	0,91	2,78
		51,00	9 1 ,6	248,8	0,46	0,08	0,6	
		105,00	94,5	173,3	1 ,03	0,19	1,27	
30	Токарна ЧПК	110,00	97,6	345,7	1,97	0,36	2,43	7,98
		130,00	102,3	278,4	1,06	0,14	1,3	
		200,00	91 ,6	248,8	3,46	0,62	4,25	
35	Кругло-шліфувальна	105	55	45	3,3	3,2	4,7	4,7
40	Зубо-фрезерна	105	164,2	87 1 ,6	36,7	10,7	52,2	

					КРБ 20-045.00.00.000				Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

60	Горизонтально-розточна	120	70	629	4,04	0,60	5.85	8,45
		95	54,8	623,3	2,1	0.32	2,6	
70	Кругло-шліфувальна	45	55	175	1,6	0,48	2,5	16,12
		120	55	1 54,2	2,1	0,65	3,4	
		105	55	45		0,73	4,3	
		45	55	1 59,2	0.7	0.18	0,92	
75	Зубо-шліф	105	45	125	2,5	0,73	8,7	8,7

2.8. Проектування операційного технологічного процесу

На основі маршрутного технологічного процесу був спроектований операційний технологічний процес обробки вала-шестерні.

005 Фрезерно-центрувальна. Для базування деталі в центрах необхідні центрові отвори. Тому для обробки торців заготовки та виконання центрових отворів вибираємо фрезерно-центрувальний верстат МР73. Використовуємо центрувальне свердло Ø12 мм зі сталі Р6М5 ГОСТ 14972-75. Для фрезерування торців застосовуємо торцеву фрезу з пластинами з твердого сплаву Т5К10. Застосування торцевої фрези з пластинами Т5К10 дозволяє збільшити швидкість різання. Таким чином, збільшується продуктивність обробки. Центрові отвори дозволяють забезпечити принцип сталості баз для наступних операцій.

010-015 Токарна з ЧПК. На даних операціях виконується чорнове точіння всіх діаметрів вала. Чорнова обробка по контуру з припусками під подальшу обробку. Точіння виконуємо контурним різцем по ГОСТ 20872-80 з механічним кріпленням твердосплавних пластин Т5К10. При зносі ріжучої поверхні пластини, вона повертається на наступну грань, що дозволяє

					КРБ 20-045.00.00.000			Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

збільшити продуктивність і зменшити собівартість обробки. Для закріплення заготовки застосовується спеціальний диск приводу з автоматичним розкриттям кулачків, який дозволяє проводити точну установку виробів уздовж осі.

020 Термообробка. НВ 217...269. Проводиться нормалізація заготовки, для зняття внутрішніх напружень, і поліпшення структури металу.

025 Токарна з ЧПК. операція виконується на верстаті в два установа. Деталь встановлюється в призмах. Спочатку обробляється один центровий отвір, після чого відбувається перевстановлення та обробка другого центрального отвору. Дана операція застосовується для усунення можливого викривлення і інших дефектів центрових отворів після термічної обробки.

030 Токарна з ЧПК. На даних операціях виконується чистове точіння діаметрів вала з перевстановленням вала, проточка канавок і зняття фасок. Точіння виробляємо контурним різцем по ГОСТ 20872-80 з механічним кріпленням твердосплавних пластин Т15К6 (6% кобальту, 15% карбиду титану, 79% карбиду вольфраму). Канавки прорізаємо спеціально заточеним відрізним різцем Т15К6 ГОСТ 18884-73. Для контролю діаметрів застосовуємо калібр-скобу, а для канавок - шаблон спеціальний.

035 Круглошліфувальна. Шліфувальні операції дуже відповідальні, тому що вони забезпечують остаточний розмір і необхідну шорсткість поверхні. Необхідно дотримуватися точних режимів різання щоб уникнути появи дефектів деталі (наприклад, пропали) і поломки інструменту. Для шліфування застосовуємо коло ПП 250 × 60 × 40 22А 40П СМ1-7К6 ГОСТ 16167-80; 22А - електрокорунд білий; 40 - зернистість; СМ1 - твердість; 7 - структура; К6 - керамічна зв'язка. Заготівлю встановлюємо в диск приводу ГОСТ 2571-71 і підтискаємо обертовими центрами ГОСТ 13214-79.

040 Зубофрезерна. Проводиться нарізування зубів, число зубів $z = 20$, модуль $m = 8$ за ступенем точності 5-В. На даній операції здійснюється нарізування зубів. Установка заготовки здійснюється в центру із застосуванням диску приводу. Дана операція здійснюється на

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зубофрезерному Верстаті 53A20. Для даної операції використовується черв'ячна модульна фреза. Марка матеріалу фрези - твердий сплав T15K6. Даний інструмент працює за методом обкатки, який є більш продуктивним, ніж метод копіювання.

045 Термічна. Проводиться цементація зубів на глибину 0,8-1,2 до твердості 40-50 HRC. Для підвищення міцності і збільшення опору зубів втоми.

055 Горизонтально-розточна. Горизонтально-розточний верстат 2637Г. Деталь кріпиться на столі на призмах з вивірянням по розмітці, фрезерувати паз в = 28P9 і 32P9 остаточно, витримуючи глибину (з урахуванням припуску по діаметру). Ріжучий інструмент фреза кінцева з 3-ма пластинами

060 Круглошліфувальна. Виконується остаточно обробка. Для шліфування застосовуємо коло ПП 250 × 60 × 40 22А 40П СМ1-7К6 ГОСТ 16167-80; 22А - електрокорунд білий; 40 - зернистість; СМ1 - твердість; 7 - структура; К6 - керамічна зв'язка.

065 Зубо-шліфувальна. Дана операція виконується на Зубошліфувальному верстаті 5А841. Установка деталі здійснюється в центрі із застосуванням диску приводу. Обробка проводиться шліфувальним кругом з двостороннім конічним профілем. Операція здійснюється за один установ. Дана операція необхідна для отримання низького значення шорсткості поверхні.

070 Маркування. Засіб обліку та ідентифікації

075 Контрольна. Дана операція необхідна для контролю отриманих розмірів.

080 Консервація.

Спроектований технологічний процес має наступні переваги:

1. Менший штучний час на обробку деталі, що зменшує трудомісткість виробництва.
2. Підвищення продуктивності праці.

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Зменшення матеріальних витрат на виробництво.

При проектуванні технологічного процесу були використані сучасні верстати і верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК). Були використані більш технологічні конструкції ріжучого інструменту, що дозволило застосувати більш прогресивні режими різання, більш вдосконалені установчі та контрольні пристосування. За рахунок всього вище перерахованого ми зменшуємо трудомісткість виробництва заданої деталі.

					<i>КРБ 20-045.00.00.000</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Кінематичний розрахунок головного приводу з двигуном постійного струму

Розрахунок режимів різання проектованого верстата:

Вихідні дані: найбільший діаметр 125 мм.

Найбільша довжина 400 мм.

Найменший діаметр 12,5 мм.

Чорнове точіння на максимальному діаметрі

Розрахунок швидкості різання:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S_{ст}^{y_v}} \cdot k_v = \frac{420}{30^{0,20} \cdot 3^{0,15} \cdot 0,3^{0,2}} \cdot 0,65 = 149,2 \frac{м}{хв},$$

де $C_v = 420$; $m = 0,20$; $x_v = 0,15$; $y_v = 0,2$ – значення постійного коефіцієнта і показників ступеня;

k_v – поправочний коефіцієнт на швидкість різання, що враховує задані умови обробки:

$$k_v = k_{mv} \cdot k_{nv} \cdot k_{uv} \cdot k_{\phi v} \cdot k_{\phi 1v} \cdot k_{rv} \cdot k_{qv} \cdot k_{ov} = 1 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,65$$

де $k_{mv} = 1$

$n_v = 1$; $k_r = 0,9$;

$k_{nv} = 1$;

$k_{uv} = 0,65$;

$k_{\phi v} = 1$;

$k_{\phi 1v} = 1$; $k_{rv} = 1$;

$k_{qv} = 1,0$; $k_{ov} = 1$;

$T = 30$ хв – період стійкості різця.

					КРБ 20-045.00.00.000			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Якудів				КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Лещук							
Консульт.								
Н. Контр.	Кобельник					ТНТУ, зр. МВ-41		
Зав.каф.	Крупа							

Визначаємо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 149,2}{3,14 \cdot 125} = 380 \text{ хв}^{-1}$$

Визначаємо силу різання при чорновому точінні:

$$P_z = 9,8 \cdot C_{Pz} \cdot t^{X_{Pz}} \cdot S_{CT}^{Y_{Pz}} \cdot V^{n_{Pz}} \cdot k_{Pz} = 9,8 \cdot 300 \cdot 3^1 \cdot 0,3^{0,75} \cdot 149,2^{-0,15} \cdot 1,08 = 1822,5$$

де $C_{Pz}=300$ – коефіцієнт що враховує умови обробки;

$X_{Pz}=1$; $Y_{Pz}=0,75$; $n_{Pz}=-0,15$ – показники ступені, відповідно, при глибині, подачі і швидкості різання;

$$k_{Pz} = k_{MP} \cdot k_{\phi P} \cdot k_{\gamma P} \cdot k_{\lambda P} \cdot k_{rP} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,08 = 1,08$$

де k_{Pz} – загальний поправочний коефіцієнт;

$$k_{\phi P} = 1,08; k_{\gamma P} = 1; k_{\lambda P} = 1; k_{rP} = 1;$$

$$k_{MP} = \left(\frac{\sigma_s}{750} \right)^n = \left(\frac{750}{750} \right)^{0,75} = 1$$

де $n=0,75$.

Визначаємо потужність при чорновому точінні:

$$N_\epsilon = \frac{P_z \cdot v_d}{60 \cdot 1000} = \frac{1822,5 \cdot 149,2}{60 \cdot 1000} = 4,5 \text{ кВт}$$

Чистове точіння на мінімальному діаметрі:

Розрахунок швидкості різання:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S_{CT}^{y_v}} \cdot k_v = \frac{420}{90^{0,20} \cdot 0,5^{0,15} \cdot 0,1^{0,20}} \cdot 1 = 300 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

де $C_v = 420$; $m = 0,20$; $x_v = 0,15$; $y_v = 0,20$ – значення постійного коефіцієнта і показників ступеня.;

k_v – поправочний коефіцієнт на швидкість різання, що враховує задані умови обробки:

$$k_v = k_{mv} \cdot k_{nv} \cdot k_{uv} \cdot k_{\phi v} \cdot k_{\phi 1v} \cdot k_{r,v} \cdot k_{qv} \cdot k_{0v} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1$$

де $k_{mv} = 1$

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_v=1; k_r = 0,9 ;$$

$$k_{nv}=1;$$

$$k_{uv}=1;$$

$$k_{\varphi v}=1;$$

$$k_{\varphi 1v}=1;$$

$$k_{rv}=1;$$

$$k_{qv}=1;$$

$$k_{ov}=1 \text{ (при } \frac{D_d}{D_s} = \frac{160}{169} \cdot 5 = 0.94);$$

T=90 хв – період стійкості різця.

Визначаємо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 300}{3,14 \cdot 12,5} = 7650 \text{ хв}^{-1}$$

Відрізання на максимальному діаметрі

Розрахунок швидкості різання:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot S_{ст}^{y_v}} \cdot k_v = 23,7 \cdot \frac{7}{90^{0,25} \cdot 0,2^{0,66}} \cdot 1 = 22,3 \frac{\text{м}}{\text{хв}},$$

де $C_v = 23,7$; $m = 0,25$; $y_v = 0,66$ – значення постійного коефіцієнта і показників ступеня.;

k_v – поправочний коефіцієнт на швидкість різання, що враховує задані умови обробки:

$$k_v = k_{mv} \cdot k_{nv} \cdot k_{uv} = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1$$

де $k_{mv} = 1$

$$k_{nv}=1;$$

$$k_{uv}=1;$$

T=90 хв – період стійкості різця.

Визначаємо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 22,3}{3,14 \cdot 12,5} = 56,8 \text{ хв}^{-1}$$

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо силу різання при відрізанні

$$P_z = 9,8 \cdot C_{P_z} \cdot t^{X_{P_z}} \cdot S_{CT}^{Y_{P_z}} \cdot V^{n_{P_z}} \cdot k_{P_z} = 9,8 \cdot 247 \cdot 4^1 \cdot 0,21 \cdot 22,3^0 \cdot 1,08 = 2470 \text{ Н}$$

де $C_{P_z}=247$ – коефіцієнт що враховує умови обробки;

$X_{P_z}=1$; $Y_{P_z}=1$; $n_{P_z}=0$ – показники ступені, відповідно, при глибині, подачі і швидкості різання;

$$k_{P_z} = k_{MP} \cdot k_{\phi P} \cdot k_{\gamma P} \cdot k_{\lambda P} \cdot k_{rP} = 1,08 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,93 = 1$$

де k_{P_z} – загальний поправочний коефіцієнт;

$$k_{\phi P}=1,08; k_{\gamma P}=1; k_{\lambda P}=1; k_{rP}=0,93;$$

$$k_{MP} = \left(\frac{\sigma_s}{750} \right)^n = \left(\frac{750}{750} \right)^{0,75} = 1$$

де $n=0,75$.

З метою підвищення продуктивності верстатів з ЧПК, якості обробленої поверхні і стійкості інструменту в приводах головного руху широко використовуються регульовані двигуни постійного струму, які в сукупності з автоматичною переборною коробкою (АПК) забезпечують безступінчасту зміну частоти обертання шпинделя. Компактність приводу, гарні експлуатаційні властивості, малі габарити і можливість дистанційного автоматичного управління зробили його основним варіантом, рекомендованим для більшості типів верстатів з ЧПУ. У верстатобудуванні знайшли поширення двигуни постійного струму з незалежним збудженням.

Вибір електродвигуна:

За розрахункової потужності вибираємо з довідкових даних електродвигун і заносимо їх в таблицю 3.1. Основні розміри двигуна зазначені на рисунку 3.1.

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 - Дані електродвигуна.

Типорозмір двигуна	Потужність, кВт	Напруга якорю, В	Струм якорю, А	ККД, %	Номінальна частота обертання, об/хв	Максимальна частота обертання, об/хв
4ПФ112S	2,14	220	9,9	69	730	5000

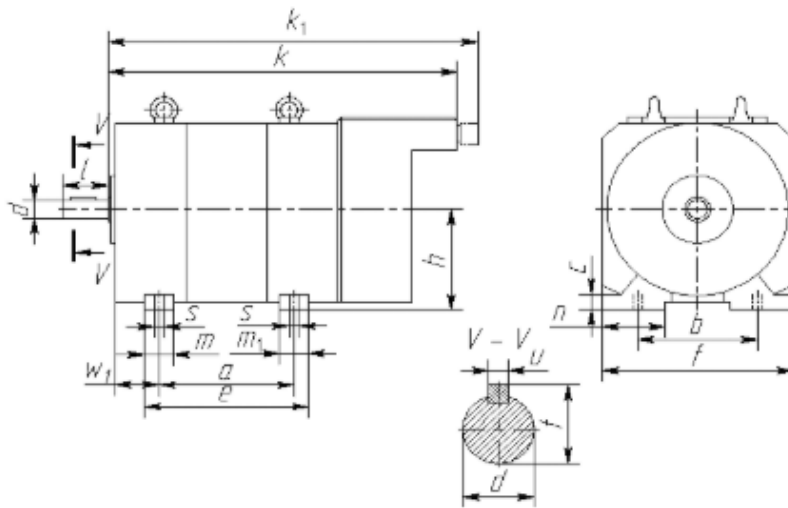


Рисунок 3.1 – Основні розміри двигуна.

Розрахунок приводу зі змішаним регулюванням.

Діапазон регулювання частоти АКС дорівнює:

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = D = \frac{3000}{47} = 64 .$$

Діапазон регулювання двигуна при постійній потужності дорівнює:

$$D_{\text{эР}} = \frac{n_{\text{э max}}}{n_{\text{э ном}}} = \frac{5000}{730} = 6,8 .$$

Знаменник ряду регулювання переборного коробки φ_k визначається діапазоном регулювання електродвигуна з постійною потужністю. Остаточні значення знаменника φ_k слід приймати відповідно до нормаллю верстатобудування ОСТ 2Н11-1-72 «Перевага числа і переважні числа», висловивши його через одне зі стандартних значень знаменника φ :

$$\varphi_k = D_{\text{эР}} = 6,8 \approx 1.26^8 = 6,35$$

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

КРБ 20-045.00.00.000

Розрахункове число ступеней коробки визначається залежністю:

$$z_{pk} = \frac{\lg D_p}{\lg \varphi_k} = \frac{\lg 63}{\lg 6,35} = 2,2 .$$

Отримане значення z_{pk} округляється до найближчого цілого числа z_k в сторону зменшення. Приймаємо $z_k=2$.

При округленні числа ступенів фактичний знаменник коробки φ_k змінюється, тому слід уточнити його значення. Уточнимо діапазон D_p за умови збереження загального діапазону регулювання приводу D .

$$D_p = \varphi_k^m = 6,35^2 = 40 ,$$

$$D_T = D / D_p = 63 / 40 = 1.6$$

Розрахункові значення максимальної і мінімальної частот обертання електродвигуна визначаються:

$$n_{\text{max}} = n_{\text{н}} \cdot \varphi_k = 730 \cdot 6,35 = 4635 \text{ хВ}^{-1};$$

$$n_{\text{min}} = n_{\text{н}} / D_T = 730 / 1.6 = 456 \text{ хВ}^{-1}.$$

Будуємо графік швидкостей обертання, рисунок 3.2.

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

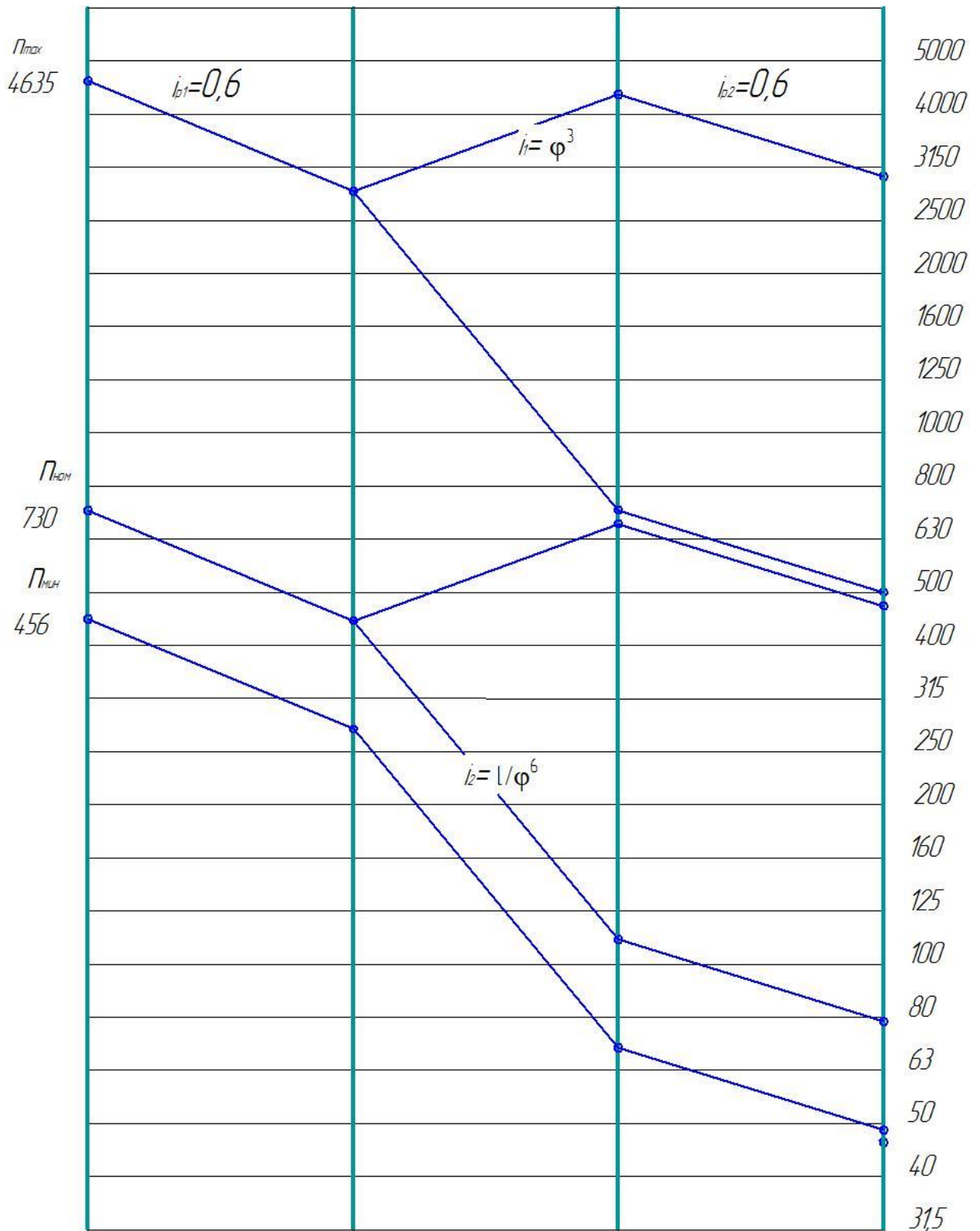


Рисунок 3.2 – Графік швидкостей обертання шпиднеля АКС.

Виконаємо розрахунок чисел зубців аналітичним методом:

$$i_1 = \varphi^2 = 11/7 ;$$

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$i_2 = 1/\varphi^6 = 1/4 .$$

Маємо: $a+b=11+7=18$;

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

Найменше кратне НОК=90= S_z .

$$z_1 = \frac{S_z}{a+b} \cdot a = \frac{90}{11+7} \cdot 11 = 55 ;$$

$$z_2 = \frac{S_z}{a+b} \cdot b = \frac{90}{11+7} \cdot 7 = 35 ;$$

$$z_3 = \frac{S_z}{c+d} \cdot c = \frac{90}{1+4} \cdot 1 = 18 ;$$

$$z_4 = \frac{S_z}{c+d} \cdot d = \frac{18}{1+4} \cdot 4 = 72 .$$

Мінімальне число зубців для прямозубого зубчастого колеса дорівнює 18. Оскільки мінімальне число зубців 18, то умова виконується.

Призначення коефіцієнтів:

$$\psi_{ba} = 1 ,$$

$$K_{H\alpha} = 1 ;$$

$$K_{H\beta} = 1,055 \left(\text{див. табл. 35 при } \frac{b_2}{d_1} = \psi_{ba} \frac{U_{1-2} + 1}{2} = 0,315 \frac{1,6 + 1}{2} = 0,4 \right)$$

$$K_{HV} = 1,2 .$$

Розрахунок міжосьової відстані:

$$a \geq K_{ap}(U_{1-2} + 1) * \sqrt[3]{\frac{P_1 * K_{H\alpha} * K_{H\beta} * K_{HV}}{n_1 * \psi_{ba} * U_{1-2} * [\sigma]_{H \text{ розр}}^2}} =$$

$$= 49,5(1,6 + 1) * \sqrt[3]{\frac{34,4 \cdot 10^3}{0,15 \cdot 1,6^2 \cdot 580,9^2}} = 82,7 \text{ мм}$$

Приймається стандартна $a=100$ мм.

Призначення модуля:

$$m = (0,01 \dots 0,025) * a = (0,01 \dots 0,025) * 100 = (1 \dots 2,5) \text{ мм}$$

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 20-045.00.00.000				

Приймається $m = 2$;

$$(z_1 + z_2) = \frac{2a}{m} = \frac{2 * 100}{2} = 100$$

Призначення чисел зубців:

$$z_1 = \frac{z_1 + z_2}{U_{1-2} + 1} = \frac{100}{1,6 + 1} = 38$$

$$z_2 = (z_1 + z_2) - z_1 = 100 - 38 = 62$$

$$U_{1-2\phi} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{62}{38} = 1,6$$

$$\Delta U = \left| \frac{U_{1-2} - U_{1-2\phi}}{U_{1-2}} \right| * 100\% = \left| \frac{1,6 - 1,6}{1} \right| * 100\% = 0\% < [\Delta U] = 2,5\%$$

Розрахунок геометричних розмірів зубчастих коліс:

$$b = b_2 = \psi_{ba} * a = 0,315 * 100 = 31,5 \text{ мм}$$

Приймається з ряду нормальних лінійних розмірів $b_2 = 32 \text{ мм}$,

$$d_1 = m * z_1 = 2 * 38 = 76 \text{ мм}$$

$$d_{a1} = d_1 + 2m = 76 + 2 * 2 = 80 \text{ мм}$$

$$d_{f1} = d_1 - 2,5m = 76 - 2,5 * 2 = 71 \text{ мм}$$

$$d_2 = m * z_2 = 2 * 62 = 124 \text{ мм}$$

$$d_{a2} = d_2 + 2m = 124 + 2 * 2 = 128 \text{ мм}$$

$$d_{f2} = d_2 - 2,5m = 124 - 2,5 * 2 = 119 \text{ мм}$$

Перевірка:

$$\frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2} = a; \frac{76}{2} + \frac{124}{2} = 100$$

Призначення ступеня точності:

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V = \frac{\pi * d_1 * n_1}{60000} = \frac{3,14 * 154 * 1144}{60000} = 4,55 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Призначається ступінь точності: 7 ГОСТ 1643-81, [1, табл. 33] .

Перевірний розрахунок для передачі 1-2

Перевірка на контактну втомну міцність

$$\sigma_H \leq [\sigma]_H$$

$$\sigma_H = Z_M * z_H * z_\varepsilon * \frac{1}{d_1} * \sqrt{\frac{2 * 9,55 * 10^6 * P_1 * K_{H\alpha} * K_{H\beta} * K_{HV} * (U_{1-2} + 1)}{n_1 * b_2 * U_{1-2}}}$$

де $Z_M = 275$ МПа;

$$z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_\alpha}{3}} = \sqrt{\frac{4 - 1,73}{3}} = 0,86$$

$$\varepsilon_\alpha = 1,88 - 3,2 * \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \right) = 1,88 - 3,2 * \left(\frac{1}{35} + \frac{1}{55} \right) = 1,73$$

$$z_H = 1,76$$

$$K_{H\alpha} = 1 \text{ (прямі зуби);}$$

$K_{H\beta} = 1,055$ (див. табл. 35 при $b_2/d_1 = 32/76 = 0,4$; поблизу одної з опор колеса припрацьовуються); , [1, табл. 35];

$K_{HV} = 1,18$ (див. табл. 36 при $v = 4,55$ м/с; ступінь точності по нормі плавності – 8; $H_2 \leq 350$ НВ) .

$$\sigma_H = 275 * 1,76 * 0,86 * \frac{1}{76} * \sqrt{\frac{2 * 9,55 * 10^6 * 4,06 * 1 * 1,055 * 1,18 * (1,6 + 1)}{1144 * 32 * 1,6}} = 359 \text{ МПа}$$

359 МПа < 518 МПа – контактну втомну міцність забезпечено.

Перевірка на втомну міцність при згинанні:

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_F \leq [\sigma]_F;$$

$$[\sigma]_F = \frac{\sigma_{Fli\ m\ b}}{S_H} * K_F * K_{FL}.$$

Для шестерні:

$$\sigma_{Fli\ m\ b} = 1,8 * H_{HB} = 1,8 * 285 = 513 \text{ МПа};$$

$K_{FC} = 1$ (нереверсивна передача);

$S_H = 2,2$ (при ймовірності не руйнування зубів більше 0,99);

$$K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{4 * 10^6}{382756923}} = 0,5 < 1, \text{ приймається } K_{FL} = 1$$

$$N_{FO} = 4 * 10^6;$$

$$N_{FE1} = 60 * n_1 * \sum_{i=1}^k \left[\left(\frac{P_i}{P_1} \right)^3 * t_i \right] =$$

$$= 60 * 1144 * (1 * 5000 + [0,7]^6 * 4500 + [0,5]^6 * 3000) = 382756923 ;$$

$$[\sigma]_{F1} = \frac{513}{2} * 1 * 1 = 233 \text{ МПа.}$$

Для колеса:

$$\sigma_{li\ m\ b} = 1,8 * H_{HB} = 1,8 * 250 = 450 \text{ МПа};$$

$K_{FC} = 1$ (нереверсивна передача);

$S_H = 2,2$ (при ймовірності не руйнування зубів більше 0,99)

$$K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{N_{FO}}{N_{FE2}}} = \sqrt[6]{\frac{4 * 10^6}{239223076}} = 0,5 < 1, \text{ приймається } K_{FL} = 1;$$

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{FO} = 4 * 10^6;$$

$$N_{FE2} = \frac{N_{FE1}}{U_{1-2}} = \frac{382756923}{1},6 = 239223076;$$

$$[\sigma]_{F2} = \frac{450}{2},2 * 1 * 1 = 205 \text{ МПа.}$$

$$Y_{F1} = 3,7 \text{ (табл. 22 при } z_1 = 38 \text{ і } x = 0) \text{ [1, табл. 22];}$$

$$Y_{F2} = 3,62 \text{ (табл. 22 при } z_2 = 62 \text{ і } x = 0) \text{ [1, табл. 22].}$$

$$\frac{[\sigma]_{F1}}{Y_{F1}} = \frac{233}{3},7 = 63;$$

$$\frac{[\sigma]_{F2}}{Y_{F2}} = \frac{205}{3},62 = 57.$$

Більш «слабким» елементом є колесо, по якому ведеться подальший розрахунок.

$$\sigma_{F2} = Y_{F2} * \frac{2 * 9,55 * 10^6 * P_2 * K_{F\alpha} * K_{F\beta} * K_{FV}}{n_2 * d_2 * b_2 * m}$$

де $K_{H\alpha} = 1$ (прямі зуби);

$K_{H\beta} = 1,1$ (див. табл. 35 при $b_2/d_1 = 32/76 = 0,4$; поблизу однієї з опор, колеса припрацьовуються);

$K_{HV} = 1,14$ (див. табл. 36 при $v = 4,55$ м/с; ступінь точності по нормі плавності – 8).

$$\sigma_{F2} = 3,62 * \frac{2 * 9,55 * 10^6 * 3,94 * 1 * 1,1 * 1,14}{715 * 124 * 32 * 2} = 61,2 \text{ МПа.}$$

61,2 МПа < 205 МПа – втомну міцність при згинанні забезпечено.

Перевірка на контактну міцність при дії максимальних навантажень.

$$\sigma_{H \max} \leq [\sigma]_{H \max};$$

$$\sigma_{H \max} = \sigma_H * \sqrt{K_{\text{пер}}} = 359 * \sqrt{2,03} = 511 \text{ МПа,}$$

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{\text{пер}} = \left(\frac{T_{\text{max}}}{T_{\text{ном}}} \right) \left(\frac{P_{\text{ед}}}{P_{\text{потр}}} \right) = 2,2 * \frac{4}{4},32 = 2,03;$$

де

$$[\sigma]_{\text{H max}} = 2,8 * \sigma_{\text{T}} = 2,8 * 540 = 1512 \text{ МПа.}$$

511 МПа < 1512 МПа – контактну міцність при дії максимальних навантажень забезпечено.

Перевірка на міцність при згинанні максимальним навантаженням:

$$\sigma_{\text{F max}} \leq [\sigma]_{\text{F max}};$$

$$\sigma_{\text{F max}} = \sigma_{\text{F}} * K_{\text{пер}} = 61,2 * 2,03 = 124,4 \text{ МПа.}$$

$$[\sigma]_{\text{F max}} = 2,75 H_{\text{НВ}} = 2,75 * 250 = 688 \text{ МПа.}$$

124,4 МПа < 688 МПа – міцність при згинанні максимальним навантаженням забезпечено.

За розрахункове допустиме контактне напруження для прямозубої циліндричної передачі приймається менше з $[\sigma]_{\text{H1}}$ і $[\sigma]_{\text{H2}} - [\sigma]_{\text{розр}} = 518 \text{ МПа.}$

Призначення коефіцієнтів

$\psi_{\text{ба}} = 0,2$ (приймається з рекомендацій, див. табл. 18);

$K_{\text{H}\alpha} = 1$ (прямі зуби);

$$K_{\text{H}\beta} = 1,1 \left(\text{див. табл. 35 при } \frac{b_4}{d_3} = \psi_{\text{ба}} \frac{U_{3-4} - 1}{2} = 0,2 \frac{3,55 - 1}{2} = 0,255 \right);$$

$K_{\text{H}\nu} = 1,2$ (для проектувальному розрахунку).

Розрахунок міжосьової відстані:

$$a \geq K_{\text{ар}} (U_{3-4} - 1) * \sqrt[3]{\frac{P_3 * K_{\text{H}\alpha} * K_{\text{H}\beta} * K_{\text{H}\nu}}{n_3 * \psi_{\text{ба}} * U_{3-4} * [\sigma]_{\text{H розр}}^2}} =$$

$$= 9,75 * 10^3 (3,55 - 1) * \sqrt[3]{\frac{136,4 * 10^3}{0,15 * 2,5^2 * 582^2}} = 130,7 \text{ мм}$$

Приймається стандартна $a=100 \text{ мм.}$

Призначення модуля:

$$m = (0,01 \dots 0,025)_a = (0,01 \dots 0,025) * 100 = (1 \dots 2,5)_{\text{мм}}$$

Приймається $m = 2$ [1, табл. 31];

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$(z_4 - z_3) = \frac{2a}{m} = \frac{2 * 100}{2} = 100$$

$$U_{3-4\phi} = \frac{z_4}{z_3} = \frac{90}{36} = 2,5$$

Розрахунок геометричних розмірів зубчастих коліс:

$$b_3 = b_4 = \psi_{ba} * a = 0,2 * 100 = 20 \text{ мм}$$

Приймається з ряду нормальних лінійних розмірів $b_4 = 20 \text{ мм}$

$$d_3 = m * z_3 = 2 * 36 = 72 \text{ мм}$$

$$d_{a3} = d_3 + 2m = 72 + 2 * 2 = 76 \text{ мм}$$

$$d_{f3} = d_3 - 2,5m = 72 - 2,5 * 2 = 67 \text{ мм}$$

$$d_4 = m * z_4 = 2 * 90 = 180 \text{ мм}$$

$$d_{a4} = d_4 - 2m = 180 - 2 * 2 = 176 \text{ мм}$$

$$d_{f4} = d_4 + 2,5m = 180 + 2,5 * 2 = 185 \text{ мм}$$

Перевірка:

$$\frac{d_4}{2} - \frac{d_3}{2} = a; \frac{180}{2} - \frac{72}{2} = 100$$

Призначення ступеня точності:

$$V = \frac{\pi * d_3 * n_3}{60000} = \frac{3,14 * 72 * 715}{60000} = 2,91 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Призначається ступінь точності: 8-В ГОСТ 1643-81.

Розрахунок пасової передачі.

Визначаємо передаточне число пасової передачі:

$$U = \frac{n_1}{n_2} = \frac{630}{500} = 1,26$$

Визначаємо діаметри шківів:

$$d_1 = 100 \text{ мм};$$

$$d_2 = d_1 * U(1 - \epsilon) = 100 * 1,26(1 - 0,015) = 124,1 \text{ мм}.$$

Визначаємо колову силу:

$$F = \frac{T_{ш1}}{R_{ш}} = 136 \cdot \frac{4}{0} \cdot 0,5095 = 2677 \text{ Н}.$$

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо ширину пасу:

$$b = \frac{F}{[F]} \cdot 100 = \frac{2677}{160} \cdot 100 = 16.7 \text{ мм.}$$

Приймаємо $b=40$ мм.

Визначаємо міжосьову відстань та довжину пасу:

$$a \geq 0.55(d_1 + d_2) + h_s = 0.55(100 + 124.1) + 9.5 = 132.8 \text{ мм.}$$

$$l = 2a + \frac{\pi}{2}(d_2 + d_1) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a} = 2 \cdot 132.8 + 3 \cdot \frac{14}{2}(124.1 + 100) + \frac{(124.1 - 100)^2}{4 \cdot 132.8} = 618.5 \text{ мм.}$$

Значення міжосьової відстані за стандартною довжиною

$$a = \frac{1}{8}(2l - \pi(d_2 + d_1) + \sqrt{[2l - \pi(d_2 + d_1)]^2 - 8(d_2 - d_1)^2}) =$$
$$= \frac{1}{8}(2 \cdot 618.5 - 3.14(124.1 + 100) +$$
$$+ \sqrt{[2 \cdot 618.5 - 3.14(124.1 + 100)]^2 - 8(124.1 - 100)^2}) = 132.8 \text{ мм.}$$

Визначаємо силу Q :

$$Q = 2F_0 \cdot \left[\sin\left(\frac{\alpha_1}{2}\right) \right] = 2 \cdot 2628 \cdot \left[\sin\left(\frac{174.8}{2}\right) \right] = 5250.6 \text{ Н.}$$

$$F_0 = \frac{850 \cdot P_{\text{ном}} \cdot C_L}{V \cdot C_\alpha \cdot C_p} = \frac{850 \cdot 9 \cdot 1}{3.3 \cdot 0.98 \cdot 0.9} = 2628 \text{ Н.}$$

Кут обхвата пасом ведучого шківів α_1 :

$$\alpha_1 = 180^\circ - 57^\circ \frac{d_2 - d_1}{a} = 180^\circ - 57^\circ \frac{124.1 - 100}{132} \cdot 8 = 174.8^\circ > 120^\circ$$

3.2 Вибір електромагнітних муфт

Вибір проводиться по номінальному передавальному моменту. Вибираємо ЕІМ ... 2 - муфта з контактним струмопроводом.

Виходячи з результатів розрахунку зубчастих коліс ми отримали крутний момент.

Для моментів приймаємо ЕТМ112-2Н ГОСТ 21573-76.

Можливе застосування муфт з безконтактним струмопроводом ЕІМ...4. При виборі муфт шліцьовий вал до уваги не береться, так як для

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

передачі крутного моменту використовуються шліцьові змінні втулки.

Технічні вимоги:

1. Муфти повинні виготовлятися відповідно до вимог ГОСТ 21573-76 і ГОСТ 21574-76.

2. Повинні застосовуватися для роботи в умовах, що забезпечують мастило фрикційних дисків мінеральним маслом з кінематичною в'язкістю 17-23Ст при $t = 50^\circ \text{C}$.

3. Муфти не повинні застосовуватися в вибухонебезпечному середовищі або середовищі містить агресивні пари і гази в концентраціях, здатних привести до пошкодження деталей муфти або зміни властивостей мастила.

3.3 Розрахунок тягового пристрою

Визначення навантажень на напрямні.

Приймаємо наступний напрямок віссю координат: вісь x - вздовж напрямку рухів, y - в основній площині напрямних перпендикулярно напрямку руху, z - перпендикулярно до основної площини напрямних.

На рисунку 2.3 зображено узагальнену розрахункову схему напрямних.

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

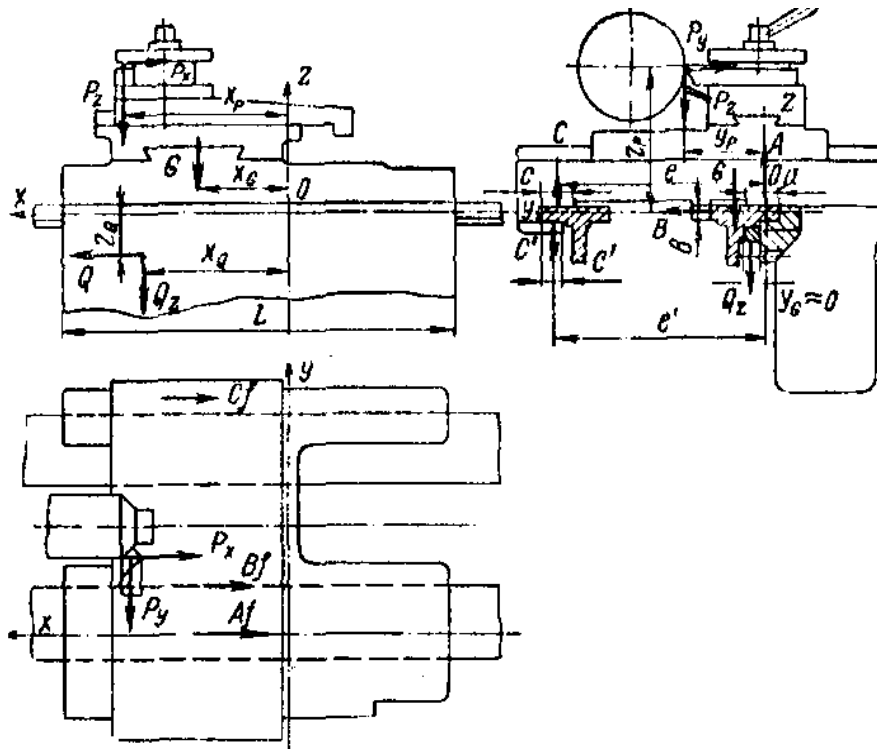


Рисунок 3.2 - Узагальнена розрахункова схема напрямних.

Для визначення невідомих - тягової сили, реакцій і реактивних моментів напрямних - використовуються рівняння статки і додаткові умови спільності переміщень. Ці умови доводиться застосовувати для визначення реакцій напрямних, якщо одночасно працює більше трьох граней, а також для з'ясування розподілу моментів між окремими напрямними. Початок координат зручно розташовувати в поперечній площині, що проходить через середину довжини напрямних, при перетині їх реакцій.

Тягова сила визначається з умови рівності кулю проекцій сил на вісь x з урахуванням сил тертя.

Для прямокутних напрямних (рис. 3.2) при приводі прямозубої шестерні і рейкою, розташованої під передньою напрямляючою (токарні верстати) визначається за формулами:

$$Q_T = \frac{P_x + f(P_z + P_y + G)}{1 - f \cdot \operatorname{tg}(\alpha_0 + \varphi_0)} \quad \text{при} \quad M_x = P_z y_p - P_y z_p + G y_G > 0,$$

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідно напрямним ковзання і кочення, Н:

$$N_1 = C,$$

$$N_2 = B,$$

де С и В – реакції граней напрямних, Н/кг:

при $M_x' = M_x + Q_Z y_Q > 0$:

$$C = \frac{M_x'}{e}, \quad A = P_Z + G + Q_Z - C, \quad B = P_y,$$

при $M_x' < 0$:

$$C' = \frac{|M_x'|}{e'}, \quad A = P_Z + G + Q_Z + C', \quad B = P_y,$$

де Q_Z – сила, викликається тяговою силою по осі Z, кг, для приводу ГВИНТОМ $Q_Z=0$.

$$M_x = 17000 \cdot 205 - 6800 \cdot 170 + 0 = 2329000 \quad \text{Н}.$$

$$M_x' = 2329000 + 0 = 2329000 \quad \text{Н}.$$

$M_x' > 0$, значит :

$$C = \frac{2329000}{600} = 3882 \quad \text{Н}.$$

$$A = 17000 + 4000 - 3882 = 17118 \quad \text{Н}.$$

$$B = 6800 \quad \text{Н}.$$

$$Q_T = 5100 + 5 + 0,25 \cdot 3882 + \frac{0,001}{35} \cdot 6800 = 6075,6 \text{Н}.$$

Середній тиск на гранях:

$$\sigma_A = \frac{A}{aL},$$

$$\sigma_B = \frac{B}{bL},$$

$$\sigma_C = \frac{C}{cL},$$

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де a, b, c, L – лінійні розміри напрямних, мм;

$$a = c = 10,13 \text{ см},$$

$$L = 69,5 \text{ см},$$

$$b = 9,5 \text{ см}.$$

$$\sigma_A = \frac{1711,8}{10,13 \cdot 69,5} = 2,4 \text{ кг / см}^2.$$

$$\sigma_B = \frac{680}{9,5 \cdot 69,5} = 10,3 \text{ кг / см}^2.$$

$$\sigma_C = \frac{388,2}{10,13 \cdot 69,5} = 0,55 \text{ кг / см}^2.$$

Для забезпечення універсальності верстатного устаткування і розширень технологічних можливостей верстата приймемо робочу довжину гвинта поздовжньої напрямної збільшеною на 10% в порівнянні з верстатом-аналогом. Це дозволить збільшити номенклатуру оброблюваних діаметрів коліс до 8%.

3.4 Вибір і розрахунок шарико-гвинтової передачі

Критерії працездатності та розрахунок ШВП. Шарико передача повинна відповідати таким критеріям працездатності:

- контактної статичної міцності робочих поверхонь гвинта, гайки і кульок;
- опору контактної втоми робочих поверхонь;
- заданої жорсткості;
- статичної стійкості;
- динамічної стійкості;
- міцності стрижня гвинта.

Розрахунок передачі. Відповідно за основними критеріями працездатності кулько-гвинтових передач розрахунок ведуть по динамічній вантажопідйомності для попередження втомного руйнування (викришування робочих поверхонь) і по статичній вантажопідйомності для попередження патетичного деформування тіл і поверхонь кочення.

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вихідні дані для розрахунку.

Основними вихідними параметрами при проектному розрахунку кульково-гвинтової передачі є:

- виконання - корпусні;
- тип передачі - з попереднім натягом;
- число заходів різьби $z = 1$;
- число робочих витків гайки $i_B = 3$;
- мінімально необхідна жорсткість $R = H / \text{мкм}$;
- необхідний ресурс $L_h = 10\ 000$ год;
- ймовірність безвідмовної роботи $P_t = 95\%$;
- клас точності по ОСТ 2 РЗ1-4-88 - П1, Т1;
- твердість робочих поверхонь $HRC_e = 60\text{МПа}$;
- провідний елемент - гвинт;
- схема закріплення гвинта: обидва кінці опорні;
- довжина неопорної частини гвинта $l = 720$ мм;
- коефіцієнт запасу по частоті обертання $K_B = 0,7$;
- коефіцієнт тертя кочення $f_k = 0,0005$ мм;
- якість матеріалу деталей передачі (характеристика плавки);
- циклограма навантаження, що задається значеннями осьової сили

F_i (Н), частоти обертання n_i (хв⁻¹) і часу роботи t_i на кожному рівні.

Змінний режим може бути представлений загальним числом r рівнів навантаження. З них j - число рівнів навантаження з осьовими силами одного (позитивного) напрямку і $(r - j)$ - з осьовими силами протилежного (негативного) напрямку. Умовно за позитивне можна прийняти напрямок дії осьової сили на передачу з боку лівої гайки, за негативне - з боку правої гайки.

Схема контакту передачі «гвинт - гайка кочення» представлена на рис.3.3.

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_0 \geq \sqrt[4]{\frac{64 Q (\mu \cdot l)^2}{\pi^2 E}}$$

де Q – максимальна поздовжня стискаюча сила;

$$Q=1170 \text{ Н};$$

μ – коефіцієнт, який враховує характер заделки;

$$\mu=1;$$

l – максимальна відстань між гайкою та опорою гвинта;

$$l=1270 \text{ мм};$$

E – модуль пружності;

$$E=2 \cdot 10^5;$$

$$\sqrt[4]{\frac{64 \cdot 1170 \cdot (1 \cdot 1270)^2}{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}} = 11.8 < d_0.$$

Умова виконується.

3) Перевіряємо гвинт за критичною частотою обертання.

$$d_0 \geq 10^{-7} \cdot \mu \cdot l^2 \cdot \eta_b$$

$$\text{де } n_g = K \cdot V_{xx} \left(\frac{1000}{t} \right)$$

K – коефіцієнт незбігу,

$$K=1,2 \dots 1,25;$$

t – крок різі гвинта;

$$t=12 \text{ мм};$$

V_{xx} – максимальна швидкість холостого ходу рухомого гвинта;

$$V_{xx}=2..4 \text{ м/хв};$$

$$n_g = 1.2 \cdot 3 \cdot \left(\frac{1000}{12} \right) = 300 \text{ хв}^{-1};$$

$$10^{-7} \cdot 1 \cdot 1270^2 \cdot 300 = 43 \text{ мм} < 45 \text{ мм}$$

Умова виконується.

4) Визначаємо кількість кульок в кожному витку різьби гвинта:

					<i>КРБ 20-045.00.00.000</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

$$Z_i = \pi \frac{d_0}{d_1} - 5 = \pi \frac{45}{7} - 5 = 15.196 \text{ шт.},$$

де d_1 – внутрішній діаметр гвинта, мм.

Приймаємо $Z=16$.

5) Обчислюємо число кульок в гайці:

$$Z = 5 Z_i (z_i < 20)$$

$$Z = 5 \cdot 16 = 80 \text{ шт.}$$

6) Визначаємо допустиме статичне навантаження:

На одну кульку:

$$[F]_{cm} = 20 d_1^2$$

$$[F]_{ст} = 20 \cdot 7^2 = 980 \text{ Н,}$$

На гвинт:

$$[Q] = Z_p [F]_{cm} \sin \alpha \cos \beta = 56 \cdot 980 \cdot \sin 45^\circ \cdot \cos 4.85^\circ =$$

$$= 38670 \text{ Н}$$

де β - кут підйому витка різьби гвинта,

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{t}{\pi \cdot d_0} = \frac{12}{\pi \cdot 45} = 0.085 ;$$

Z_p – число робочих кульок в передачі,

$$Z_p = 0,7Z = 0,7 \cdot 80 = 56 \text{ шт;}$$

7) Виконуємо розрахунок на довговічність по втомі поверхневих шарів контактуючих тіл:

$$K = K_Q \sqrt{\frac{60 T n c_j}{10^7}}$$

де $K_Q = 0,9$;

$$T = 10000 \text{ годин;}$$

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$c_j = 0,5 Z_i \left(1 + \frac{r_1}{r_0 \cdot \cos \alpha} \right) = 0,5 \cdot 16 \left(1 + \frac{3,5}{22,5 \cdot \cos 45^\circ} \right) = 9,76$$

$$K = 0,9 \sqrt{\frac{60 \cdot 10000 \cdot 5 \cdot 9,76}{10^7}} = 0,137$$

$$[Q]_\partial = \frac{[Q]}{K} = \frac{38670}{0,137} = 282600 \text{ Н}$$

$$[F]_\partial = \frac{[F]_{cm}}{K} = \frac{980}{0,137} = 7163 \text{ Н}$$

8) Розраховуємо сили попереднього натягу в передачі:

$$F_{H \min} = \frac{0,5 Q}{Z_p \sin \alpha \cos \beta}$$

$$F_{H \min} = \frac{0,5 \cdot 1170}{74 \cdot \sin 45^\circ \cos 4,9^\circ} = 14,8 \text{ Н}$$

$$F_{H \max} = [F]_\partial \left(1 - 0,55 \frac{Q}{[Q]_\partial} \right)$$

$$F_{H \max} = 7163 \left(1 - 0,55 \frac{1170}{282600} \right) = 7146 \text{ Н}$$

9) Визначаємо допустиму осьову силу з урахуванням величини натягу:

$$[Q]_H = [Q]_\partial \frac{[F]_\partial - F_H}{0,55 [F]_\partial} = 282600 \frac{7163 - 7146}{0,55 \cdot 7163} = 1170 \text{ Н}$$

10) Виконуємо розрахунок відносного осьового зближення двох гайок, необхідного для створення натягу:

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\delta_H = 6 \cdot \sqrt[3]{\frac{F_H^2}{100 d_1}} = 6 \cdot \sqrt[3]{\frac{7146^2}{100 \cdot 7}} = 250,7 \text{ мкм}$$

де δ_2 – відносне осьове зближення гайок, мкм.

11) Розраховується передача на жорсткість. Діаметр гвинта залежить від жорсткості приводу і його елементів.

Податливість приводу визначається при максимальній і мінімальній силі попереднього натягу.

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{j_{\text{в}}} + \frac{1}{j_{\text{м}}} + \frac{1}{j_{\text{н}}};$$

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{250500} + \frac{1}{705} + \frac{1}{1350} = 0,00216 \text{ Н/мм}$$

где j – жорсткість приводу,

$$j = 462 \text{ Н/мм};$$

$j_{\text{в}}$ – жорсткість гвинта при відповідному закладенні його кінців.

Один кінець затиснений:

$$j_{\text{в}} = \frac{\pi d_0^2 E}{4 \cdot l};$$

$$j_{\text{в}} = \frac{\pi \cdot 45^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{4 \cdot 1370} = 250500 \text{ Н/мм}$$

$j_{\text{м}}$ – жорсткість гвинтового механізму.

$$j_{\text{м}} = 6 K_{\text{и}} i_r \left(\frac{d_0}{P} - 1 \right) \left(\frac{F_H d_1}{10} \right)^{1/3} = 6 \cdot 0,4 \cdot 5 \left(\frac{45}{12} - 1 \right) \left(\frac{7146 \cdot 7}{10} \right)^{1/3} = 705 \text{ Н/мм}$$

K_i – коефіцієнт, що враховує похибки виготовлення і пружні деформації;

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$f_k = 0,001 \text{ см}$$

$$\operatorname{tg} \rho = \frac{0,001}{0,6 \cdot \sin 45^\circ} = 0,00236 \Rightarrow \rho = 0,135^\circ;$$

$\frac{F_1}{F_H}, \frac{F_2}{F_H}$ - визначаються з графіка в залежності від відношення $\frac{Q_1}{F_H}$;

$$Q_1 = \frac{Q}{z_{\text{расч}} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta};$$

$$Q_1 = \frac{30000}{44 \cdot \sin 45^\circ \cdot \cos 3,6^\circ} = 966 \text{ Н};$$

$$\frac{Q_1}{F_H} = \frac{966}{535} = 1,2 \text{ следовательно, } \frac{F_1}{F_H} = 1,65; \quad \frac{F_2}{F_H} = 0,45;$$

Тоді,

$$K_\eta = \frac{1,65 \cdot \cos(3,6 + 0,135) - 0,45 \cos(3,6 - 0,135)}{1,65 \cdot \sin(3,6 + 0,135) - 0,45 \cdot \sin(3,6 - 0,135)} \cdot \operatorname{tg}(3,6 + 0,135) = 0,992;$$

Отже,
$$\eta_H = \frac{0,992 \cdot \operatorname{tg} 3,6}{\operatorname{tg}(3,6 + 0,135)} = 0,956 \Rightarrow \eta_H = 95,6\%;$$

14) Момент холостого ходу визначаємо за такою формулою:

$$M_x = z_p \cdot F_H \cdot \sin \alpha \cdot [\sin(\beta + \rho) - \sin(\beta - \rho)] \cdot \frac{d_{\text{кв}}}{2};$$

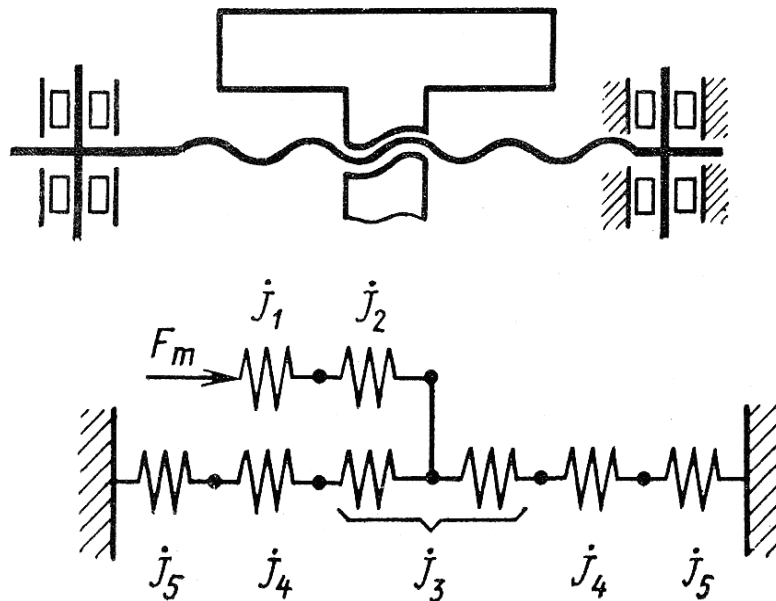
$$M_x = 44 \cdot 801 \cdot \sin 45^\circ \cdot [\sin(3,6 + 0,135) - \sin(3,6 - 0,135)] \cdot \frac{91,52}{2} = 5362,6 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Загальна жорсткість приводу подач залежить не тільки від жорсткості нарізного сполучення, а й більшою мірою від жорсткості самого гвинта при його розтягуванні, жорсткості осьових опор гвинта і всіх нерухомих з'єднань.

Для найбільш поширених конструкцій кулькових гвинтових передач з двома парами підп'ятників сумарну жорсткість підраховують на основі

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наведеної на малюнку 3.4 схеми розрахунку. Важливою позитивною властивістю схеми з двома парами підп'ятників є менша зміна жорсткості ходового гвинта і всієї передачі від положення гайки.



$j_1 - j_2$ – жорсткість відповідно з'єднання гайка-корпус, нарізного сполучення, гвинта, підп'ятника і з'єднання підп'ятник-базова деталь.

Рисунок 3.4 – Схема розрахунку сумарної жорсткості кулькової гвинтової передачі з двома парами підп'ятників.

Для схеми кулькової гвинтової передачі з двома парами підп'ятників за умови однакових характеристик підп'ятників сумарна податливість визначається з рівності деформацій лівої і правої частин гвинта:

$$C_0 = \frac{(c_4 + c_5 + \frac{x}{ES}) \cdot (c_4 + c_5 + \frac{L-x}{ES})}{\frac{x}{ES} + \frac{L-x}{ES} + c_4 + c_5} + c_1 + c_2,$$

де c_1 – податливість з'єднання гайка-корпус, приймаємо:

$$j_1 = \infty, \text{ тоді } c_1 = 0;$$

c_2 – податливість кулькової різи,

$$c_2 = 1/3,5 \text{ мкм/кН} = 0,285 \text{ мкм/кН},$$

т.к. $j_2 = 3,5 \text{ кН/мкм}$ (див. розрахунок вище);

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

c_4 – податливість підп'ятника,

$$c_2 = 1/3 \text{ мкм / кН} = 0,333 \text{ мкм / кН} ,$$

т.к. $j_4=3$ кН/мкм (див.розрахунок вище);

c_5 – податливість з'єднання підпятник-базова деталь, приймаємо:

$$j_5=\infty , \text{ тогдa } c_5=0;$$

Податливість гвинта прямо пропорційна x - довжині розтягнутої ділянки:

$$c_3 = \frac{x}{ES} ,$$

де x – довжина розтягнутої ділянки;

E – модуль пружності,

$$E=2 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2;$$

S – площа перерізу гвинта, що визначається за його середньому діаметрі:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} ;$$

$$S = \frac{3,14 \cdot 91,52^2}{4} = 6575,0 \text{ мм}^2$$

Отже, далі визначаємо за формулою величину сумарної податливості для 5 точок, необхідних для побудови графіка відносної сумарної жорсткості кулькової гвинтової передачі при різному положенні гайки по довжині ходу.

Точка 1 - крайнє ліве положення ($x = 0$):

$$C_0^1 = \frac{(0,333 + 0 + 0) \cdot \left(0,333 + 0 + \frac{1160 - 0}{2 \cdot 10^5 \cdot 6575} \cdot 10^6 \right)}{0 + \frac{1160 - 0}{2 \cdot 10^5 \cdot 6575} \cdot 10^6 + 0,333 + 0} + 0 + 0,285 = 0,618 \text{ мкм / кН} ;$$

$$j_0^1 = \frac{1}{c_0^1} = \frac{1}{0,618} = 1,618 \text{ кН / мкм} = 1618 \text{ Н / мкм} ;$$

$$\frac{j_0}{j_p} = \frac{1618}{3500} = 0,46 ;$$

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Точка 2 – $x=0,25L=0,25 \cdot 1160=290$ мм:

$$C_0^2 = \frac{(0,333 + 0 + \frac{290}{2 \cdot 10^5 \cdot 6575} \cdot 10^6) \cdot \left(0,333 + 0 + \frac{1160 - 290}{2 \cdot 10^5 \cdot 6575} \cdot 10^6\right)}{\frac{290}{2 \cdot 10^5 \cdot 6575} \cdot 10^6 + \frac{1160 - 290}{2 \cdot 10^5 \cdot 6575} \cdot 10^6 + 0,333 + 0} + 0,285 = 0,738 \text{ мкм / кН};$$

$$j_0^2 = \frac{1}{c_0^1} = \frac{1}{0,738} = 1,355 \text{ кН / мкм} = 1355 \text{ Н / мкм};$$

$$\frac{j_0}{j_p} = \frac{1355}{3500} = 0,39;$$

Точка 3 – $x=0,5L=0,5 \cdot 1160=580$ мм:

$$C_0^3 = \frac{(0,333 + \frac{580}{2 \cdot 10^5 \cdot 6575} \cdot 10^6) \cdot \left(0,333 + \frac{1160 - 580}{2 \cdot 10^5 \cdot 6575} \cdot 10^6\right)}{\frac{580}{2 \cdot 10^5 \cdot 6575} \cdot 10^6 + \frac{1160 - 580}{2 \cdot 10^5 \cdot 6575} \cdot 10^6 + 0,333} + 0,285 = 0,778 \text{ мкм / кН};$$

$$j_0^3 = \frac{1}{c_0^1} = \frac{1}{0,778} = 1,285 \text{ кН / мкм} = 1285 \text{ Н / мкм};$$

$$\frac{j_0}{j_p} = \frac{1285}{3500} = 0,36;$$

Точка 4 – $x=0,75L=0,75 \cdot 1160=870$ мм:

$$C_0^4 = \frac{(0,333 + \frac{870}{2 \cdot 10^5 \cdot 6575} \cdot 10^6) \cdot \left(0,333 + \frac{1160 - 870}{2 \cdot 10^5 \cdot 6575} \cdot 10^6\right)}{\frac{870}{2 \cdot 10^5 \cdot 6575} \cdot 10^6 + \frac{1160 - 870}{2 \cdot 10^5 \cdot 6575} \cdot 10^6 + 0,333} + 0,285 = 0,738 \text{ мкм / кН};$$

$$j_0^4 = \frac{1}{c_0^1} = \frac{1}{0,738} = 1,355 \text{ кН / мкм} = 1355 \text{ Н / мкм};$$

$$\frac{j_0}{j_p} = \frac{1355}{3500} = 0,39;$$

Точка 5 – крайне правое положение ($x=L$):

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Эмн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_0^5 = \frac{(0,333 + \frac{1160}{2 \cdot 10^5 \cdot 6575} \cdot 10^6) \cdot (0,333 + 0)}{\frac{1160}{2 \cdot 10^5 \cdot 6575} \cdot 10^6 + 0 + 0,333} + 0,285 = 0,618 \text{ мкм / кН};$$

$$j_0^5 = \frac{1}{c_0^1} = \frac{1}{0,618} = 1,618 \text{ кН / мкм} = 1618 \text{ Н / мкм};$$

$$\frac{j_0}{j_p} = \frac{1618}{3500} = 0,46.$$

Як підп'ятники гвинта в кулькової гвинтової передачі застосовуємо комбіновані упорно-радіальні роликотідшипники, що володіють значно більшою радіальної і осьової жорсткістю, ніж кулькові підшипники. Ці упорні підшипники встановлюємо з натягом в кожній парі і, крім того, при ретельнім їх складанні створюється натяг ходового гвинта, який значною мірою компенсує температурні деформації гвинта від нагрівання підшипників і кулькової гвинтової пари.

3.5. Розрахунок затискного пристосування

Диск приводу з автоматичним розкриттям кулачків для токарного верстата 16К20Ф3.

Ручні пристосування застосовують для передачі обертального руху від шпинделя верстата до оброблюваної деталі, встановленої в центрах, на оправці або в патроні. До диску приводу пристосуванням ставляться хомутики, повідкові планшайби, повідкові патрони. Хомутик з ручним затиском: оброблювану деталь кріплять гвинтом і потім оброблювану деталь з хомутиком встановлюють в центрах верстата. При включенні верстата обробляється деталь через повідкову планшайбу і хомутик обертається від шпинделя верстата.

Сила затиску кулачком патрона:

$$W_{затж} = 0,001 GRn^2 \cos 30^\circ$$

де z - число кулачків патрона;

G - маса противовісу, Н;

n — частота обертання, об/мин;

									КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

R - відстань від центра ваги вантажу до осі обертання патрона.

$$W_{затиск} = 0,001 * 165 * 0,025 * 250^2 \cos 30^\circ = 221,71 (\text{Па}).$$

На відміну від звичайних самозатискних патронів з ексцентриковими кулачками цей патрон дозволяє виробляти точну установку виробів уздовж осі.

Упором служить торець втулки, в якій ковзає плаваючий центр. Оброблювана деталь встановлюється в центрах верстата. При підтисканні заднім центром передній центр переміщається. Останній своїми скосами розсовує плунжери, повертає вантаж і переміщує встановлені в пазах корпусу повзуні і ексцентрикові кулачки. Система плаваючих плунжерів рівномірний затиск виробу обома кулачками. При відведенні заднього центру, пружина і гвинт автоматично повертають кулачки в початкове положення.

Переставляючи плитки з кулачками по зубчастій поверхні плазунів, можна виробляти затиск деталей діаметром від 30 мм.

3.6. Розрахунок і проектування контрольного пристосування

Сконструйоване контрольне пристосування призначене для контролю радіального биття вала-шестерні.

Пристрій складається з литого заснування на якому змонтовані 2 стійки з центрами, а також 2 напрямні, на яких закріплюється рухливий індикатор годинникового типу.

Контрольований вал поміщають в центрах, один з яких має ексцентричний пружинний затиск, а другий поворотне колесо для прокручування контрольного валу

Конструкція пристосування забезпечує зручність і простоту експлуатації, а також багатofункціональність його використання.

Основним розрахунком пристосування є розрахунок на точність. Загальна похибка пристосування $\Delta_{\text{оби}}$ не повинна перевищувати допуска на вимірюваний розмір T_n .

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta_{\text{оби}} \leq T_p \cdot$$

Загальна похибка вимірювання:

$$\Delta_{\text{оби}} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2},$$

де Δ_1 - похибка установки центрів;

$$\Delta_1 = 0.5 \cdot T_1 = 0.5 \cdot 0.03 = 0.015 \text{ мм}$$

Δ_2 - пів ціни поділки індикатору;

$$\Delta_2 = 0.5 \cdot 0.01 = 0.005 \text{ мм}$$

Тоді

$$\Delta_{\text{оби}} = \sqrt{0.015^2 + 0.005^2} = 0.016 \text{ мм}$$

Допуск складає 0,02 мм.

Таким чином, умова $\Delta_{\text{оби}} \leq T_p$ (0.016 < 0.02) виконується, тому, контрольне пристосування відповідає умовам.

3.7. Конструювання і розрахунок спеціального різального інструменту

Розрахунок фрези для обробки зубчастих коліс

Вихідні дані для проектування черв'ячних фрез:

- модуль колеса, що нарізується, $m=3\text{мм}$;
- кут нахилу зубців колеса, $\beta=27^\circ 07' 36''$;
- кут профілю на ділільному діаметрі, $\alpha=20^\circ$;
- число зубців колеса, що нарізується, $Z_k=77$;
- точність оброблюваного колеса по ГОСТ 1643-81 -8-8-7-B;
- матеріал оброблюваної колеса Сталь 38Х2Н2МА.

1.1 Аналіз і технічне обґрунтування прийнятої конструкції фрези

Аналізуючи вихідні дані, приймаю для чистового нарізування циліндричних прямозубих зубчастих коліс черв'ячну фрезу класу точності А - фреза загального призначення.

Конструкцію фрези приймаю цільної, виконаної з швидкорізальної сталі Р6М3К5. За кількістю заходів (витків) приймаю фрезу однозахідну для

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

чистої обробки. Як інструмент, черв'ячну фрезу виготовляємо на базі архімедового черв'яка.

Проектний розрахунок фрези

Визначення розмірів фрези в нормальному перетині

1. Модуль, профільний кут, крок зубців по ділильної прямої фрези приймаються рівними відповідно модулеві, профільному куту, кроку зубців оброблюваного колеса

$$m_{и} = m_{к} = 3 \text{ мм}, \quad \alpha_{и} = \alpha_{к} = 20^{\circ}, \quad t_{ди} = t_{дк} = \pi m = 3,14 \cdot 3 = 9,42 \text{ мм.}$$

Для забезпечення радіального зазору в зубчастій передачі висота зубця фрези приймається рівною

$$h_{и} = 2,5m = 2,5 \cdot 3 = 7,5 \text{ мм};$$

$$h_{аи} = h_{fi} = 1,25 \cdot 3 = 3,75 \text{ мм.}$$

Висоту ніжки зубця черв'ячної фрези приймають на $0,25m$ більшою висоти головки зуба колеса, що нарізується, для того, щоб під час обробки запобігти контакту поверхні западин фрези з поверхнею виступів колеса.

Для забезпечення бічного зазору товщина зубця фрези по ділильній прямій приймається рівною

$$S_{ди} = 0,5 t_{ди} + \delta,$$

де δ - гарантований бічний зазор, мм; $\delta = 0,2$ мм [1, табл.1, с.49, прил.2].

$$S_{ди} = 0,5 \cdot 9,42 + 0,2 = 4,91 \text{ мм.}$$

Визначення конструктивних та геометричних параметрів фрези

Діаметр отвору під оправку повинний забезпечити необхідну жорсткість кріпильної оправки і міцність тіла фрези. Доцільно починати розрахунок з визначення d по залежностях:

$$d = 20 \cdot m^{0,373}, \text{ мм};$$

$$d = 20 \cdot 3^{0,373} = 30,129 \text{ мм.}$$

Розрахункове значення d необхідно округлити до найближчого більшого з нормального ряду діаметрів отворів під оправку $d = 32$ мм.

Зовнішній діаметр фрези $D_{аи}$ визначається за умовою:

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$D_{\text{аи}} \geq 2H + 2p' + C_1, \text{ мм},$$

де $H = 2,5m + \frac{K + K}{2} + \rho_{\kappa}$ – глибина стружкової канавки, мм;

$p' \geq (0,25 \dots 0,3) d$ – товщина тіла фрези в небезпечному перерізі, мм;

$$p' = 0,3 \cdot d = 0,3 \cdot 32 = 9,6 \text{ мм};$$

C_1 – розмір шпонкового паза по ГОСТ 9472-90, $C_1 = 34,8$ мм;

$\rho_{\kappa} = 1 \dots 3$ мм – радіус округлення дна канавки; $\rho_{\kappa} = 2$ мм;

K, K_1 – величина остаточного і попереднього затилування;

$$K \approx 0,8 \cdot \pi \cdot (2m+1) \cdot \text{tg}10^\circ, \text{ мм}$$

$$K \approx 0,8 \cdot 3,14 \cdot (2 \cdot 3 + 1) \cdot \text{tg}10^\circ = 3,1 \text{ мм};$$

$K_1 = (1,2 \dots 1,4) \cdot K$ - для фрез нормальної точності;

$$K_1 = 1,3 \cdot K = 1,3 \cdot 3,1 = 4,03 \text{ мм}.$$

$$H = 2,5 \cdot 3 + \frac{3,1 + 4,03}{2} + 2 = 13,06 \text{ мм};$$

$$D_{\text{аи}} = 2 \cdot 13,06 + 2 \cdot 9,6 + 34,8 = 80,12 \text{ мм}.$$

Приймаємо $D_{\text{аи}} = 90$ мм.

Виконаємо перевірку $d_{\text{вп}}$ по впадинам стружкових канавок:

$$d_{\text{вп}} = D_{\text{аи}} - 2H \geq 1,75d, \text{ мм}$$

$$d_{\text{вп}} = 90 - 2 \cdot 13,06 \geq 1,75 \cdot 32;$$

$$d_{\text{вп}} = 63,88 > 56, \text{ умова виконується}.$$

Довжина робочої частини фрези L_1 визначається двома умовами:

1) Правильністю профілювання зубців колеса, що забезпечується

$$\text{УМОВОЮ } L_1 \geq 2 \left(\frac{h_{\kappa}}{\sin 2\alpha} (1 + \sin \alpha) + S_{\text{ди}} \right), \text{ мм},$$

де h_{κ} – висота зубця колеса, що нарізується, мм;

$$h_{\kappa} = 2,25 \cdot m = 2,25 \cdot 3 = 6,75 \text{ мм};$$

$S_{\text{ди}}$ – товщина зубця фрези по ділильній прямій, мм.

$$L_1 = 2 \left(\frac{6,75}{\sin 2(20^\circ)} (1 + \sin 20^\circ) + 4,91 \right) = 38 \text{ мм}.$$

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2) Забезпеченням вирізання металу з западин без перевантаження крайніх зубців.

$$L_1 \geq 2m (\sqrt{2z_k} + 0,5\pi), \text{ мм,}$$

де z_k – число зубців колеса, що нарізується.

$$L_1 = 2 \cdot 3 (\sqrt{2 \cdot 77} + 0,5 \cdot 3,14) = 84 \text{ мм.}$$

Загальна довжина фрези з урахуванням контрольних буртиків:

$$L = L_1 + 2l_6, \text{ мм,}$$

де $l_6=4-6$ мм – довжина контрольного буртика. Приймаємо $l_6=5$ мм.

$$L = 84 + 2 \cdot 5 = 94 \text{ мм.}$$

Діаметр контрольних буртиків вибирається конструктивно в межах

$$d < d_6 < D_{вп},$$

$$32 < d_6 < 63,88.$$

де $D_{вп} = D_{аи} - 2H$, діаметр западин фрези, мм.

$$D_{вп} = 90 - 2 \cdot 13,06 = 63,88$$

Приймаємо $d_6=60$ мм.

Для чистових фрез число зубців орієнтовно розраховується по

$$Z_u = 1,3 \frac{360^\circ}{\varphi},$$

формулі:

$$\text{де } \varphi = \arccos \frac{D_{аи} - 2h_u}{D_{аи}}.$$

$$\varphi = \arccos \frac{90 - 2 \cdot 7,5}{90} = 33,5^\circ,$$

$$Z_u = 1,3 \frac{360^\circ}{33,5^\circ} = 13,9.$$

Для фрези нормальної точності и для модуля $m=3$ мм приймаємо $Z_{н}=14$.

Передній кут на вершині зубця звичайно приймається рівним $\gamma_B=0^\circ$.

Задній кут на вершині зубця приймаємо $\alpha_B=10^\circ$.

Визначення бічного заднього кута

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\alpha_{бок} = \arctg \frac{R_{au}}{R_x} \operatorname{tg} \alpha_{\epsilon};$$

де R_x – радіус окружності розташування довільної точки, для якої розглядається кут $\alpha_{бок}$, мм;

$$R_{ан} = D_{ан} / 2 = 90 / 2 = 45 \text{ мм};$$

$$R_x = R_{ан} - 1,25m = 45 - 1,25 \cdot 3 = 41,25 \text{ мм};$$

$\alpha_{вх}$ – задній кут на окружності радіусом R_x .

$$\alpha_{бок} = \arctg \frac{45}{41,25} \operatorname{tg} 10^{\circ} = 10,8^{\circ}.$$

Величина падіння першого затилка, виконаного шліфувальним кругом, визначаємо за формулою:

$$K = \frac{\pi D_{au}}{z_u} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{\epsilon} = \frac{3,14 \cdot 90}{14} \cdot \operatorname{tg} 10^{\circ} = 3,55 \approx 4 \text{ мм}.$$

Другий затилко K_1 обробляють різцем.

$$K_1 = (1,2 \dots 1,5) K, \text{ мм},$$

$$K_1 = 1,5 \cdot 4 = 6 \text{ мм}.$$

Визначаємо глибину стружкової канавки за формулою:

$$H = h_u + \frac{K + K_1}{2} + \rho_{\kappa},$$

$$H = 7,5 + \frac{4 + 6}{2} + 1,68 = 14,18 \text{ мм}.$$

Кут розкриття стружкової канавки черв'ячної фрези $\theta_{\kappa} = 18^{\circ}$.

Радіус закруглення дна канавки:

$$\rho_{\kappa} = \frac{\pi \cdot (D_{au} - 2h_u)}{10 z_u}, \text{ мм};$$

$$\rho_{\kappa} = \frac{3,14 \cdot (90 - 2 \cdot 7,5)}{10 \cdot 14} = 1,68 \text{ мм}.$$

Розрахунковий ділильний діаметр фрези:

$$D_{ди} = D_{ан} - 2h_{ан} - 0,3K \text{ мм};$$

$$D_{ди} = 90 - 2 \cdot 3,75 - 0,3 \cdot 4 = 81,3 \text{ мм}.$$

Кут підйому витка визначаємо за формулою

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\tau = \arcsin \frac{a \cdot m}{D_{du}},$$

де a – число заходів черв'яка, приймаємо $a=1$.

$$\tau = \arcsin \frac{1 \cdot 3}{81,3} = 2^{\circ}11'.$$

Для нарізання косозубого колеса приймаємо напрям витків – ліве.

Визначаємо розміри фрези в осьовому перетині

Так як кут підйому витка $\tau < 3^{\circ}$, то стружкові канавки виконуються осьовими.

Кут нахилу стружкової канавки $\omega = 2^{\circ}11'$.

$$\sin \omega = \frac{m_u a}{d_{du}} = \frac{3 \cdot 1}{74,6} = 0,0402 \sim \omega = 2^{\circ}18'$$

де;

$$d_{du} = D_{au} - 2h_u - 0,1K = 90 - 2 \cdot 7,5 - 0,1 \cdot 4 = 74,6 \text{ мм.}$$

Для можливості контролю правильності виготовлення фрези задаються шаг t_{oc} і товщина зуба S_{oc} в осьовому перетині:

$$S_{oc} \frac{S_{ди}}{\cos \omega} = 4 \cdot \frac{91}{\cos 2^{\circ}18'} = 4,91 \text{ мм}, \quad t_{oc} = \frac{t_{ди}}{\cos \omega} = 9 \cdot \frac{42}{\cos 2^{\circ}18'} = 9,42 \text{ мм.}$$

Визначення шагу стружкових канавок.

Осьовий шаг гвинтовий стружкової канавки підраховується тільки для фрези з гвинтовими канавками:

$$T = t_{oc} \operatorname{ctg}^2 \omega = 9,42 \cdot \operatorname{ctg}^2(2^{\circ}18') = 5824 \text{ мм}$$

Кут установки фрези на верстаті $\psi = \beta_d \pm \omega$. Кут нахилу зубців колеса $\beta_d = 27^{\circ}07'36''$, $\psi = 27^{\circ}07'36''$.

Радіуси округлення бокової та вершинної різальних кромки зубця фрези приймається рівним:

$$r_1 = 0,2m = 0,2 \cdot 3 = 0,6 \text{ мм.}$$

Радіуси округлення бокової ріжучої кромки и впадини:

$$r_2 = 0,3m = 0,3 \cdot 3 = 0,9 \text{ мм.}$$

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Профілювання фрези

Визначення кута профілю вихідного черв'яка.

$$\alpha_{\text{эКВ}} = \arctg \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \omega},$$

де α – теоретичний кут зачеплення зубчастої передачі;

ω - кут нахилу стружкової канавки фрези.

$$\alpha_{\text{эКВ}} = \arctg \frac{\operatorname{tg} 20^\circ}{\cos 2^\circ 18'} = 20^\circ.$$

Визначення кутів профілю зубців фрези.

а) для правої сторони:

$$\alpha_{\text{прав}} = \operatorname{arccatg} \left(\operatorname{ctg} \alpha_{\text{эКВ}} + \frac{KZ_u}{T} \right);$$

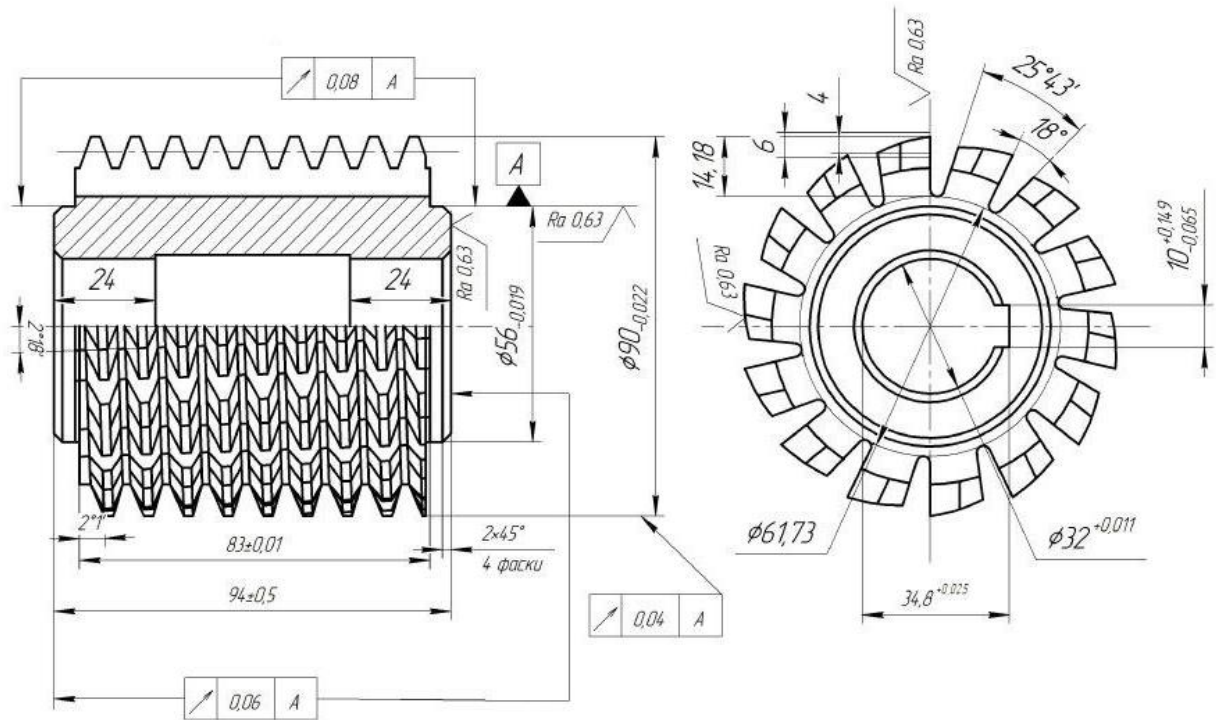
$$\alpha_{\text{прав}} = \operatorname{arccatg} \left(\operatorname{ctg} 20 + \frac{3,1 \cdot 14}{5824} \right) = 20^\circ 2';$$

б) для лівої сторони

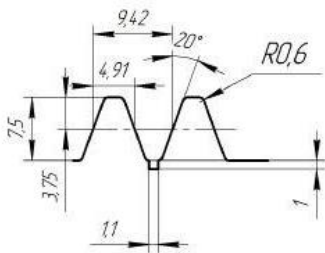
$$\alpha_{\text{лев}} = \operatorname{arccatg} \left(\operatorname{ctg} \alpha_{\text{эКВ}} - \frac{KZ_u}{T} \right);$$

$$\alpha_{\text{лев}} = \operatorname{arccatg} \left(\operatorname{ctg} 20 - \frac{3,1 \cdot 14}{5824} \right) = 19^\circ 58'$$

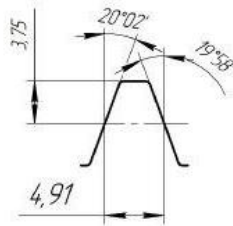
					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Профіль зубців в нормальній перетині (2:1)



Профіль зубців в осевому перетині (2:1)



Модуль	<i>m</i>	3
Кут профіля вихідного контура	-	20°
Число заходів	<i>n</i>	1
Напрямок витків фрези	-	ліве
Осьовий крок	<i>t_{ос}</i>	9.42
Число зубів	<i>z_в</i>	14
Кут підвісання витка	-	2°18'
Кут встановлення фрези	<i>ψ</i>	27°07'36"
Дільний діаметр	<i>d_д</i>	259.55
Клас точності по ГОСТ 9324-80	-	AA
Ступінь точності	-	7
Коефіцієнт зміщення	<i>x</i>	-0.436

Рисунок 3.5 – Фреза черв'ячна

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

КРБ 20-045.00.00.000

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1. Заходи з охорони праці на виробничій дільниці

Основне значення техніки безпеки – забезпечення безпеки і нешкідливості праці без зниження його продуктивності. Здійснення цих вимог зводиться до проведення комплексу заходів, направлених на запобігання працюючого від різного роду травм.

Виробничою травмою вважають тілесне ушкодження, у результаті якого настає тимчасова чи постійна втрата працездатності. Причинами виробничого травматизму є механічні, електричні, хімічні чи іншого роду впливи на організм людини, а також гострі отруєння, опіки, що виникли у виробничих умовах.

Неуважність працюючого як на робочому місці, так і при пересуванні по території цеху, заводу, несправність підйомно-транспортного устаткування, верстатів, пристосувань, погана організація робочих місць і т.д. часто приводять до нещасних випадків. Іноді причиною виробничих травм є захаращеність робочих місць і проходів напівфабрикатами і готовою продукцією. У механічних цехах до нещасливих випадків може привести незнання робітниками правил техніки безпеки, пристрою верстата, несправності електрообладнання верстата, відсутність огорожень і запобіжних пристроїв, застосування неправильних прийомів роботи на верстаті, неправильне носіння спецодягу, неуважність самого робітника, невиконання правил техніки безпеки і правил внутрішнього розпорядку та ін.

					<i>КРБ 20-045.00.00.000</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Якудів</i>			БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Лещук</i>						
<i>Консульт.</i>		<i>Окіпний</i>						
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник</i>						
<i>Зав.каф.</i>		<i>Крупа</i>						
						<i>ТНТУ, зр. МВ-41</i>		

Небезпеку представляють внутрішньозаводський автомобільний транспорт, безрейковий електротранспорт, підйомні крани, ручні вагонетки та ін.

Значна частина нещасних випадків із фрезерувальниками відбувається при транспортуванні, установці і знятті фрез, пристосувань і оброблюваних заготовок. Нижче приведені основні вимоги техніки безпеки по транспортуванню, установці і зняттю фрез:

- Фрези повинні зберігатися і транспортуватися в спеціальній тарі, забезпечуватися захисними дерев'яними колонами.
- При установці фрез необхідно надягати рукавиці. Легкі фрези масою до 3 кг установлюють вручну, а фрези масою від 3 до 8 кг варто встановлювати на консольно-фрезерних верстатах у такий спосіб:
 - а) покласти фрезу хвостовиком нагору на дерев'яну підкладку, покладену на столі верстата;
 - б) переміщаючи стіл, підвести фрезу під шпindelь;
 - в) підняти стіл нагору;
 - г) завести хвостовик фрези в отвір шпindelя і посадити фрезу на шпindelь;
 - д) закріпити фрезу.

Знімання фрез з верстата виконується в зворотному порядку при дотриманні тих же запобіжних заходів. Фрези масою більш 8 кг необхідно встановлювати за допомогою спеціальних підйомних засобів.

Пристосування і заготовки масою більш 20 кг встановлюють і знімають підйомними засобами. Кріплення оброблюваних заготовок на столі верстата в пристосування повинно бути надійним.

Важкі універсальні пристосування які постійно знаходяться на робочому місці, зберігаються на стелажах і спеціальних підставках.

Ураження електричною напругою небезпечно для життя людини, тому забороняється доторкатися до будь-яких проводів, особливо неізольованих чи погано ізольованих.

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для захисту робітника від ЗОР і стружки застосовують захисні огороження зони різання. При відсутності зазначених пристроїв працювати на верстаті не дозволяється. Для захисту очей від поранень і опіків стружкою застосовують захисні окуляри, індивідуальні щитки, спеціальні кожухи для фрез й ін.

При нещасних випадках необхідно негайно звертатися за допомогою в медпункт. Тому що техніка безпеки безпосередньо зв'язана з технологією виробництва, то дотримання технологічної дисципліни, виконання правил технічної експлуатації, висока трудова дисципліна є найважливішими умовами, що забезпечують безпеку праці. Велике значення для створення сприятливих умов праці мають освітлення, вентиляція, опалення, захист від шуму, вібрацій, від впливу електричного струму, чистота і порядок як на кожному робочому місці, так і на підприємстві.

4.2. Засоби гасіння пожеж

Вода — найпоширеніший засіб гасіння пожеж, бо вона вбирає багато тепла. Літр води, перетвореної в пару, вбирає 639 ккал тепла. Одночасно вода, перетворюючись у пару, збільшується в 1700 раз в об'ємі і тим самим послаблює середовище горіння, витісняючи кисень повітря або розбавляючи його до концентрації, яка не підтримує горіння. Струмінь води, спрямований на тверде тіло, змочує частини, які ще не горять, і цим перешкоджає їх займанню.

Водяною парою гасять головним чином тверді, рідкі й газоподібні речовини, які знаходяться в закритих приміщеннях. Гасіння водяною парою ґрунтується на зниженні в зоні горіння процентного вмісту кисню. Якщо в повітрі буде 30—35% (за об'ємом) водяної пари, то горіння припиняється.

Піна для гасіння пожеж може бути хімічна або повітряно-механічна. Вона являє собою скупчення бульбашок з тонкою оболонкою, що містять

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вуглекислий газ. Хімічна піна, руйнуючись, виділяє вуглекислий газ, хоча вплив його невеликий. Внаслідок поганої теплопровідності і охолодження поверхні рідини, що горить, водою, яка міститься в піні, відбивається виділюване рідиною тепло.

Останнім часом дуже поширився спосіб утворення повітряно-механічної піни, до складу якої входить близько 90% повітря, 9,8—9,6% води і 0,2—0,4% піноутворювача. Для одержання повітряно-механічної піни застосовують спеціальні повітряно-пінні стволи продуктивністю від 2,5 до 10 й більше кубометрів піни на хвилину.

Гасіння інертними газами — вуглекислою та азотом відбувається за рахунок зниження процентного вмісту кисню в повітрі, внаслідок чого уже при 12—15% вуглекислого газу в ньому горіння припиняється. Через те що гасіння вуглекислим газом провадиться за допомогою сніжної вуглекислоти, остання значно знижує температуру тіл, які горять. Вуглекислота перешкоджає виходові горючих парів і газів з тіла, яке горить, у сферу горіння, бо питома вага її дорівнює 1,6. З одного літра зрідженої вуглекислоти утворюється 500—500 літрів газу.

Гасіння піском або землею деяких твердих і рідких хімічних речовин, що не гасяться водою та піною, ґрунтується на ізоляції їх від кисню повітря шаром піску, а гасіння невеликих кількостей легкозаймистих і горючих рідин, що розтікаються тонким шаром,—на вбиранні їх піском або землею.

Гасіння клаптями щільної тканини або азбестом— ґрунтується на ізоляції предмета, що горить, чи невеликої кількості горючої рідини від кисню повітря по всій поверхні або обсягу.

Розбавлення реагуючих рідин. Воно може бути здійснено шляхом розбавлення горючих рідин негорючими або розбавлення повітря водяною парою, вуглекислим газом, азотом і іншими не підтримуючими горіння газами так, щоб концентрація кисню досягла значення, при якому не може відбуватись горіння.

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для ліквідації починаючих вогнищ пожеж силами робітників і службовців ділянки цеху повинні бути забезпечені згідно діючим нормам первинними засобами пожежегасіння. До числа первинних засобів пожежегасіння відносять внутрішні пожежні крани, вогнегасники, ручні насоси, бочки з водою, ящики з піском, необхідний пожежний інструмент і пожежний інвентар (відра, ломи, сокири, лопати, пожежні стенди, щити).

При ліквідації загоряння верстата або машини, оснащеної електроприводом, виникає небезпека ураження електричним струмом. Перед як приступити до гасіння пожежі, потрібно зняти напругу електроустановки, потім використовувати не струмопровідні вогнегасні засоби (вуглекислоту, бром-метил).

Найбільше поширення в якості первинних засобів ліквідації вогнищ або локалізації вогню до прибуття пожежної команди отримали вогнегасники. В відповідності з вогнегасники класифікуються на : хімічні пінні, вуглекислотні, вуглекислотно–бромметилові, порошкові, повітряно–пінні, рідинні.

Ручними вогнегасниками гасять пожежі, які ще не встигли поширитися. В залежності від вогнегасних речовин вогнегасники можуть бути пінні, рідинні, порошкові й газові.

Рідиннопінними вогнегасниками ліквідують займання твердих горючих матеріалів. Як вогнегасні засоби в цих вогнегасниках використовуються водяні розчини різних мінеральних солей. При дії мінеральної кислоти на лужний розчин відбувається бурхлива реакція, що супроводжується виділенням вуглекислого газу й підвищенням тиску до 6 атм; вогнегасна рідина з силою викидається на об'єкт, який горить.

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі проведено аналіз конструкції деталі «Вал - КС6В 055.4432495», проаналізовано технічні вимоги, які ставляться до цієї деталі, проведено аналіз технологічності конструкції деталі в цілому. Також розглянуто технологічний процес механічної обробки корпуса на базовому підприємстві.

На основі проведеного аналізу та оцінки існуючих умов спроектовано новий варіант технологічного процесу виготовлення деталі, запропоновано більш економічно вигідний спосіб одержання заготовки. Проведено техніко-економічне обґрунтування вибору оптимального техпроцесу. В ході проектування техпроцесу визначено припуски на обробку та спроектовано заготовку деталі. Для виконання операцій техпроцесу вибрано різальний та вимірювальний інструмент, обладнання, розраховано режими різання та норми часу.

Для виконання обробки деталі проведено кінематичний і конструктивний розрахунок токарного верстата, спроектоване технологічне оснащення для виготовлення деталі. Розглянуто питання охорони праці, зроблено економічне обґрунтування прийнятих інженерно – конструкторських рішень.

					КРБ 20-045.00.00.000			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Якудів						
Перевір.		Лещук						
Консульт.								
Н. Контр.		Кобельник						
Зав.каф.		Крупа						
						ТНТУ, зр. МВ-41		

ПЕРЕЛІК ПОСЛАНЬ

1. Кухарський О. М., Кушак І. В. Методичні вказівки для виконання курсового проекту з предмету: «Технологія машинобудування». Тернопіль, 2001. 280 с.
2. Кухарський О. М., Кузьмін М. І. Визначення припусків табличним методом. Тернопіль: видавництво ТДТУ, 2004. 135 с.
3. Боженко Л. І. Технологія машинобудування: проектування та виробництво. Львів: Світ, 1996. 368 с.
4. Ревнівцев М.П., Паршина Н. П. Режими різання на металообробних верстатах у машинобудуванні. Київ: А.С.К., 2006. 416с.
5. Паливода Ю. Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : Навч.-метод. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2019. 240 с.
6. Кочергін І. А. Конструювання і розрахунок металорізальних верстатів і верстатних комплексів. Курсове проектування: Посібник для вузів. - Мн .: Виш. шк., 1991. - 382 с.
7. Кузнєцов Ю.М. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах/ Ю.М. Кузнєцов, І.В. Луців, О.В. Шевченко, В.Н. Волошин [Текст] - К.: - Тернопіль: Тернограф, 2011. -692с.
8. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С. Практикум з охорони праці: навчальний посібник.Львів: Афіша, 2000 – 352 с.
9. Безпека виробничих процесів : довідник / під ред. С. В. Белова. – М : Машинобудування, 1985. – 448 с.
10. Дементій, Л. В. Охорона праці в механічних та складальних цехах / Л. В. Дементій, С. А. Гончарова. – Краматорськ : ДДМА, 2005. – 312 с. – ISBN 5-7763-1413-

					<i>КРБ 20-045.00.00.000</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Якудів</i>			<i>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Лещук</i>						
<i>Консульт.</i>						<i>ТНТУ, зр. МВ-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник</i>						
<i>Зав.каф.</i>		<i>Крупа</i>						

11. Крупа В. В. Теорія технічних систем: особливості побудови, створення та розвитку : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Осадця, 2023. 308 с.
12. Improved Method for Determining the Feed Influence on the Tangential Cutting Force During Re-drilling, Countersinking and Boring Based on the Small Sample Theory / V. Krupa et al. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*. 2024.
13. Nahalyuk A., Krupa V. Modeling of a lathe bed using the method of topological optimization. *Scientific Journal of TNTU*. – Tern.: TNTU. 2023. Т. 111, № 3. С. 67–75
14. Шанайда В. В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках. Тернопіль : Вид-во ТДТУ, 2001. 163 с.
15. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях: Методичний посібник . Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.
16. Ворощук В.Я., Вітенько Т.М. «Інжиніринг та 3D моделювання в середовищі SolidWorks». Навчальний посібник. 2023. – 164 с.
17. Nahalyuk A., Krupa V. Modeling of a lathe bed using the method of topological optimization. *Scientific Journal of TNTU*. – Tern.: TNTU. 2023. Т. 111, № 3. С. 67–75. URL: https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2023.03.
18. Крупа В. В. Визначення конструкторсько-технологічних параметрів багаторізцевих розточних головок з поділом припуску та подачі. Вісник ТДТУ. 2011. Т. 16, № 1. С. 105–117. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/959>.
19. Substantiation of parameters for three-cutter boring head with allowance and feed distribution and asymmetric cutter position / Petro Kryvyi, Volodymyr Krupa, Volodymyr Kobelnyk, Yaroslav Kosiv. // *Scientific Journal of TNTU*. — Ternopil : TNTU, 2019. — Vol 96. — No 4. — P. 57–69.
20. V. Krupa, N. Tymoshenko, V. Kobelnyk, I. Petrechko, Probability-statistical estimation method of feed influence on the tangential cutting force under turning, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 114/1 (2022) 22-31.

					КРБ 20-045.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		